지폐검사를 위한 UV 패턴의 자동추출

Automatic Extraction of UV patterns for Paper Money Inspection

이건호 · 박태형*

Geon-Ho Lee and Tae-Hyoung Park*

충북대학교 대학원 제어로봇공학과

요 약

최근에 발행되는 대부분의 지폐는 UV(ultra violet)조명에 반응하는 UV패턴을 포함한다. 본 논문은 지폐검사를 위하여 지폐 내부에 존재하는 UV패턴을 자동으로 추출하는 방법을 제안한다. UV조명을 이용하여 촬영한 영상을 전 처리 과정을 통하여 입력데이터로 변환시킨 후, 가우시안 혼합 모형과 split-and merge EM(SMEM)알고리즘을 적용하여 영상을 몇 개의 영역으로 분리시킨다. 영역 분리된 영상 중 원하는 패턴을 추출하기 위하여, 공분산 벡터의 넓이와 가중치를 이용하는 방법을 새로이 제안한다. 다양한 지폐에 대한 실험을 통하여 제안방법의 유용성을 보인다.

Abstract

Most recently issued paper money includes security patterns that can be only identified by ultra violet (UV) illuminations. We propose an automatic extraction method of UV patterns for paper money inspection systems. The image acquired by camera and UV illumination is transformed to input data through preprocessing. And then, the Gaussian mixture model (GMM) and split-and-merge expectation maximization (SMEM) algorithm are applied to segment the image represented by input data. In order to extract the UV pattern from the segmented image, we develop a criterion using the area of covariance vector and the weight value. The experimental results on various paper money are presented to verify the usefulness of the proposed method.

Key Words : UV pattern, image segmentation, SMEM algorithm, automated paper-money inspection

1. 서 론

현재 전 세계적으로 지폐의 위조문제가 대두되고 있다. 그 이유는 지폐를 위조하는 수법이 날로 지능화, 첨단화되기 때문이다. 국내에서도 역시 지폐의 위조 문제가 많이 발견되고 있다. 또한 지폐제조 시 발생하는 오류지폐의 양이 급격히 증가함을 보이고 있다. 보고에 따르면 2006년부터 오류지폐가 3억 5000만 장이 발생하였고, 이를 백분위로 나타내면 15%의 오류 발생률을 보인다고 한다. 그러므로 지폐의 위조나 오류를 검사하기 위한 지폐검사가 필요하다.

현재 지폐검사는 주로 센서를 이용한 하드웨어적 방식[1]이 주를 이루고 있다. 그러나 이는 고가의 센서비용과 다양한 지폐의 보안요소에 유연하게 대응하기 어려운 단점이 있다. 그러므로 장비의 가격이나 검사방식에 유연하게 대처하기 위해 광학계를 이용한 소프트웨어적 방식[2,3]의 연구가 활발히 진행 중에 있다. 광학계를 이용한 소프트웨어적 방식은 카메라를 이용하여 영상을 획득한 후 디지털 영상처리 방식으로 지폐검사를 수행하는 것을 의미한다.

본 논문은 지폐의 보안요소 중 UV패턴을 자동 추출하는 방법을 제안한다. 이는 최종적으로 광학계를 이용한 지폐

검사 시스템을 개발하기 위함이다. 기존연구에는 채승훈 외 2명이 제안한 UV 정보를 이용한 지폐 진위판별에 대한 연구[4]가 있다. 이는 지폐의 RGB색상 중 한 영역만을 이용하여 계산량의 감소를 위해 지폐의 일부분만을 이용한다. 이는 검사 시간을 줄일 수 있는 장점이 있으나 검사의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 그러므로 본 논문은 검사의 정확도를 더욱 높이기 위하여 지폐의 전 영역을 이용하여 검사를 수행한다.

지폐의 UV패턴은 지폐의 보안요소 중 하나이다. 이는 지폐 제작 시 지폐에 형광물질을 처리하여 지폐가 위폐인지 그렇지 않은지를 확인 할 수 있도록 해준다. 현재 우리나라 및 세계의 여러 나라에서 UV패턴을 지폐의 보안요소로 사용하고 있다. 지폐의 UV패턴은 일반인이 아닌 전문취급자를 위한 위조방지장치이며, 이를 확인하기 위해서는 자외선 조명이 필요하다.

지폐검사를 위하여 UV패턴을 추출하는 단계는 다음과 같다. 첫째, 광학 장비를 이용하여 영상을 획득하는 단계. 둘째, 획득한 영상을 데이터로 변환하기 위한 전 처리 단계. 셋째, 영상분리 알고리즘을 이용하여 입력데이터를 배경과 패턴으로 알맞게 분리하는 단계. 넷째, 분리된 데이터에서 UV패턴 부분을 확인하고 추출하는 단계이다.

앞에서 언급한 단계 중에서 본 논문의 핵심이 되는 단계인 영상분리란 비슷한 특징을 보이는 영상의 각 픽셀을 몇 개의 영역으로 분리하는 것을 의미한다. 이는 일종의 군집화를 통한 영상의 단순화를 이룸으로써 영상을 사용자가 원하는 대로 쉽게 해석하기 위한 방법이다. 이는 의료영상처

접수일자 : 2011년 1월 14일

완료일자 : 2011년 5월 30일

* 교신 저자 (충북대학교 컴퓨터정보통신연구소)

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다

리 [5], 얼굴인식 [6], 머신비전 [7,8]등 매우 다양한 분야에서 응용되고 있다.

그림 1. HSI영역으로 변환한 영상

Fig. 1. Converting the image into HSI region.

본 논문에서는 통계적인 방법으로 매우 높은 정확도를 보이는 영상분리 알고리즘인 가우시안 혼합 모형(Gaussian mixture model) [9,10]을 이용하여 영상을 분리한다. 이는 K 개의 정규가우시안 확률분포를 이용하여 입력 데이터의 모형을 추정하는 방법이다. 가우시안 혼합 모형의 모수(parameter)를 추정하기 위한 알고리즘으로 Split and merge expectation maximization(SMEM) 알고리즘 [11]을 적용하였다. 이는 기존 Expectation maximization(EM) 알고리즘 [12]과 Deterministic annealing EM(DAEM) 알고리즘 [13]의 국부 최대화 문제를 극복하기 위한 모수추정 방법이다.

다음으로 분리된 데이터에서 UV패턴 부분을 확인하기 위한 방법을 새로이 제안한다. 이는 SMEM 알고리즘을 통하여 추정된 모수인 평균벡터, 공분산벡터 그리고 가중치 중에서 공분산벡터의 넓이와 가중치의 곱을 식별 값으로 나타내어 UV패턴 부분을 확인하는 방법이다. 이는 분리된 영상 중 원하는 부분을 확인하기 위하여 공분산벡터를 스칼라 값으로 나타낸 새로운 방법이다.

최종적으로, 본 논문은 가우시안 혼합 모형과 SMEM 알고리즘을 이용하여 지폐의 UV패턴을 자동으로 추출하는 방법을 제안한다. 실험을 통하여 제안방법의 우수성을 증명하였다.

논문구성은 먼저 2절에서 UV영상을 영상분리 알고리즘에 적용시키기 위한 전 처리 과정을 소개한다. 3절에서는 전 처리 과정에서 입력된 데이터를 K 개로 분리하는 영상 분리 과정을 소개한다. 다음으로 4절에서는 분리된 영상 중 UV패턴을 추출하는 패턴 추출과정을 소개한다. 5절에서는 제안 방법의 정확성을 보이는 실험결과를 제시한다. 다음으로 6절에서는 제안 논문의 결론과 앞으로 나아가야 할 방향에 대하여 기술하고 본 논문을 끝마친다.

2. 영상 전처리

CCD카메라와 자외선 조명을 이용하여 획득한 UV영상의 전처리 과정을 수행한다. 전처리 과정의 목적은 UV영상을 영상분리 알고리즘에 적용시키기 위해 UV영상을 입력 데이터로 변환시키는 것이다.

그림 2. 색상과 채도를 이용한 2차원 벡터 히스토그램 입력데이터 표현.

Fig. 2. 2D-vector histogram representation of the input data using Hue and Saturation region.

본 논문에서는 RGB영역의 UV영상을 HSI영역으로 변환시킨다. 이는 RGB영역보다 HSI영역이 조명의 변화에 더욱 강한 특성을 가지고 있기 때문이다.

그림 1은 5만원권의 UV영상을 HSI영역으로 각각 분리한 영상이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 5만원권의 UV패턴은 색상과 채도 영역에 주로 존재한다. 그러므로 본 논문은 색상과 채도의 2차원 벡터 히스토그램을 이용하여 영상분리 알고리즘에 적용시키기 위한 입력데이터를 형성하였다 [14].

그림 2는 색상과 채도 영역을 이용하여 2차원 벡터 히스토그램을 형성한 영상이다. 그림 2(a)는 3차원 히스토그램으로 표현한 영상이고, 그림 2(b)는 실제 입력 데이터를 2차원 히스토그램으로 표현한 영상이다.

3. 영상 분리

2장의 전 처리 과정에서 색상과 채도의 2차원 벡터 히스토그램을 입력데이터로 형성하였다. 이 데이터를 영상분리 알고리즘에 입력하여 UV영상을 분리하고자 한다. UV영상을 K 개로 분리하기 위한 영상분리 알고리즘으로 Ueda 등에 의해 제안된 가우시안 혼합 모형과 SMEM알고리즘 [11]을 이용하여 영상을 분리한다.

3.1 가우시안 혼합 모형

먼저 입력데이터를 가우시안 혼합 모형으로 나타내기 위한 기본 식은 다음과 같다.

$$G(x;\theta) = \sum_{k=1}^K w_k g_k(x;\theta_k) \quad (1)$$

식 (1)의 오른쪽 항은 $k=1$ 부터 K 까지 가우시안 분포를 합성하여 만든 가우시안 혼합 모형이다. 식 (1)의 왼쪽항의 w_k 는 $k=1$ 부터 K 까지 가중치이다. 이를 모두 더하면 1이 된다. 다음으로 식 (1)의 오른쪽 항의 $g_k(x;\theta_k)$ 는 가우시안 분포로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_k(x;\theta_k) = (2\pi)^{-d/2} \det(\Sigma_k)^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x-\mu_k)^T \Sigma_k^{-1}(x-\mu_k)\right\} \quad (2)$$

식 (2)의 오른쪽 항의 모수 θ_k 는 평균벡터 μ_k 와 공분산백

터 Σ_k 로 나타낼 수 있고 d 는 차원을 의미한다. 최종적으로 식 (1)의 오른쪽 항의 모수 θ 는 가중치(w_k), 평균벡터(μ_k) 그리고 공분산벡터(Σ_k)로 나타낼 수 있다.

그림 3. 분리와 합병 동작의 예시.

Fig. 3. Examples of split and merge operation.

3.2 기존의 EM알고리즘

이번 절은 앞 절에서 나타낸 가우시안 혼합 모형으로 입력데이터 x 를 예측하는 EM알고리즘[12]을 소개한다. EM 알고리즘은 가우시안 혼합 모형의 모수 θ 를 반복적으로 변화시켜 입력데이터 x 와 가장 유사한 모형을 예측하는 알고리즘이다. 입력데이터와 가장 비슷하게 모형을 변화시키는 모수 θ 의 예측은 입력데이터와 가우시안 혼합 모형간의 유사도를 측정하는 함수인 log-likelihood 함수를 이용하여 예측한다.

log-likelihood 함수는 다음과 같다:

$$L(\theta; x) = \log g(x; \theta) = \log \int g(x, y; \theta) dy \quad (3)$$

여기서 x 는 입력데이터, y 는 모수 θ 값에 따른 불완전 데이터라 할 수 있다. 그러므로 EM 알고리즘은 불완전한 데이터 y 의 log-likelihood 함수를 반복하여 입력데이터 x 와 가장 유사하게 만드는 모수 θ 값을 찾아내는 알고리즘이다. 그러나 EM 알고리즘에는 문제점이 있다. 이는 모수의 초기치에 따라 전역 최적해가 아닌 국부 최적해가 나타나는 문제이다.

3.3 SMEM알고리즘

기존 EM알고리즘의 국부 최대화 문제를 해결하기 위해 Ueda 등이 제안한 SMEM 알고리즘 [11]을 본 논문에서 적용하였다. 이는 EM 알고리즘이 수렴되었을 때의 모수 θ 값을 Q 함수에 입력하여 분리와 합병 동작을 통해 최적해를 예측하는 알고리즘이다.

EM알고리즘이 수렴된 k 번째 완전한 데이터는 $g(x, k; \theta) = w_k g_k(x; \theta_k)$ 이며 이 경우 우리는 다음을 얻는다.

$$Q(\theta | \theta^{(t)}) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \{ \log w_k g_k(x_n; \theta_k) \} G(k | x_n; \theta^{(t)}) \quad (4)$$

n 은 관측된 데이터의 점의 개수이고 $\theta^{(t)}$ 는 알고리즘을 t 번 반복한 후 얻은 θ 의 추정치를 의미한다. 이는 다시

$$Q(\theta | \theta^{(t)}) = \sum_{k=1}^K q_k(\theta_k | \theta^{(t)}) \quad (5)$$

로 나타낼 수 있으며 식 (5)의 우변은 다시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_k(\theta_k | \theta^{(t)}) = \sum_{n=1}^N G(k | x_n; \theta^{(t)}) \log w_k g_k(x_n; \theta_k) \quad (6)$$

최종적으로 Q 함수는 가중치(w_k), 평균벡터(μ_k) 그리고 공분산벡터(Σ_k)만으로 표현할 수 있다. 이는 식 (1)의 가우시안 혼합 모형의 모양을 변형시키는 모수 θ 가 Q 함수로 표현이 가능하다는 것을 의미한다. θ^* 를 일반 EM알고리즘에 의해 예측된 모수 값이라 하면, EM 알고리즘이 수렴된 후 Q 함수는 다음과 같이 다시 정의 할 수 있다.

$$Q^* = q_a^* + q_b^* + q_c^* + \sum_{k, k \neq a, b, c} q_k^* \quad (7)$$

여기서 식 (7)의 오른쪽 항의 처음부터 세 번째까지의 부분(a, b, c) 중 a 와 b 는 합병동작에 의해서 a 와 b 를 a' 로 나타낼 수 있고, c 를 분리동작에 의해서 b' 와 c' 로 나타낼 수 있다. 결국 수식적으로 분리와 합병동작이 가능하게 표현되었다.

SMEM알고리즘은 단순히 Q 값이 증가되면 새로운 모수 θ^* 를 받아들이고 이를 다시 반복한다. 만약 Q 가 증가되지 않으면 새로운 모수 θ^* 를 받아들이지 않고 다시 θ^* 로 돌아가 다른 후보를 선택한다. 최종적으로 모든 분리와 합병후보들에서 측정된 Q 함수값이 증가하지 않으면 알고리즘을 멈춘다.

그림 3은 분리와 합병동작의 예시도이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 분리 동작은 두 개의 군집을 예측하기 위해 하나의 초기치를 둘로 분리해주는 동작을 의미한다. 다음으로 합병 동작은 하나의 군집을 예측하기 위해 두 개의 초기치를 하나로 분리해주는 동작을 의미한다. 그러므로 SMEM 알고리즘은 EM 알고리즘이 수렴한 후 얻은 국부 해를 Q 함수를 통해 다시 분리와 합병 동작을 시켜주어 최적 해를 얻는 알고리즘이다.

그림 4는 SMEM 알고리즘을 이용하여 5만원권을 K 개의 가우시안 분포로 분리한 영상이다. 이는 2장의 영상 전처리 단계에서 획득한 색상과 채도성분만을 이용하여 분리한 것이다. 분리하고자 하는 영상의 수 즉, 가우시안 분포의 개수 K 는 임의로 5로 정해주었다.

그림 4. K개로 분리된 5만원권 영상(K=5)

Fig. 4. The image of 50,000 WON segmented into K(K=5).

그림 5. 공분산 벡터.
Fig. 5. Covariance vector.

4. 패턴 추출

앞에서 가우시안 혼합 모형과 SMEM 알고리즘에 의해서 입력데이터를 K 개의 가우시안 분포로 분리하는 방법을 알아보았다. 하지만 우리는 아직 해결하지 못한 두 가지 문제가 있다. 첫째, 입력 데이터로 변환된 UV영상을 몇 개의 K 로 나누어야 하는가에 대한 문제. 둘째, K 개로 분리된 입력 데이터에서 어떻게 UV패턴 부분을 알아내어 추출할 수 있는가에 대한 문제이다.

첫째로 UV패턴을 분리하기 위한 최적의 성분 수 K 는 미리 실험을 통하여 알아내었다. 이는 UV패턴을 분리하는 문제가 참 값을 알 수 없는(unsupervised) 경우이기 때문이다. 둘째로 K 개로 분리된 입력 데이터에서 UV패턴 부분을 알아내는 문제이다. 본 논문은 지폐 각각의 UV패턴부분의 모수를 실험을 통하여 미리 알아낸 후 공분산 벡터의 넓이와 가중치의 곱을 이용하여 식별 값을 생성하는 방법을 새로이 제안한다. 이는 가우시안 혼합 모형의 모수를 이용한 방법으로서 UV패턴과 패턴의 아닌 부분의 공분산 벡터와 가중치의 값이 큰 편차를 보이는 특성을 이용한 것이다.

이를 수식적으로 나타내면 실험을 통하여 알아낸 UV패턴 부분의 모수를 $\Theta_p(w_p, \mu_p, \Sigma_p)$ 라 정의하자. 여기서 먼저 평균벡터(μ_p)는 식별 값에서 제외한다. 그 이유는 UV패턴 부분과 패턴이 아닌 부분의 평균값이 큰 차이를 보이지 않기 때문이다. 반면에 가중치(w_p)와 공분산 벡터(Σ_p)는 UV패턴과 패턴이 아닌 부분의 값이 큰 차이를 보인다. 그러므로 가중치와 공분산 벡터의 곱을 이용하여 UV패턴 부분을 확인하기 위한 식별 값을 생성하였다.

공분산 벡터의 넓이를 구하려면 장축과 단축의 거리를 구하여야 하는데 이는 공분산 벡터의 마할라노비스 거리 [15]의 제곱을 곱해준 값에 제곱근을 취해주면 된다.

그림 5는 공분산 벡터를 기하학적으로 표현한 것이다. 장축과 단축은 각각 d_x 와 d_y 를 의미한다. 장축과 단축을 구하는 식은 다음과 같다.

$$d_x = \sqrt{\lambda_a \chi_{d,a}^2}, d_y = \sqrt{\lambda_b \chi_{d,a}^2} \quad (8)$$

식 (8)의 λ 는 고유 값을 의미하며 $\chi_{d,a}^2$ 는 마할라노비스 거리의 제곱이 된다. 이는 chi-square table로 값을 얻을 수 있는데 만약 $d=2$, $1-\alpha=0.95$ 이면 $\chi_{2,0.05}^2=5.99$ 를 얻을 수 있다. 이를 이용하여 공분산 벡터의 넓이를 구하면 다음과 같다.

$$Area = 2\pi \sqrt{\lambda_a \chi_{2,0.05}^2} \sqrt{\lambda_b \chi_{2,0.05}^2} \quad (9)$$

그림 6. UV패턴 추출 방법.
Fig. 6. UV-pattern extraction method.

이는 다시

$$Area = 2\pi \sqrt{\sum_k \chi_{2,0.05}^2} \quad (10)$$

가 된다. 그러므로 본 논문에서 제안한 식별 값을 구하는 최종 식은 공분산 벡터의 넓이와 가중치를 곱한 것이며 이는 다음과 같다.

$$Recognition Value = Area of Covariance \times w_p \quad (11)$$

최종적으로 얻어진 식 (11)을 이용하여 K 개로 분리된 UV영상에서 UV패턴 부분을 알아낸다. 여기서 만약 UV패턴이 1군집이 아닌 2군집을 이룬다면 식별 값은 2개가 될 것이다. 앞에서 설명한 내용을 토대로 본 논문은 UV영상으로부터 UV패턴을 추출하는 방법을 제안하였다.

그림 6은 UV패턴을 추출하는 방법을 나타낸 그림이다. 그림 5에서 K 값과 식별 값을 미리 실험을 통해 각 지폐마다 미리 알고 있어야 한다. 최종적으로 추출한 UV패턴의 잡음을 없애주기 위해서 본 논문은 메디안 필터(Median filter) [16]를 사용하였다.

5. 실험 결과

본 논문은 제안 방법을 검증하기 위하여 다음과 같은 실험 장치를 구성하였다. 그림 7은 지폐의 UV영상을 촬영하기 위한 실험 장치이다. 영상을 촬영하기 위한 CCD카메라는 BASLER사의 SCA1000-30FC를 사용하였다. 렌즈는 ML-3514렌즈를 사용하였다. 자외선 조명은 UVS-P8D237 LED를 사용하였다. 다음으로 조명계는 LED POWER(MDLR12-25W)를 사용하였다. 실험 및 구현에는 MATLAB과 Visual studio 를 사용하였다. PC는 MS-Window XP Intel i5 CPU 2,27GHZ를 사용하였다.

그림 7. 실험 장치.
Fig. 7. Experimental device.

그림 8. UV패턴 추출 결과.
Fig. 8. UV-pattern extraction results.

표 1. 최적의 성분 수 K와 패턴 부분의 군집 수 그리고 식별 값.

Table 1. Optimal components of K and cluster number of UV-pattern and recognition value.

지폐 종류	K	군집 수	식별 값($\times 10^{-3}$)
5만원	5	1	12
만원	3	1	22
오천원	5	2	2, 1.4
천원	2	1	0.42
10말레	6	1	48
5말레	3	2	0.72, 5.23
1말레	3	1	0.9112
100위안	4	2	0.009, 0.717
100유로	4	2	1.53, 2.48
50유로	3	1	9.96
20유로	5	1	1.92
10유로	5	2	6.19, 1.15

지폐의 안정적 검사를 위하여 시스템의 반복정밀도가 중요하다. 전체 시스템은 크게 영상 획득단계와 패턴 추출 단계로 구분되며, 본 논문에서 제시한 패턴추출 단계에서는 동일한 영상에 대하여 항상 동일한 패턴을 추출한다. 그러므로 시스템의 반복정밀도를 높이기 위해서는 조명을 포함한 광학계의 안정적 영상 획득이 중요하다.

5.1 실험을 통한 모수 측정

표 1은 실험을 통하여 알아낸 최적의 성분 수 K와 UV 패턴 부분의 군집 수 그리고 식별 값이다. 표 1의 최적의 성분 수는 2-6개의 K를 SMEM 알고리즘에 입력하여 가장 UV패턴을 잘 분리한 영상을 육안으로 확인하여 결정하였다. UV패턴의 군집 수 역시 육안으로 확인하여 결정하였다. 마지막으로 식별 값을 본 논문에서 제안한 방법에 따라 구하였다.

5.2 제안방법을 이용한 UV패턴 추출결과

그림 8은 UV패턴의 추출 결과를 나타낸다. 그림 8(a)는 지폐 별 UV영상이다. 그림 8(b)는 SMEM 알고리즘을 이용하여 UV영상을 K개로 분리한 영상이다. 그림 8(c)는 K개로 분리된 영상에서 최종적으로 UV패턴을 추출한 결과이다. 다음으로 그림 8(d)-(f)는 제안방법과 다른 방법의 정확성을 비교하기 위한 영상이다. 그림 8(d)는 Gray영상의 1차원 히스토그램을 입력데이터로 EM 알고리즘을 영상분리 알고리즘 [17]으로 적용하여 UV패턴을 추출한 결과이다.

그림 8(e)는 제안방법과 동일하나 SMEM 알고리즘을 EM알고리즘으로 바꾸어 UV패턴을 추출한 결과이다. 그림 8(f)는 제안방법으로 UV패턴을 추출한 결과이다. 그림 8(d)와 제안방법인 그림 8(f)의 UV패턴 추출 결과를 비교해보면 명확히 제안 방법이 더욱 UV패턴을 정확하게 추출한 것을 확인할 수 있다. 그러나 전 처리 과정이 같은 그림 8(e)와 그림 8(f)를 비교해본 결과 육안으로 보기에 제안방법과 큰 차이점이 없어 보인다.

그림 9. 알고리즘 정확도 비교.

Fig. 9. Comparison of algorithm accuracy

그림 10. 검사시간 측정.

Fig. 10. Time measurement.

그림 9는 그림 8(e)와 그림 8(f)의 정확도를 비교한 영상이다. 그림 9의 상단은 기존 EM 알고리즘으로 UV패턴을 추출한 영상이고 하단은 제안방법으로 UV패턴을 추출한 영상이다. 그림 9에서 특정 부분을 확대한 영상을 보면 제안방법이 미세하게 더욱 정확한 것을 확인할 수 있다.

다음으로 검사시간을 테스트 해보았다. EM 알고리즘이나 SMEM 알고리즘의 가장 큰 단점은 데이터를 분리하고자 하는 K의 수가 증가할수록 검사시간이 폭발적으로 증가하는 문제점이 있다. 그림 9는 표 1의 데이터를 토대로 각 지폐의 최적의 K에 따른 검사 시간을 측정하여 그 평균을 나타낸 영상이다. 그림 10에서 보듯이 EM 알고리즘과 SMEM 알고리즘은 K값이 증가함에 따라서 검사시간이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

6. 결 론

본 논문은 영상 분리를 위한 데이터 표현 방법으로 색상과 채도 영역의 2차원 벡터 히스토그램을 이용하였다. 이는 기존의 Gray영상에서 패턴을 추출하는 것 보다 더욱 정확히 패턴을 추출하였다. 다음으로 UV영상의 분리를 위하여 SMEM 알고리즘을 적용하였다. 이는 기존 EM 알고리즘의 국부 최대화 문제를 개선한 알고리즘으로서 UV패턴을 더욱 정확히 분리할 수 있었다. 또한 분리된 UV영상에서 UV패턴부분을 확인 하기 위하여 공분산 벡터의 넓이와 가중치의 곱을 식별 값으로 나타내는 방법을 새로이 제안하였다.

최종적으로 자동지폐검사를 위한 UV패턴 분리방법을 제

안하여 UV영상에서 UV패턴을 추출하였다. 본 논문의 제안 방법으로 추출된 UV패턴을 기본적 영상처리 방법인 템플릿 매칭이나 레이블링을 이용하여 UV패턴을 자동적으로 검사하는 시스템을 제작 할 수 있을 것이라 생각된다. 이는 지폐 제조 시 오류검사 또는 지폐의 위폐 판별 검사에 기여할 수 있을 것이다.

추후 연구는 K 값이 증가함에 따라서 폭발적으로 증가하는 검사시간의 단축과 SMEM 알고리즘 내부에 존재하는 동작 안정성 문제[18]를 해결하는 연구를 진행하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정규태, 김명돈, 정영태, 김해식, 김민호, 홍성일, 박재운, 변건식, "광센서를 이용한 위조지폐감별 회로의 설계에 관한 연구", *대한전자공학회 학술발표회 논문집*, 제3권 2호, pp.209-213, 1994.
- [2] 권혁중, 박태형, "다중패턴 홀로그램을 위한 자동광학검사 시스템", *제어로봇시스템학회 논문지*, 제15권, 5월호, pp.547-553, 2009.
- [3] 서혜영, 권혁중, 이구열, 박태형, "위폐 판별을 위한 홀로그램 광학 검사 시스템 개발", *CICS 정보 및 제어 학술대회 논문집*, 제1권, pp. 163-164, 2007.
- [4] 채승훈, 서영태, 반성범, "UV 정보를 이용한 지폐 진위판별에 대한 연구", *한국정보기술학회 학술대회 논문집*, 제1권, pp. 753-756, 2009.
- [5] Y. Zhang, M. Brady, and S. Smith, "Segmentation of brain MR images through a hidden Markov random field model and the expectation-maximization algorithm", *IEEE Trans Med Imaging*, vol. 20, pp. 45-57, 2001.
- [6] M.-H. Yang and N. Ahuja, "Gaussian Mixture Model for Human Skin Color and Its Application in Image and Video Databases", *Proc. SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Databases VII*, vol. 3656, pp. 458-466, 1999.
- [7] S. K. Kim, D. W. Kim, and H. J. Kim, "A recognition of vehicle license plate using a genetic algorithm based segmentation", *Proc. ICIP: Nature*, vol. 2, pp. 661 - 664, 1996.
- [8] Y. J. Choo, B. S. Kang, "Extraction of Sizes and Velocities of Spray Droplets by Optical Imaging Method", *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 18, no. 7, pp. 1236-1245, 2004.
- [9] C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, J. Malik, "Image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 8, pp. 1026-1038, Aug, 2002.
- [10] 서석태, 이인근, 정해천, 권순학, "가우시안형 유한 혼합 분포에 기반한 다중 임계값 결정법", *한국지능시스템학회 논문지*, 제17권, 6호, pp.725-730, 2007.
- [11] N. Ueda, R. Nakano, Z. Ghahramani, and G.E. Hinton, "SMEM Algorithm for Mixture Models", *Neural Computation*, vol. 12, no. 9, pp. 2109-2128, 2000.
- [12] A. Dempster, N. Laird, and D. Rubin, "Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm", *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 39, no. 1, pp. 1-38, Dec 1977.
- [13] Ueda, N. and Nakano, R., "Deterministic Annealing EM Algorithm", *Neural Network*, vol. 11, pp. 271-282, 1998.
- [14] Belongie, S., Carson, C., Greenspan, H. and Malik, J., "Color-and Texture-Based Image Segmentation Using EM and Its Application to Content-Based Image Retrieval", *Proc. the 6th Int. Conf. on Computer Vision*, vol. 1, pp. 675-682, 1998.
- [15] R. De Maesschalck, D. Jouan-Rimbaud and D.L. Massart, "The Mahalanobis distance", *Chemometr. Intell. Lab. Syst.* 50, pp. 1-18, 2000.
- [16] Lim, Jae S., *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, pp. 469-476, 1990.
- [17] O. Demikaya, M. H. Asyali and P. K. Sahoo, *Image processing with MATLAB : Applications in medical and biology*, CRC Press, pp. 267-272, 2009.
- [18] Z. Zhang, C. Chen, J. Sun, "EM algorithms for Gaussian mixtures with split-and-merge operation", *Pattern Recognition*, vol. 36, pp. 1973-1983, 2003.

저 자 소 개

이건호(Geon Ho Lee)

2009년 : 충북대 전기전자컴퓨터공학부 졸업

2011년 : 동 대학원 제어로봇공학과 졸업 (석사)

2011년 ~ : 미래산업(주) 연구원

관심분야 : 자동광학검사시스템, 영상처리, 최적화 알고리즘
E-mail : lkh30624@naver.com

박태형(Tae Hyung Park)

1988년 : 서울대 제어계측공학과 졸업

1992년 : 동 대학원 제어계측공학과(석사)

1994년 : 동 대학원 제어계측공학과(박사)

1994년 ~ 1997년 : 삼성 테크윈(주) 정밀기기연구소 선임 연구원

1997년 ~ 현재 : 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교수

2000년 ~ 2001년 : Univ. of Totonto 방문교수

관심분야 : 산업용 로봇 및 자동화 시스템, 영상처리 응용, 이동로봇 시스템 등

E-mail : taehpark@cbnu.ac.kr