

특징 분석을 통한 위변조지폐 판별 알고리즘

지상근*, 이해연*

*국립금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과
e-mail: haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr

Algorithm for Detecting Counterfeit Money based on Feature Analysis

Sang-Keun Ji*, Hae-Yeoun Lee*

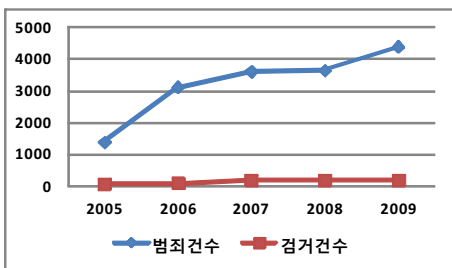
*Dept of Computer Software Engineering,
Kumoh National Institute of Technology

요 약

디지털 고성능 영상장비의 대중화와 강력한 이미지 편집 소프트웨어의 출현으로 인해 고화질의 위·변조지폐를 누구나 쉽게 제조 가능하게 되었다. 그러나 일반인의 위·변조지폐 발견비율은 낮은 수준이다. 본 논문에서는 범용 스캐너를 이용하여 위·변조지폐를 판별할 수 있는 시스템을 제안한다. 본 시스템에서는 위·변조지폐를 출력하는 과정에서 나타나는 인쇄물의 고유한 특징에 기반하여 위·변조 여부를 판별한다. 비지역적 평균 알고리즘을 이용하여 노이즈 특성을 추출하고, 명암도 작용길이 행렬을 계산하여 지폐의 특성을 추출하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 총 324장의 1만원권 지폐와 위조지폐 이미지로 실험하였으며, 그 결과 제안한 알고리즘이 위·변조 판별에 있어서 92% 이상을 보임을 확인하였다.

1. 서론

컴퓨터와 디지털 기기의 대중화와 고화질의 영상에 대한 관심과 요구로 인해 디지털 기기의 디지털 고성능 영상장비를 저렴한 가격으로 누구나 쉽게 구매할 수 있다. 또한, 고화질의 영상을 얻을 수 있게 됨에 따라 정밀한 편집 기술에 대한 관심과 강력한 이미지 편집 소프트웨어의 출현으로 인해 손쉬운 이미지 편집이 가능하게 되었다. 이로 인해 각종 인쇄물의 위·변조 및 복제에 대한 범죄가 증가하고 있다. (그림 1)에 나타난 것과 같이 화폐 위조범죄가 급격히 증가하는데 비해 검거건수는 극히 미미하다.



(그림 1) 화폐 위조 범죄 발생/검거 현황

이는 기존의 위·변조지폐 판별 장치가 지폐의 마그네틱과 자외선, 적외선 같은 물리적인 특성을 이용하기 때문에 다양한 지폐의 판별이 어렵고, 이로 인해 지폐의 종류마다 판별 장치를 구입하는데 높은 비용이 필요하므로 일반인에게 보급이 어렵다는 점에 기인한다.

본 논문에서는 손쉽게 다양한 위·변조지폐의 판별이 가능하며, 일반인들이 저렴한 비용으로 구축 가능한 스캐너를 이용한 위·변조지폐 판별 알고리즘을 제안한다. 위·변조지폐를 출력하는 과정에서 나타나는 인쇄물에 숨겨져 있는 고유한 특징을 비지역적 평균값을 이용하여 추출하고 명암도 작용길이 행렬을 생성한 후에 통계적인 특징값을 활용하여 위·변조 여부를 판별한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 인쇄물에 대한 기존의 특징 추출 방법에 대해 소개하고, 3절에서는 제안하는 위·변조지폐 판별 기술을 설명한다. 4절에서는 실험 결과를 제시하고 5절에서는 결론을 짓도록 하겠다.

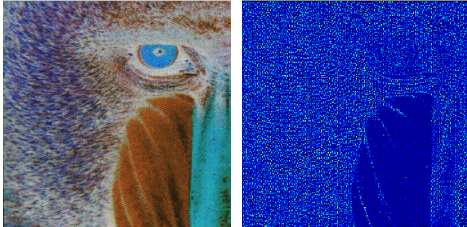
2. 관련연구

위·변조지폐 판별 알고리즘의 성능은 인쇄된 지폐에 존재하는 고유한 특징의 정확한 추출에 의해 좌우된다. 기존에 인쇄물의 특징을 활용하여 인쇄에 사용된 프린터를 판정하는 연구들이 진행되었고 본 절에서 이를 위한 특징들에 대해서 간략히 설명한다 [1-3].

2.1 위너필터를 이용한 노이즈 특성 추출

위너필터란 비정상성 잡음을 제거하는 데 유용한 필터로 최소자승 필터라고 한다. 이를 이용하여 입력 영상에서 의도하지 않게 들어가 튀는 값들을 제거하여, 잡음을 제거한 이미지를 얻을 수 있다.

위너필터를 이용한 노이즈 특성 추출은 (그림 2)와 같이 원본 이미지에서 위너필터를 이용하여 잡음이 제거된 이미지의 차이를 계산함으로써 노이즈 특성을 추출하는 방법으로 Lee et al.에서 인쇄물의 특징을 추출하는데 사용되었다 [1].

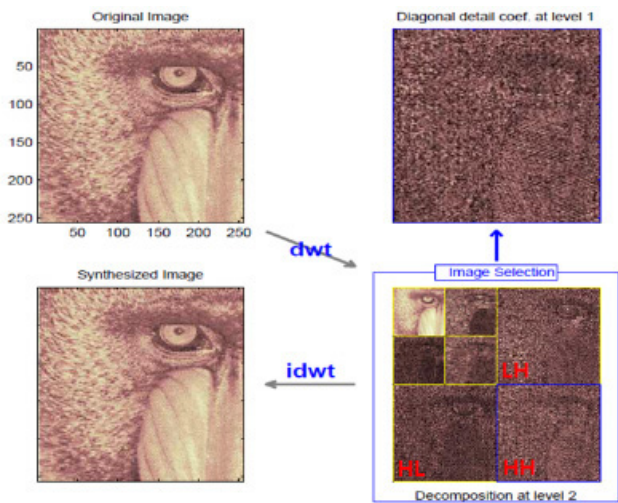


(그림 2) 위너필터를 이용한 노이즈 특징 추출

2.2 이산웨이블릿변환을 이용한 노이즈 특성 추출

(그림 3)과 같이 영상에 대해 이산 웨이블릿 변환을 수행하면 4개의 주파수 성분(LL, LH, HL, HH)으로 분할되고, 고주파 성분인 HH(High-High)영역은 노이즈 특성을 나타낸다.

이와 같이 이산 웨이블릿 변환의 고주파 성분을 노이즈 특성으로 사용하는 방법은 Choi et al. [2]와 Baek et al. [3]에서 사용되었다.



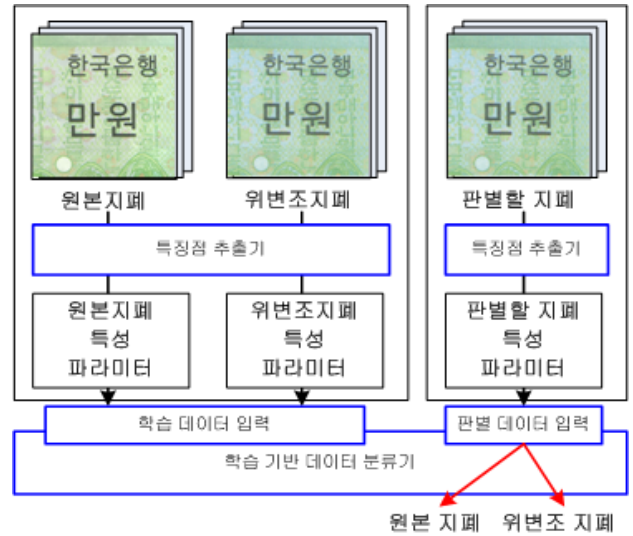
(그림 3) 이산 웨이블릿 변환을 이용한 노이즈 특징 추출

3. 제안하는 위·변조지폐 판별 기술

본 논문에서 제안하는 위변조 지폐 판별 기술은 훈련 및 판별의 2단계로 구성되어 있다. 제안하는 기술의 대략적인 수행 과정은 (그림 4)에 도시되어 있다.

훈련 과정에서는 원본 지폐와 위변조된 지폐를 스캔한 이미지를 사용하여 각 지폐의 고유한 특징을 추출하고, 학습기반 데이터 분류기의 파라미터로 입력하여 훈련을 수행한다. 판별 과정에서는 임의의 지폐가 데이터가 들어왔

을 때, 특징을 추출하고, 학습기반 데이터 분류기에 입력하여, 원본인지 위조본인지 판별을 수행한다.



(그림 4) 위변조지폐 판별 알고리즘

제안하는 판별 기술의 성능은 고유한 특징에 대한 정확한 추출과, 추출된 특징의 학습 분류기를 통한 올바른 분류 기능에 의하여 좌우된다. 본 연구에서는 프린터에 존재하는 고유한 특징을 추출하기 위하여 다양한 특징점에 대한 연구를 수행하였고, 가장 최적의 결과를 나타내는 비지역적 평균 값을 이용한 명암도 작용행렬을 생성하고 통계적인 특징을 추출하는 방법을 제안한다.

3.1 비지역적 평균 알고리즘을 이용한 노이즈 특성 추출

비지역적 평균 알고리즘은 영상 노이즈 제거 알고리즘 중에 하나로서 노이즈 제거에 우수한 성능을 보인다. 이는 노이즈를 제거하고자 하는 화소의 주변 집합에서 주변 집단 영역과의 유사성을 비교하고 유사한 정도에 따라 가중치를 주어서 이를 기반으로 평균을 구하는 노이즈 제거 알고리즘이다 [4].

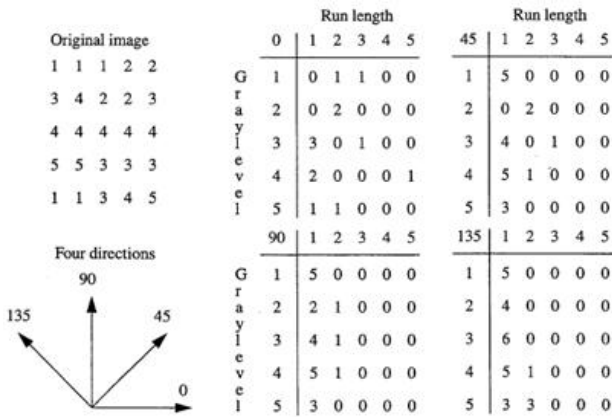
그러나 주변 화소들의 집합 크기를 일정 크기로 한정하지 않고 이미지 전체로 확장하여 적용하므로, 다른 노이즈 제거 알고리즘보다 성능이 뛰어나지만 연산 속도가 느린 단점이 있다.

본 논문에서는 입력받은 지폐 이미지를 RGB영역에서 CMY영역으로 변환하여 각 CMY영역별로 비지역적 평균 알고리즘을 이용하여 노이즈 특성을 추출한다.

3.2 명암도 작용길이 행렬을 이용한 특징점 추출

명암도 작용길이 행렬(Gray Level Run-Length Matrix)은 명암도 동시발생 행렬과 같이 화소 기반의 통계적 질

감영상 생성을 위해 A. Chu et al.에 의해 제안되었다 [5]. 이는 영상에서 픽셀간의 연속된 값의 길이를 나타내는 방법으로 (그림 5)과 같이 각 방향에서 연속적으로 나타나는 픽셀의 값과 길이를 좌표 값으로 이용하여 픽셀의 작용길이를 기록한다.



(그림 5) 명암도 작용길이 행렬 예제

본 논문에서는 지폐 이미지의 특징점 추출을 위해 앞서 추출한 노이즈 특성으로부터 0°, 45°, 90°, 135°의 4가지 방향에 대해 명암도 작용길이 행렬을 계산하였다. 계산한 행렬로부터 <표 1>와 같이 통계적인 특성인 SRE, LGRE, HGRE, SRLGE, SRHGE, LRLGE, LRHGE를 계산하여 특징점으로 추출하였다. 이 특징점들은 위·변조 여부를 판별하는데 훈련 및 판별 데이터로 이용된다.

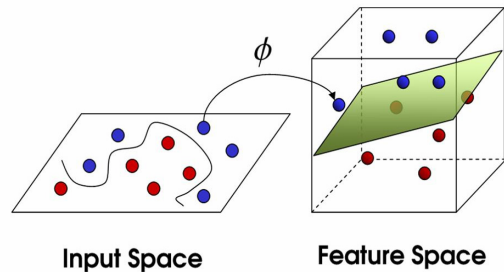
<표 1> 명암도 작용길이 행렬에 대한 특징점

특징점 및 모델링	설명
$SRE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{M(a,r)}{r^2}$	Short Run Emphasis
$LGRE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{M(a,r)}{a^2}$	Low Gray Level Run Emphasis
$HGRE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} M(a,r)a^2$	High Gray Level Run Emphasis
$SRLGE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{M(a,r)}{a^2 r^2}$	Short Run Low Gray Level Emphasis
$SRHGE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{M(a,r)a^2}{r^2}$	Short Run High Gray Level Emphasis
$LRLGE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} \frac{M(a,r)r^2}{a^2}$	Long Run Low Gray Level Emphasis
$LRHGE = \frac{1}{n_r} \sum_{a=1}^L \sum_{r=1}^{N_r} M(a,r)a^2 r^2$	Long Run High Gray Level Emphasis

3.3. 학습기반 데이터 분류기

학습기반 데이터 분류기(Support Vector Machine)는 통계학자인 Vladimir Vapnik에 의하여 제안된 이진분류를

위한 학습 알고리즘이다 [6]. 이진분류란 (그림 6)과 같이 수집된 데이터를 이용하여 구조적 위험 최소화 개념에 기반으로 하여 최적의 선형 결정 평면을 구하는 것이다. 입력된 훈련 데이터를 고차원의 특징 공간에 사상하여, 서로 다른 클래스로 분류시키는 초평면을 찾아 이를 통해 입력 데이터의 클래스를 분류하는 것을 목적으로 한다.



(그림 6) Support Vector Machine을 통한 이진 분류

(그림 6)과 같이 분리 경계가 매우 복잡한 문제를 선형 판별함수의 사용이 가능한 단순한 문제로 변환시키기 때문에 수학적 분석이 수월하다. 또한, 적은 양의 학습 데이터만으로도 분류 성능이 우수하며 비선형 분리 문제와 같은 복잡한 분류에도 적합하여 문자 및 필기 인식, 얼굴 인식 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

본 논문에서는 Support Vector Machine을 이용하여 앞서 추출한 지폐 이미지의 특징점을 훈련 및 판별 데이터로 이용하여 위·변조 여부를 판별하였다.

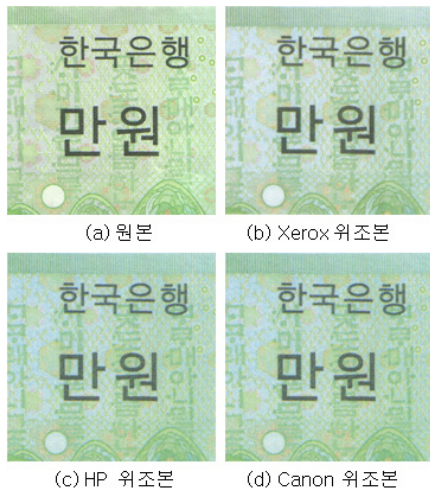
4. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 총 8개의 프린터(Xerox DCC 450, Xerox DCC 4300, Xerox DCC 5540, Xerox DCC 6550, HP, Canon iRC2620, Canon iRC3200N, Konica C250)로 각각 36장씩 출력한 1만원권 위조지폐와 36장의 1만원권 원본 지폐를 스캐너를 통해 스캔하여 훈련데이터를 수집하였다.

(그림 7)에는 실험에 사용된 원본 지폐 및 위변조 지폐의 예를 보여주고 있다. 수집한 데이터를 기반으로 하여 기존 연구에서 사용했던 위너필터와 이산웨이블릿변환에서 추출한 특징과 제안하는 비지역적 평균 알고리즘을 통해 추출한 노이즈 특징을 이용하여 명암도 작용길이 행렬을 생성하고, 특징값을 계산한 후에 학습기반 데이터 분류기에 입력하여 위·변조 여부를 판별하였다.

<표 2>에는 6회의 실험을 수행한 결과를 정리하였다. 위너필터를 이용하였을 경우 평균 92.28%의 위변조지폐 판별 정확도를 보이며, 이산웨이블릿변환은 평균 87.80%의 정확도를 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서

제안하는 비지역적 평균 알고리즘을 사용했을 경우 평균 94.67%의 정확도를 보여 다른 방법보다 약 2~7%정도의 높은 정확도를 나타냈다.



(그림 7) 원본 지폐 및 위변조 지폐의 예

<표 2> 명암도 작용길이 행렬을 이용한 위변조지폐 판별 알고리즘 정확도(%)

	위너필터	이산웨이블 릿변환	비지역적 평균값
1회	86.11	60.19	95.37
2회	87.04	63.89	91.67
3회	82.41	59.26	87.96
4회	84.26	57.41	96.30
5회	89.81	62.97	92.59
6회	87.96	54.63	88.89
평균	86.27	59.73	92.13

5. 결론

고성능 디지털 인쇄기기 보급의 확대와 강력한 이미지 편집 소프트웨어의 출현은 지폐의 위조나 변조가 용이해 그에 따른 범죄가 늘고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하는 방안을 제시하고자 지폐의 고유한 특징을 추출하여 위변조를 판별하는 기술을 제안하였다. 위·변조 지폐 판별을 위하여 비지역적 평균 알고리즘을 이용한 노이즈 특성을 이용하여 명암도 작용길이 행렬을 생성하고 특징값을 추출한 후에, 학습기반 데이터 분류기를 훈련하고, 이를 기반으로 위·변조 여부를 판별한다.

실험에 따르면 비지역적 평균 알고리즘을 적용하면 비지역적 평균 알고리즘을 적용하면 평균 92.13%의 정확도를 보였고, 기존의 알고리즘에 비하여 정확도를 향상하였다. 하지만 노이즈 특성을 추출하는 비지역적 평균 알고리즘을 수행함에 있어 많은 시간이 소모되므로, 이에 최적화

된 알고리즘에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 판별의 정확도 향상을 위하여 지폐의 고유한 특징인 특징점을 추출하는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

Acknowledgement

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2011-0005129)

참고문헌

- [1] H-Y Lee, J-Y Baek, S-G Kong, H-S Lee, J-H Choi, "Color Laser Printer Forensics through Wiener Filter and Gray Level Co-occurrence Matrix", 정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용, 제37권 제8호, pp509-610, 2010.
- [2] J.-H. Choi, "Color laser printer identification using color noise features", MCS 09030, MS thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Proc. of ACM Multimedia and Security (MMSEC 2010), pp. 19-24. 2009.
- [3] J-Y Baek, H-S Lee, S-G Kong, J-H Choi, Y-M Yang, H-Y Lee, "Color Laser Printer Identification through Discrete Wavelet Transform and Gray Level Co-occurrence Matrix", 정보처리학회논문지, 제17-B권 제3호, pp197-206, 2010.6
- [4] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein, "Textural features for image classification," IEEE Trans. on Systems, Man, Cybernetics, Vol.3, No.6, pp.610-621, 1973.
- [5] A. Chu, C.M. Sehgal, and J.F. Greenleaf, "Use of Gray Value Distribution of Run Lengths for Texture Analysis", Pattern Recognition Letters, vol. 11, pp. 415-420, 1990.
- [6] Wikipedia, "Support Vector Machine", http://en.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machine