

Counterfeit Money Detection Algorithm based on Morphological Features of Color Printed Images and Supervised Learning Model Classifier

Qui-hee Woo[†] · Hae-Yeoun Lee^{**}

ABSTRACT

Due to the popularization of high-performance capturing equipments and the emergence of powerful image-editing softwares, it is easy to make high-quality counterfeit money. However, the probability of detecting counterfeit money to the general public is extremely low and the detection device is expensive. In this paper, a counterfeit money detection algorithm using a general purpose scanner and computer system is proposed. First, the printing features of color printers are calculated using morphological operations and gray-level co-occurrence matrix. Then, these features are used to train a support vector machine classifier. This trained classifier is applied for identifying either original or counterfeit money. In the experiment, we measured the detection rate between the original and counterfeit money. Also, the printing source was identified. The proposed algorithm was compared with the algorithm using wiener filter to identify color printing source. The accuracy for identifying counterfeit money was 91.92%. The accuracy for identifying the printing source was over 94.5%. The results support that the proposed algorithm performs better than previous researches.

Keywords : Counterfeit Money Detection, Morphological Feature, Gray Level Co-occurrence Matrix, Supervised Learning Model Classifier

컬러 프린터 영상의 모폴로지 특징과 지도 학습 모델 분류기를 활용한 위변조 지폐 판별 알고리즘

우 귀 희[†] · 이 해 연^{**}

요 약

고성능 영상 장비의 대중화와 강력한 이미지 편집 소프트웨어의 출현으로 인해 지폐 및 유가 증권 등을 고품질로 위변조가 가능해졌다. 특히 컬러 레이저 프린터의 범용화로 인하여 화폐 위변조 범죄는 급격히 증가하고 있지만, 일반인이 이를 판별하는 비율은 낮은 수준이며 판별 기기도 고가이다. 본 연구에서는 범용 스캐너와 컴퓨터 시스템을 활용하여 화폐의 위변조를 탐지하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 먼저 지폐의 인쇄 방식과 다른 컬러 프린터의 인쇄 특징을 계산하기 위하여 모폴로지 기술과 명암도 동시 발생 행렬을 활용하였다. 그 후 계산된 특징들을 지도 학습 모델 분류기에 적용하여 훈련을 시켰다. 이렇게 훈련된 분류기에 판별을 위한 지폐를 입력하고 위변조 여부에 대한 분석을 수행한다. 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 위변조 지폐의 판별률과 인쇄에 사용한 프린터의 판별률로 나누어 평가를 하였다. 또한 기존의 컬러 프린터 판별에 사용되었던 위너필터를 사용한 기술과 비교를 수행하였다. 그 결과 제안한 알고리즘이 위변조 지폐 식별에 있어서 91.92%, 위변조 기기의 식별에 있어서 94.5% 이상 정확도를 보여 기존 컬러 프린터의 특징 추출 방법을 활용한 것보다 우수한 것으로 나타났다.

키워드 : 위변조 지폐 판별, 모폴로지 연산, 명암도 동시발생 행렬, 지도 학습 모델 분류기

1. 서 론

현대는 정보화 사회로 정보 활용 주체인 인간에게 편리한

방향으로 컴퓨터와 기술이 발달되어 가고 있다. 그러나 고성능 컬러 복제 도구의 가격 하락과 대중화된 사무기기를 통해 일반인이 서류 위변조, 상품권 위변조, 지폐 위변조 등 위변조가 용이해짐에 따라 다양한 사회 문제가 야기되고 있고, 지폐 위변조는 심각한 문제로서 대두되고 있다[1].

그동안 칼라 복사기를 이용한 위조는 급감했는데 이는 칼라 복사기 구매시 신고 의무가 법류로 규정되어 있어 위조 지폐 발견 시 위조지폐에 복사기의 정보가 삽입되어 있어 경찰의 추적이 쉽기 때문이다. 반면 컬러 프린터는 기종에

※ 이 연구는 국립금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

† 준 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터IT학과 공학석사

** 정 회 원 : 국립금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수

논문접수 : 2013년 5월 28일

수정일 : 1차 2013년 7월 25일

심사완료 : 2013년 7월 29일

* Corresponding Author : Hae-Yeoun Lee(haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr)

따라 인쇄품질이 우수하고, 신고나 등록의 의무가 없어 소유자의 추적을 통한 수사가 불가능하기 때문에 최근 모든 위조지폐가 이를 통해 만들어지는 것으로 분석되었다. Table 1과 Table 2에는 한국은행에서 분석한 위조지폐의 발견 상황을 요약하였다. 이에 따르면 최근 발견된 위조지폐는 컬러프린터, 복합기 등 디지털 기기를 이용하여 단순하게 복제하는 방법으로 위조한 것이 대부분으로 분석되었다.

Table 1. Counterfeit detection status depending on currency unit

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
₩50,000	-	-	16	111	115	329
₩10,000	8,742	9,027	8,553	5,759	4,232	3,783
₩5,000	6,801	9,835	8,464	6,511	5,573	4,438
₩1,000	609	372	170	60	87	76
Total	15,678	15,448	12,252	9,298	10,007	8,626

Table 2. Counterfeit detection status depending on finder

	2007	2008	2009	2010	2011
Bank of Korea	9,009	8,468	3,957	2,827	2,659
Public banks	6,200	6,815	8,220	6,389	7,348
Public citizens	469	165	75	82	
Total	15,678	15,448	12,252	9,298	10,007

한국은행권에서 사용되고 있는 위조방지 시스템은 일반인이 컬러 프린터에 의한 위조지폐를 구별하는데 큰 도움이 되지 못하고 있다. 이는 위조지폐방지 요소 개발을 신기술 개발에 지나치게 의존하고 있기 때문이다. 그러나 이러한 요소들은 조직범죄에 의한 위폐 제작을 방지하기 위한 방법일 뿐, 정작 가장 빈번하게 일어나는 위조지폐의 발생 사례를 고려하지 않고 있다. 현재까지 발생한 모든 위조지폐는 위폐감식장비를 필요로 할 정도의 정교한 위조가 아니라 위폐여부에 무신경한 한국인의 습관을 바탕으로 한 위조였다. 특히 대부분의 위조지폐가 컬러 프린터 등 개인용 복제도구를 이용했다는 점을 감안한다면 홀로그램의 도입이나 은선 삽입방법의 재고와 같이 개인용 복제 도구로 모방이 불가능한 요소를 찾아 효과적인 적용방법을 연구할 필요가 있다.

그러나 컴퓨터, 스캐너, 프린터 등 개인 사무기기를 범죄에 악용하는 사례가 빈번해지고 있고, 그 수법이 점점 교묘해지면서 일반인이 위·변조 여부를 판별할 확률은 1%정도로 매우 어렵다. 그 대표적인 사례가 위조지폐의 제작 및 유통으로 이는 한 나라의 경제 질서를 어지럽히는 심각한 문제가 아닐 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 컬러 프린터의 특성을 판별하여 위조지폐 여부를 판별하는 기술을 제안한다. 각 제조사마다 인쇄방법이 다르기 때문에 육안으로 판별할 수 없는 미세한 차이가 출력물에 존재한다는 점을 이용하여 지폐 이미지의 팽창 축소 필터링을 통하여 노이즈를 제거하고 원본 지폐와 노이즈를 제거한 지폐의 차이점을 특징값으로 추출하여 인쇄기기를 판별하였다. 또한 기존 연구들에서 사용되

었던 컬러 레이저 프린터가 아닌 잉크젯 프린터를 대상으로 실험을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 컬러 프린터의 판별을 위한 기존 연구들에 대해서 소개하고, 3절에서는 제안하는 위·변조 지폐 판별 알고리즘을 설명한다. 4절에서는 실험 결과를 제시하고 5절에서는 결론을 짓도록 하겠다.

2. 관련 연구

위변조 이미지의 판별 알고리즘의 성능은 인쇄된 이미지에 존재하는 고유한 특징을 정확하게 추출하는 것에 의해 좌우된다. 최근에 기존 인쇄물의 특징을 활용하여 인쇄에 사용된 프린터를 판정하는 연구들이 진행되었고 본 절에서 이를 위한 특징들에 대해서 간략히 설명한다.

2.1 위너필터를 이용한 프린터 판별 기술

Lee et al.[2]은 위너필터와 명암도 동시발생 행렬을 통하여 특징을 추출한 후에 이를 서포트 벡터 머신 분류기에 적용하는 컬러 레이저 프린터 포렌식 기술을 제안하였다. 위너필터란 입력을 원하는 출력과 가능한 한 매우 근사하게 변환시켜주는 필터로서, 필터 출력과 원하는 결과의 차의 제곱의 합이 최소가 된다는 의미에서 최소자승 필터라고도 한다[3]. Lee et al.[2]은 원본 및 위조지폐를 스캔하여 얻은 RGB 영역의 이미지를 CMY 영역으로 변환하고, CMY 영역 별로 위너필터를 적용한 후 그 차이 연산을 통해 노이즈를 추출한다. 즉, 위너필터를 적용하여 노이즈를 제거한 이미지를 원본 이미지와의 차이 연산을 통해 인쇄 과정에서 나타나는 고유한 특징인 노이즈 특성을 추출한다. CMY 영역 변환 이미지와 위너필터 적용 이미지는 Fig. 1과 같다.

추출된 노이즈 특징에 대하여 명암 동시발생 행렬을 생성하였다. Haralick et al.[4]이 제안한 명암 동시발생 행렬은

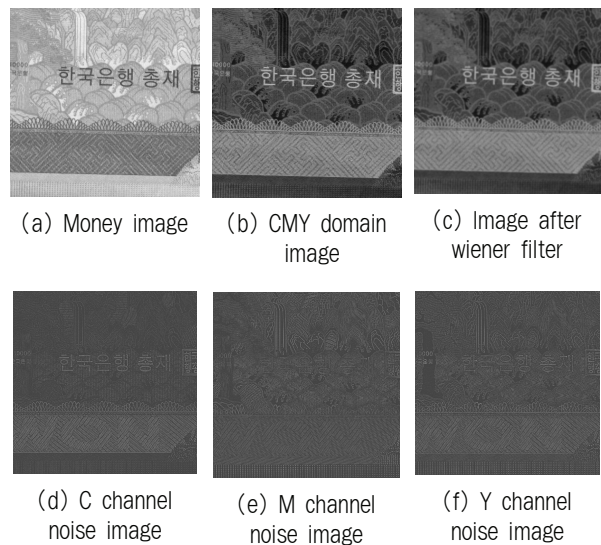


Fig. 1. Noise example of money using wiener filter

영상 내에서 픽셀간의 밝기 값 관계를 나타내는 방법으로 지정한 방향(0도, 45도, 90도, 135도 등)으로 두 점 사이의 밝기값 차이에 해당하는 패턴이 얼마나 자주 나오는지를 이용하여 그 빈도를 기록한 행렬이다. 이 행렬은 영상 텍스처 특성을 하나의 행렬로 표현한 것으로, 원본 영상의 크기에 상관없이 항상 고정된 크기를 갖기 때문에 스캔하는 영상의 해상도 등에 상관없이 잡음 특성을 잘 표현할 수 있다.

이렇게 계산한 명암도 동시발생 행렬에서 유사성(homogeneity), 대조(contrast), 합계(energy), 상관관계(correlation), 공분산(covariance)의 60개 특징값을 추출하고, 서포트 벡터 머신 분류기(support vector machine classifier)에 적용하여 학습을 수행한 후에, 판별을 하고자 하는 대상이 들어오면 위너필터와 명암도 동시발생 행렬을 통한 특징의 계산 과정을 거쳐, 추출한 특징을 분류기에 입력함으로써 인쇄에 사용된 기기의 판별을 수행하였다.

2.2 이산 웨이블릿 변환을 이용한 프린터 판별 기술

이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)을 이용하여 만들어진 고주파(HH) 영역은 노이즈에 대한 정보를 담고 있으며, 이 정보가 인쇄 장치마다 많이 다르다는 것을 활용하여 인쇄에 사용한 컬러 레이저 프린터를 판별하는 기술을 Choi et. al.[5]과 Baek et al.[6]에서 연구하였다.

Choi et al.[5]는 출력과정에서 색을 재구성하는 방법이 인쇄 장치마다 다르다는 점에 착안하여 Fig. 2와 같이 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 고주파 성분을 계산하고, 30개 특징을 추출하여 서포트 벡터 머신 분류기를 통하여 프린터를 판별하는 방법을 제안하였다. 이산 웨이블릿 변환으로 변환된 각각의 R, G, B 영역 중에서 노이즈 성분이 있는 HH 영역에서의 표준편차, 왜도, 첨도, R과 G, G와 B 및 R과 B 밴드의 공분산과 상관계수를 계산하여 하나의 특징 벡터로 정한다. RGB영역에서 표준편차(standard deviation), 왜도(skewness), 첨도(kurtosis), 공분산(covariance), 상관계수(correlation)의 총 15개의 특징값을 추출할 수 있다. 이 과정은 YCbCr 영역에서도 똑같이 이루어지고, 두 영역에서 추출한 총 30개의 특징값을 하나의 벡터로 합친다. 각 이미지마다 하나의 특징값 벡터를 생성한 다음, 서포트 벡터 머신을 이용하여 생성한 특징값 벡터들 중 절반은 학습에 이용하고 나머지 절반은 문서를 출력한 컬러 레이저 프린터를 판별하는데 이용하였다.

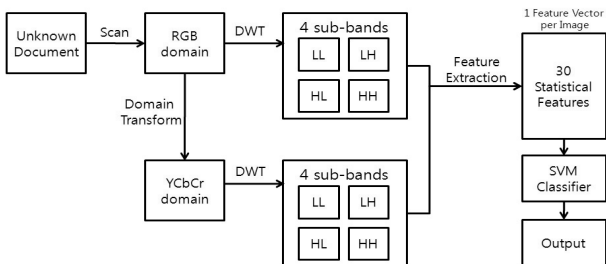


Fig. 2. Color laser printer detection using DWT of Choi et al.[5]

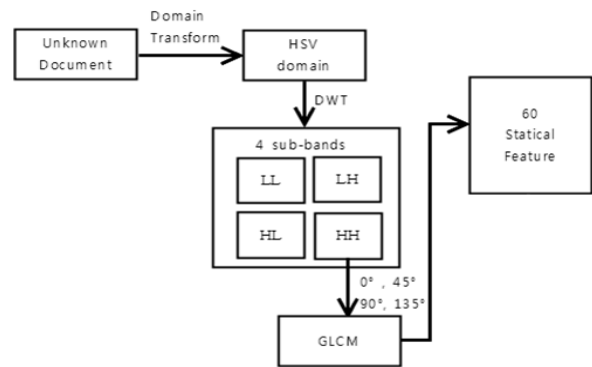


Fig. 3. Color laser printer identification using DWT of Baek et al.[6]

Baek et al.[6]은 Fig. 3와 같이 입력된 RGB 영상에 대하여 HSV 영상으로 변환한 후에, 각 채널에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 이용하여 고주파 성분을 계산하고, 이 성분에 대하여 명암 동시발생 행렬을 계산한 후에 60개의 특징값을 추출하고, 이를 학습 기반 분류기에 적용하여 프린터를 판별하는 기술을 제안하였다. 특히 명암도 동시발생 행렬로 변형된 영역에 대하여 유사성(homogeneity), 대조(contrast), 합계(energy), 상관관계(correlation), 공분산(covariance)의 통계적인 특성을 사용하여 각 특징을 추출하였다.

2.3 비지역적 평균 알고리즘을 활용하는 프린터 판별 기술

비지역적 평균(non-linear local means) 알고리즘은 최근 널리 사용되는 잡음 제거 알고리즘 중에 하나이다[7, 8]. 이는 노이즈를 제거하고자 하는 화소의 주변 집합에서 주변 집단 영역과의 유사성을 비교하여 그 유사한 정도에 따라 가중치를 주어 이를 기반으로 평균을 구하는 노이즈 제거 알고리즘으로 시각적, 수치적 성능에서 우수하다.

Ji et. al[8]은 비지역적 평균 알고리즘을 통하여 프린터의 잡음을 추출한 후 명암도 동시발생 행렬과 명암도 작용길이 행렬에 적용하여 특징을 추출하고, 학습 기반 분류기를 통하여 프린터를 판별하는 기술을 연구하였다. 특히 본 연구에서는 명암도 동시 발생 행렬은 기존 연구들에서 많이 활용하였으나 명암도 작용길이 행렬(gray level run-length matrix)을 프린터 판별에 처음 도입하여 특징값을 추출하는 기술을 적용하였다[9].

비지역적 평균 알고리즘을 적용할 경우 주변 화소들의 집합 크기를 일정 크기로 한정짓지 않고 이미지 전체로 확장하여 적용하므로, 다른 노이즈 제거 알고리즘보다 성능은 뛰어나지만, 연산 속도가 느리다는 단점이 있다.

3. 제안하는 위·변조 지폐 판별 알고리즘

본 절에서는 위변조 지폐 판별 알고리즘을 제안한다. 컬러 프린터의 기기별 특징을 추출하기 위하여 모폴로지 알고리즘을 이용하여 노이즈 성분을 추출하고, 이에 대하여 명암도

동시발생 행렬을 적용함으로써 특징을 계산한다. 계산한 특징점을 이용하여 지도 학습 모델 분류기인 서포트 벡터 머신 분류기에 입력하여 학습시켜 위조지폐 판별뿐만 아니라 인쇄에 사용된 컬러 프린터의 기기 판별 까지 수행한다.

3.1 제안 알고리즘의 구조

제안하는 컬러 프린터 판별기술은 Fig. 4과 같이 크게 훈련과정과 판별과정 두 가지로 나눌 수 있다. 훈련 과정에서는 판별하고자 하는 프린터로 인쇄한 이미지를 사용하여 각 프린터의 고유한 특징을 추출하고, 지도 학습 모델 분류기의 파라미터로 입력하여 훈련을 수행한다. 판별과정에서는 임의의 데이터가 들어왔을 때, 특징점을 추출하고, 지도 학습 모델 분류기에 입력하여, 어떤 인쇄기기로 출력했는지 판별을 수행한다.

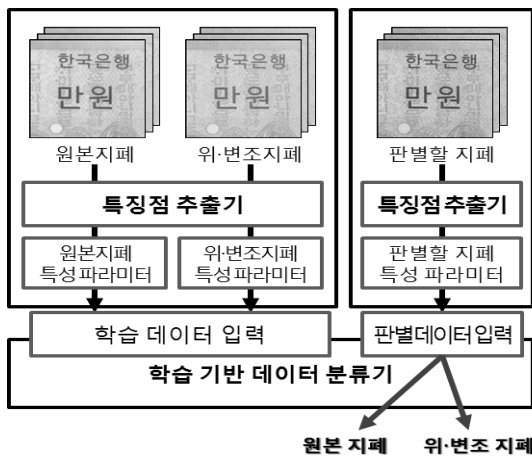


Fig. 4. Proposed counterfeit money detection algorithm

컬러 프린터 판별 알고리즘의 성능은 프린터를 고유하게 판별할 수 있는 특징 추출에 크게 영향을 받고 있으므로, 본 연구에서는 프린팅된 이미지에 존재하는 고유한 특징을 추출하기 위하여 다양한 특징점 추출 기술에 대한 연구를 수행하였고, 최적의 방법 중에 하나로서 형태학적 접근 기법인 모폴로지에 기반한 특징 추출하는 방법을 고안하였다.

3.2 모폴로지에 기반한 특징 추출 알고리즘

제안하는 특징 추출 알고리즘에서는 컬러 프린터의 특징점을 추출하기 위해 RGB 보다 인간의 시각 시스템과 유사한 HSV 도메인을 사용한다. 스캐너로 입력받은 RGB 형식 영상에 대하여 HSV 영역으로 변환하고, 이에 대하여 Fig. 5과 같이 OBR(Opening by Reconstruction) 과정과 CBR(Closing by Reconstruction) 과정을 통한 모폴로지 연산을 통하여 처리한 영상을 생성한다. 이렇게 생성된 영상에 대하여 원본 영상(I)과 처리된 영상(Ip)의 차이값을 계산하여 입력된 프린터 영상의 특징을 나타내는 잠음, 프린터의 고유한 특징으로 간주한다. 모폴로지의 팽창과 침식 연산은 실제 영상 처리 응용에서 다양한 조합으로 사용된다.

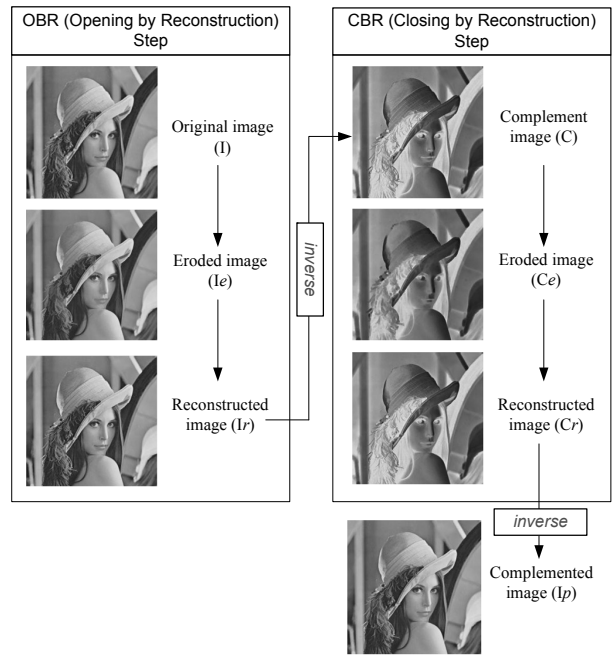


Fig. 5. Morphological processing steps using OBR and CBR

본 논문에서는 팽창 이미지에서보다 침식 이미지에서 특징점이 더 잘 추출되므로 침식과 다른 구조 요소들을 사용하여 특징점을 추출하였다.

모폴로지 기법에서는 마스크 기반 영상 처리에서 마스크 역할을 수행하는 Fig. 6과 같은 구조 요소(structuring element)를 사용할 수 있다. 즉, 사각형 형태를 가지는 일정한 크기의 NxN 마스크(필터)를 영상에 적용할 수 있고, 이 구조 요소는 연결성(connectivity)을 정의한다. 본 연구에서는 8-연결성과 요소 값들이 1인 3x3 매트릭스로서 중앙의 좌표는 (2, 2)인 구조 요소를 사용한다.

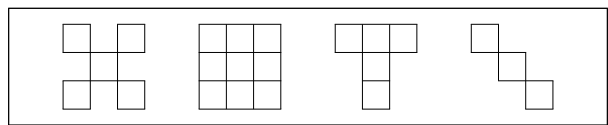


Fig. 6. Structuring elements

1) OBR(Opening by Reconstruction) 과정

RGB 도메인을 HSV 도메인으로 변환한 후에 OBR 과정에서는 입력 영상에 대하여 침식 처리를 수행한 후에 구조요소를 사용하여 영상을 복구하게 된다. 먼저 채널별로 분리한 이미지를 위의 구조 요소(structuring element)들 중 하나로 침식시킨다. Fig. 7는 채널별로 분리한 후 구조요소로 침식(erosion)시킨 이미지이다.

회색조 영상에서 형태학적 복구는 두 개의 영상과 하나의 구조 요소가 관계된 형태학적 변환이다. 한 영상은 마커(marker)라 하며 변환 대상이고, 다른 영상은 마스크(mask)라 하며 변환을 유도한다. Fig. 8은 채널별 침식 후 채널별로 복구한 이미지이다.



H channel erosion S channel erosion V channel erosion

Fig. 7. Erosion of each HSV channel on OBR



H channel reconstruction S channel reconstruction V channel reconstruction

Fig. 8. Reconstruction of each eroded channel on OBR

Fig. 9에는 1차원 회색조 영상의 형태학적 복구 과정을 도시하였다. Fig. 9a에서 위 곡선은 마스크이며 채널을 분리한 원본 영상이고, 아래 곡선은 마커로 채널을 분리한 원본 영상에서 구조 요소로 침식시킨 영상이다. 이 경우 침식시킨 영상은 원본 영상에서 상수값을 빼서 형성하지만 침식시킨 영상의 어떤 값도 원본 영상을 초과하지 않는 한, 어떤 신호나 원본 영상으로 사용할 수 있다. 복구 과정의 각 반복은 원본 영상 곡선에 의해 아래로 눌러질 때까지 침식시킨 영상 곡선의 피크를 퍼뜨리고, 이에 따라 Fig. 9b에서 중간에 위치한 흑색 곡선이 복구된 결과를 나타낸다.

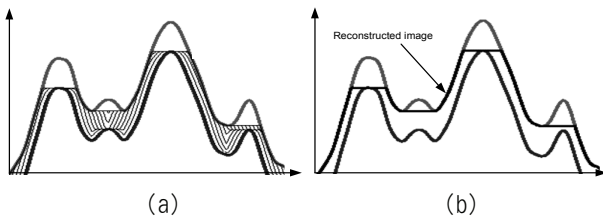


Fig. 9. Morphological reconstruction of 1D gray-scale image

두 개의 작은 피크들이 복구 과정을 통하여 제거되었고, 두 개의 큰 피크들은 값이 낮아지기는 했어도 아직 존재함을 확인할 수 있다. 원본 영상에서 상수 h 를 빼서 침식시킨 영상을 만드는 것을 h -극소값 변환(h -minima transform)이라고 부르고, h -극소값 변환은 작은 피크들(노이즈)을 억제하는 데 사용되었다.

2) CBR(Closing by Reconstruction) 과정

제안하는 특징 추출 방법에서 CBR 기술의 경우 OBR 과정의 반대이지만, 여영상을 생성한 후에 OBR 적용하고, 그 후에 다시 여영상 계산하는 방식으로 처리하였다. 또한, 침식된 영상을 복구에서 마커 영상으로 사용하고, 원본 영상은 마스크로 사용하였다.

이전 OBR 과정을 통하여 생성한 영상에 대해 CBR 과정을 적용하기 위하여 Fig. 10와 같이 여영상을 생성할 수 있다. 이진 영상에서 모폴로지 처리로 취할 수 있는 보수값 범위는 0과 1이고, 그레이 영상에서 각 픽셀이 취할 수 있는 값의 범위는 0~255이다.

먼저 여영상에 대하여 OBR과 동일한 침식 과정을 적용한다. Fig. 11은 상기 결과에서 얻어진 여영상을 구조 요소들 중 하나로 침식시킨 영상이다. 복구 과정을 위하여 여영상을 침식시킨 영상을 마커로 하고, 여영상을 마스크로 하여 변환을 유도하여 복구 과정을 반복시켜 여영상 곡선에 의해 아래로 눌러질 때까지 여영상을 침식시킨 영상 곡선의 피크를 퍼뜨리면서 h -극소값 변환으로 작은 피크들을 억제한다. 이와 같은 과정을 통하여 생성한 영상을 Fig. 12에 도시하였다.

마지막으로 여영상을 침식시킨 후 복구한 영상에 대하여 여영상을 다시 계산함으로써 원본 영상을 OBR과 CBR을 통하여 처리한 영상을 생성할 수 있다. 이와 같이 OBR 및 CBR 처리한 후의 여영상의 결과를 Fig. 13에 도시하였다.

이와 같이 모폴로지 처리를 통하여 잡음을 제거한 영상을 이용하여 원본 영상과의 차이를 계산하면 Fig. 14에 나타난 것과 같이 컬러 프린터 기기들의 인쇄 방식의 차이에 인한 노이즈 성분들을 추출할 수 있게 된다.



H channel complement S channel complement V channel complement

Fig. 10. Complementary images of each channel after OBR



H channel erosion S channel erosion V channel erosion

Fig. 11. Erosion of each channel complementary image on CBR



H channel reconstruction S channel reconstruction V channel reconstruction

Fig. 12. Reconstruction of each eroded channel on CBR



Fig. 13. Complementary image of each channel after OBR and CBR step

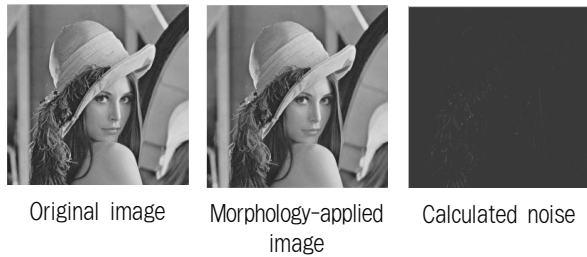


Fig. 14. Noise calculation using original image and morphology-applied image

3.3 명암도 동시발생 행렬을 이용한 특징점 추출

컬러 프린터에 존재하는 고유한 특징을 추출하기 위해 모폴로지 알고리즘을 이용하여 노이즈를 추출한 후, 판별 및 분류의 정확도를 향상시키기 위하여 명암도 동시발생 행렬을 적용하였다. 현재 픽셀 값을 기준으로 0°, 45°, 90°, 135°의 4 방향에 대해 명암도 동시발생 행렬을 계산한 후, 이에 대하여 Table 3과 같이 질감 분석을 위한 대조, 상관관계, 합계, 유사성, 공분산을 계산하여 이를 특징값 (또는 특징벡터)로 사용하였다[6].

화소 기반의 통계적 텍스처 영상 생성을 위한 기본 개념은 Haralick et al.에 의해 제안된 명암도 동시발생 행렬 (Gray Level Co-occurrence Matrix)을 통해 체계화 되었다 [4]. 텍스처 영상의 응용 연구에서 영상 분류 단계에서 텍스처 영상을 추가적으로 적용하는 경우, 정성적인 분류 결과와 정량적인 분류 결과에서 정량적인 분류 정확도의 향상에 텍스처 영상이 유용한 자료임이 여러 사례 연구에서 밝혀졌다. 그러나 텍스처 영상이 유용함에도 불구하고, 텍스처 영상의 선택 기준에 대한 연구 결과는 실제적으로는 제시된 바가 거의 없다.

그러므로 영상의 텍스처 특성이 잘 드러나게 하는데 명암도 동시발생 행렬을 이용할 수 있다. 명암도 동시발생 행렬은 영상 내에서 픽셀들 간의 밝기 값의 관계를 나타내는 방법으로 지정된 방향과 두 점 사이의 거리로 인접한 두 픽셀들 간의 값을 좌표 값으로 이용하여 그러한 좌표 값이 얼마나 자주 나오는지 세어 놓은 행렬이다.

이 행렬은 영상의 텍스처 특성을 하나의 행렬로 표현한 것으로, 원본 영상의 크기에 상관없이 항상 고정된 크기를 갖는다. 영상의 텍스처 특성을 통계적으로 분석하는데 유용하고, 각 프린터의 잡음 특성을 잘 표현할 수 있다.

Table 3. Feature values of GLCM

Features	Equation
Standard deviation	$s = \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i,j=1}^N (I(x,y) - \overline{I(x,y)})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ <p style="text-align: center;">where $\overline{I(x,y)} = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^N I(x,y)$</p>
Skewness	$skewness = \frac{1}{N \cdot s^3} \sum_{x,y=1}^N ((I(x,y) - \overline{I(x,y)})^3)$
Kurtosis	$kurtosis = \frac{1}{N \cdot s^4} \sum_{x,y=1}^N ((I(x,y) - \overline{I(x,y)})^4)$
Covariance	$Cov(I_1, I_2) = \frac{1}{N} \sum_{x,y=1}^N I_1(x,y) \cdot I_2(x,y) - \frac{1}{N_1} \sum_{x,y=1}^{N_1} I_1(x,y) \cdot \frac{1}{N_2} \sum_{x,y=1}^{N_2} I_2(x,y)$
Correlation	$Corr(I_1, I_2) = \frac{Cov(I_1, I_2)}{\sqrt{Var(I_1) \cdot Var(I_2)}}$

통계적인 특성으로는 4가지 방향성에 대한 명암도 동시발생 행렬 변환을 수행하여 얻어진 H, S, V 각 영역에 대한 표준편차, 첨도, 왜도, 공분산, 상관계수가 있다. 이와 같이 추출된 60여 가지의 특징점들은 하나의 벡터로 합쳐져 지도 학습 모델 분류기에 의해 컬러 프린터를 판별하는데 훈련 및 판별과정 데이터로 이용된다.

3.4 지도 학습 모델 분류기

프린터 영상에서 추출한 특징을 분류하기 위하여 본 연구에서는 지도 학습 모델 분류기로서 서포트 벡터 머신 (Support Vector Machine, SVM) 분류기를 사용하였다. SVM 분류기는 입력 벡터를 고차원의 특징 공간으로 사상시켜 서로 다른 클래스로 분류할 수 있는 초평면 중에서도 여백을 최대화시키는 특정한 초평면인 최대 여백 초평면을 찾는 것을 목적으로 한다. 최대 여백 초평면에 가장 근접한 훈련 데이터를 support vector라고 부르며, 이를 포함하는 초평면 사이의 여백 값이 클수록 분류 성능이 좋아진다 [1, 10].

SVM 분류기의 장점은 분리 경계가 매우 복잡한 문제를 선형 판별 함수의 사용이 가능한 단순한 문제로 변환시키기 때문에 수학적 분석이 쉽고, 적은 양의 학습 자료만으로도 분류 작업을 수행할 수 있다. SVM 분류기는 학습오류를 최소화하는 경험적 위험 최소화를 기본으로 하는 기존의 원리에 비하여, 전체 집단을 하위 집단으로 세분화 한 뒤 이 집단에 대한 경험적 위험도를 최소화하는 구조적 위험 최소화 개념에 기초하여 일반화 성능이 우수하며 비선형 분리 문제와 같은 복잡한 분류문제를 해결하기 위하여 다양한 커널 (Kernel)을 제공하기 때문에 다른 기계학습 방법들보다 상대적으로 사용하기 쉽고, 새로운 패턴이 나타나면 훈련 과정에 모델을 동적으로 갱신할 수 있다.

커널 함수, $K(x_i, x_j) = \phi(x_i)^T \phi(x_j)$, 는 이론적으로는 가 능하나 실제로는 풀기 힘든 매핑 함수를 대신하여 원 자료를 고차원 공간으로 이동시켜 특정 공간 내에 선형으로 이 동시켜 특정 공간 내에 서형으로 분리 가능한 입력 자료 집 합을 만들어주는 역할을 수행한다. 일반적으로 커널 함수는 Table 4와 같이 Linear, Polynomial, Radial basis function, Sigmoid의 네 가지 종류가 있다. 여기서 γ, r, d 는 파라미터 를 의미한다.

Table 4. Representative kernel function of SVM Classifier

Kernel type	Equation
Liner	$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$
Polynomial	$K(x_i, x_j) = (\gamma x_i^T x_j + r)^d, \gamma > 0$
Radial basis function	$K(x_i, x_j) = \exp(-\frac{1}{2\sigma^2} \ x_i - x_j\ ^2)$
Sigmoid	$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T x_j + r)$

본 연구에서는 Radial basis function(RBF) 커널을 사용 하였다. RBF 커널은 고차원의 특징공간으로 입력 벡터를 비선형적으로 이동시키기 때문에 선형 분리가 불가능한 문 제를 해결하는데 매우 유용하다. RBF 커널을 사용하는 SVM 분류기의 예측성과는 라그랑지 승수의 허용오차 상한 값인 C와 커널 모수인 γ 의 영향을 받게 되므로, 두 가지 모 수를 적절하게 선택하는 것이 중요하며, 그렇지 못할 경우 과대적합이나 과소적합 현상이 발생할 수 있다.

4. 실험결과

제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존에 사 용했던 컬러 레이저 프린터가 아닌 총 3대의 컬러 잉크젯 프린터(Canon, Epson, Samsung)를 사용하여 위조한 지폐 영상들이 사용되었다. 먼저, 이미지 데이터를 취득하기 위하 여 20장의 원본 지폐를 스캔한 후 각각의 프린터로 20장씩 출력한 후 2,400dpi로 다시 스캔하여 얻은 이미지를 512×512 의 픽셀 크기로 분할하여 실험에 사용할 이미지 데이터로 취득하였다.

제안한 알고리즘의 성능은 지폐의 위조 판별 성능 분석과 위조에 사용한 프린터 제조사 판별의 두 가지의 측면에서 이루어졌다.

성능의 비교를 위하여 제안하는 모폴로지 특징을 활용한 알고리즘과 위너 필터를 사용하는 알고리즘을 각각 서포트 벡터 머신 분류기를 사용하여 테스트 하였다. 특히 성능 판 별의 객관성 및 정확도를 위하여 두 가지 실험 모두 각 프 린터별로 20장씩 60장의 지폐 이미지를 출력하였으며, 그중 30장은 훈련 데이터로 나머지 30장은 테스트 데이터로 사용 하였다. 또한 실험 오류를 최소화하기 위하여 Cross-

Validation 기법을 사용하였다. 무작위로 선택한 두 데이터 에 대해 테스트 및 훈련 데이터와 훈련 및 테스트 데이터로 사용하여 2번의 실험을 한 후 결과 값의 평균을 계산하여 최종 결과로 사용하였다.

4.1 위조 판별 성능분석

위조 판별 성능 분석을 위하여 원본 지폐와 위조지폐 (Canon, Epson, Samsung 통합)의 두 그룹으로 분할하여 동 일한 환경 하에서 실험을 수행하였다. 채널별로 분리시킨 지폐 이미지에 위너필터와 모폴로지 알고리즘을 적용하여 이미지를 추출하였고 그 예를 Fig. 15에 표시하였다. 가시적 으로 크게 차이를 보이지는 않지만 위너필터 적용 영상이 모폴로지 적용 영상에 비하여 Sharpness가 높은 것을 알 수 있다.

Table 5에 총 10번의 실험을 수행한 결과를 정리하였다. 위너필터를 이용하였을 경우와 모폴로지를 적용하였을 때의 위조지폐 판별률을 표로 나타내었다. 위너필터를 이용하였 을 경우 평균 90.90%의 위변조 지폐 판별 정확도를 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 형태학적 특징을 활용하는 모폴로지에 기반한 알고리즘을 사용하였을 경우 평균 91.92%의 정확도를 보이며 위너필터보다 1.02% 높은 정확도를 나타낸다.

4.2 위·변조 지폐 인쇄기기 판별 성능분석

동일한 실험환경 조건에서 제안하는 알고리즘과 위너필터 를 이용하여 컬러 프린터 제조사별 판별성능을 분석하였다. 즉, 판별하고자 하는 지폐 이미지를 위변조 지폐로 판별하 였을 때, 위변조 지폐 인쇄기기에 대한 구분 성능 분석을 수행하였다. 앞서 수집한 20장을 분할한 640장의 원본 지폐 이미지와 3개의 제조사에서 생산된 총 3대의 컬러 프린터로 부터 생성한 위변조지폐로 구분하여 총 4개 그룹으로 나누 어 실험하였다.

Table 5. Accuracy comparison of counterfeit money detection (%)

	Wiener filter	Proposed algorithm
1	88.27%	89.85%
2	91.81%	93.37%
3	87.50%	87.91%
4	89.81%	93.36%
5	90.27%	90.64%
6	93.73%	94.53%
7	90.60%	92.59%
8	93.39%	94.53%
9	92.59%	89.83%
10	91.03%	92.58%
Average	90.90%	91.92%

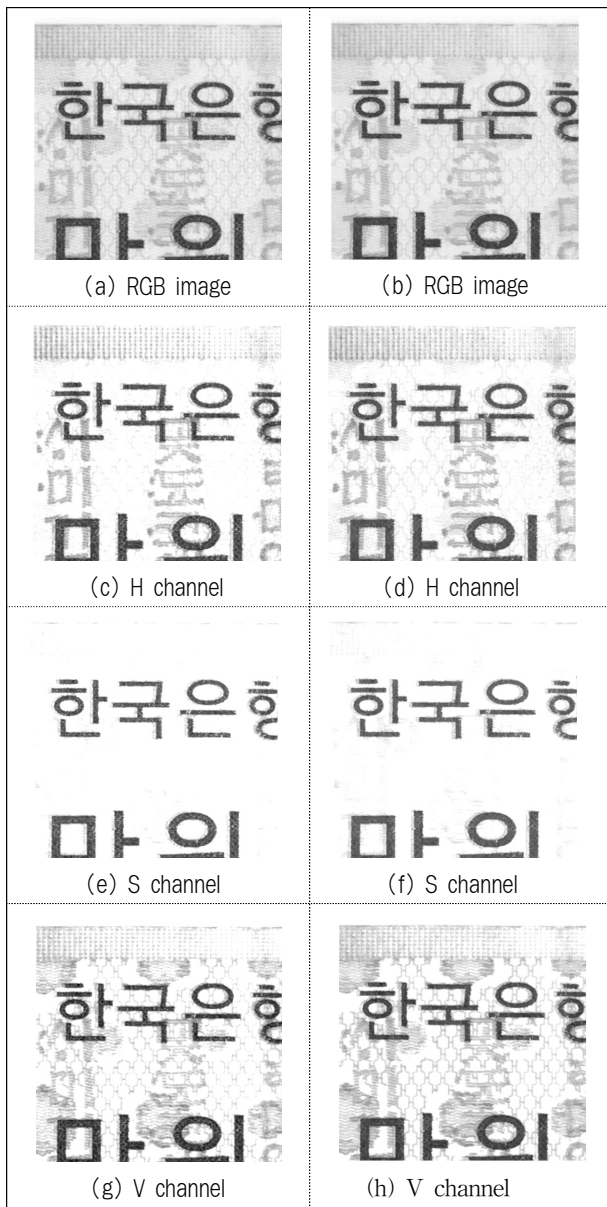


Fig. 15. Comparison of filtered images by wiener filter (a), (c), (e), (g) and proposed algorithm (b), (d), (f), (h)

Fig. 16에는 각 컬러 프린터로 위조한 지폐의 클립을 나타내었다. 위너 필터와 제안하는 알고리즘을 통하여 지폐 위변조에 사용된 프린터의 성능을 분석한 결과를 Table 6과 Table 7에 요약하였다.

위너필터를 사용하여 기기를 판별한 결과 Samsung 기기와 Canon 기기의 판별률이 87.50% 및 89.06%로 낮게 나타났고, Epson 기기의 경우 92.18%의 판별률을 보였다. 기존 연구에서 레이저 프린터를 사용한 경우에 비하여 성능이 저하된 것을 확인할 수 있는데, 이는 잉크젯 프린터의 정밀도가 높지 않아서 사용된 특징의 차별성이 높지 않은 이유로 판단된다. 또한 원본 지폐를 원본 지폐로 판별하는 경우는 앞의 실험과 다르게 그룹이 4개로 분리됨에 따라서 약간 증가한 것을 확인할 수 있다.

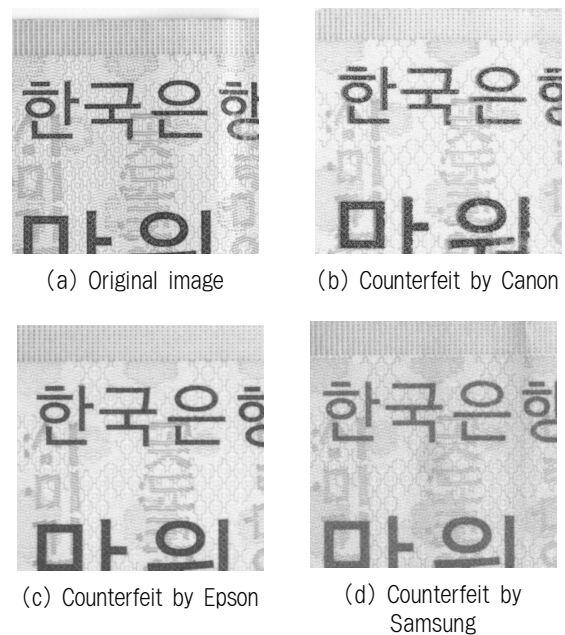


Fig. 16. Original image and counterfeit money by each printer

Table 6. Printer identification accuracy using wiener filter(%)

	Original	Canon	Epson	Samsung
Original	92.18%	3.12%	3.12%	1.56%
Canon	9.37%	89.06%	1.56%	0%
Epson	3.12%	4.68%	92.18%	0%
Samsung	12.50%	0%	0%	87.50%

Table 7. Printer identification accuracy using our algorithm(%)

	Original	Canon	Epson	Samsung
Original	95.40%	4.60%	0%	0%
Canon	4.70%	95.30%	0%	0%
Epson	1.60%	7.80%	90.60%	0%
Samsung	3.10%	0%	0%	96.90%

제안하는 모폴로지 알고리즘을 이용하여 인쇄기기를 판별하였을 경우의 Epson 기기의 판별률만 90.5%로 낮게 나타났고, Canon, Samsung 기기의 경우 95.3%, 96.9% 등으로 판별률이 높게 나타났다. 또한 원본 지폐를 원본 지폐로 판별하는 성능은 2 그룹으로 수행한 앞의 실험에 비하여 높아진 것을 확인할 수 있다.

두 알고리즘에 대하여 인쇄기기 판별 정확도에 대한 평균값을 Table 8에 정리하였다. 위변조 지폐의 인쇄기기 판별에서 위너필터는 평균 90.23% 정확도를 보였으나, 제안하는 모폴로지 기반 알고리즘으로 수행하였을 경우는 평균 94.55% 정확도를 보여, 기존 알고리즘에 비해 4% 이상 높은 정확도를 나타냈다.

Table 8. Accuracy comparison of device identification(%)

	Wiener filter	Proposed algorithm
Average accuracy	90.23%	94.55%

이를 통하여 기존 위너 필터를 이용한 특징에 비하여 제안하는 모폴로지 기반의 특징이 프린터 자체의 인쇄 특징을 좀 더 잘 식별하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

컬러 프린터를 판별할 수 있는 기술들에 대한 최근에 연구가 진행되어 왔다. 하지만 컬러 프린터의 성능은 눈부시게 좋아지고 가격은 급격히 떨어짐에 따라 컬러 프린터의 수요가 늘고 있고, 포토샵 등 대중이 쉽게 사용할 수 있는 그래픽 프로그램 또한 악용되어 지폐 위조 등의 사회적인 범죄가 증가하고 있는 추세이다.

본 논문에서는 대중화되어 손쉽게 구입할 수 있는 컬러 프린터를 이용하여 인쇄한 지폐의 위조 여부를 판별할 수 있는 방법을 제시하였다. 제안한 컬러 프린터로 인쇄할 때 인쇄과정의 미세한 차이를 구분할 수 있는 특징인 노이즈의 통계적 특징만으로 위조지폐 여부를 판별할 수 있는 또 하나의 방법을 제안하였다. C, M, Y 영역에 대하여 형태학적 특징에 기반을 두고 있는 모폴로지 기술 중에 OBR, CBR 알고리즘을 변형하여 프린터에 고유한 노이즈를 추출하였고, 이를 명암도 동시발생 행렬을 통한 질감 분석을 통하여 유사성, 대조, 합계, 상관분산, 공분산을 활용하여 특징값을 계산하였다. 이와 같은 특징값을 지도 학습 모델 분류기에 적용하여 훈련을 한 후에 판별 데이터를 입력하여 지폐 위변조 판별 및 위변조에 사용된 컬러 프린터를 식별하였다. 그 결과 제안한 알고리즘으로 지폐의 위조 여부와 컬러 프린터의 제조사를 판별하여 각각 91.92%와 94.5%의 정확도를 보였으며, 기존 기술에 비하여 높은 성능을 달성하였다. 이와 같이 컬러 프린터의 판별 기술을 통해, 출력된 디지털 이미지가 어떤 프린터에서 출력되었는지 알 수 있다면 위·변조 범죄를 일으킨 범인을 찾는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

제안하는 모폴로지 기반 알고리즘의 경우 기존 위너 필터 등을 사용한 알고리즘 보다 더 높은 판별의 정확도를 달성하였다. 그러나 지속적인 연구를 통하여 판별의 정확도를 높일 수 있는 연구가 필요하다. 또한 현재 연구된 기술은 제조사 판별을 위한 기술이며, 다양한 불법 오프라인 콘텐츠를 추적하기 위해 인쇄에 사용된 토너 종류 판별, 동일 제조사의 프린터 모델명 판별 등의 응용으로 확장에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] J.-H. Choi, H.-Y. Lee, and H.-K. Lee, "Color laser printer

forensic based on noisy feature and support vector machine classifier," *Multimedia Tools and Applications*, 2011.

- [2] J. Y. Baek, H.-S. Lee, S. G. Kong, J.-H. Choi, and H.-Y. Lee, "Color Laser Printer Forensics through Wiener Filter and Gray Level Co-occurrence Matrix," *Journal of KIISE: Software and Applications*, Vol.37(8), pp.599-610, 2010.
- [3] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, pp. 398-407, 2003.
- [4] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein, "Textural Features for image classification," *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics*, Vol.3(6), pp.610-621, 1973.
- [5] J. H. Choi, H.-Y. Lee, H.-K. Lee, and Y.-H. Suh, "Color Laser Printer Forensics with Noise Texture Analysis," *Proc. of ACM Multimedia and Security (MMSEC 2010)*, pp.19-24, 2010.
- [6] J. Y. Baek, H.-S. Lee, S. G. Kong, J.-H. Choi, Y. M. Yang and H.-Y. Lee, "Color Laser Printer Identification through Discrete Wavelet Transform and Gray Level Co-occurrence Matrix," *The KIPS Transactions : Part B*, Vol.17-B(3), pp. 197-206, 2010.
- [7] S.-K. Ji and H.-Y. Lee, "Algorithm for Detecting Counterfeit Money based on Feature Analysis," *Proceedings of the 37th Conference of the KIPS*, pp.344-347, 2012.
- [8] S.-K. Ji and H.-Y. Lee, "Counterfeit Money Detection Algorithm using Non-Local Mean Value and Support Vector Machine Classifier," *KIPS Transactions on Software and Data Engineering*, Vol.2(1), pp.55-64, 2013.
- [9] 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.
- [10] Wikipedia, "Support Vector Machine," [http:// en.wikipedia.org/wiki/Support_vector _machine](http://en.wikipedia.org/wiki/Support_vector_machine)



우 귀 희

e-mail : youfirstkorea@nate.com

2008년 평생교육진흥원 전자계산학과
(학사)

2012년 금오공과대학교 컴퓨터IT학과
공학석사

관심분야: 영상처리, 디지털포렌식 등



이 해 연

e-mail : haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr

1997년 성균관대학교 정보공학과(학사)

1999년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

2006년 한국과학기술원 전자전산학과
전산학전공(공학박사)

2001년~2006년 (주)썬트랙아이 선임연구원

2006년~2007년 코넬대학교 박사후연구원

2008년~현 재 국립금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과
교수

관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털위터마킹