

論文98-35C-9-9

# 오손 지폐 분류 시스템

## (Used Bank Note Classification System)

李 駿 宰 \* , 都 敬 勳 \*

(Jun-Jae Lee and Kyeong-Hoon Do)

### 요 약

본 논문에서는 금융업무를 위한 오손 지폐 분류 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 새돈이 현돈으로 변화함에 따라 변하는 과정을 모델화하고 그 특징을 획득하기 위하여 감지센서들을 선택하였다. 센서들로부터 얻어진 데이터에서 4개의 특징벡터를 추출하고, 주성분해석을 통해 구해진 최대 고유벡터만을 이용하여 오손 지폐를 분류한다. 새돈 또는 현돈으로 분류하는 기준 레벨은 사용자에게 의해 결정된다. 실험결과에서 제안한 시스템은 초당 8매의 지폐 분류속도와 96%의 분류율을 가지는 신뢰성 있는 시스템을 보여준다.

### Abstract

In this paper, a used bank note classification system for banking facilities is presented. The proposed system first models the process for note to change from new to old one and selects and displaces some sensing devices for getting its characteristics. Second, it extracts four feature vectors from sensing data, transforms them into principal components analysis, then maps the feature vectors to eigenvectors corresponding to maximum among eigenvalues. A note is classified new or old by the threshold set by user. The experimental result shows that the proposed system has a speed of eight notes per second and classification rate of 96 %.

### I. 서 론

최근 현금자동 지급기(C/D), 현금 자동 입·출금기(ATM) 등 금융업무 자동화 기기의 보급이 보편화됨에 따라 양질의 지폐를 공급하기 위하여 오염되거나 손상된 지폐(오손 지폐)를 분류하는 시스템이 필요하다. 이러한 오손 지폐 분류 시스템의 가장 중요한 사양은 빠른 처리속도와 신뢰성이 높은 분류율이다.

본 논문에서는 이러한 요구사항에 적합한 오손 지폐 분류 시스템을 개발하기 위해 지폐가 새돈에서 현돈으

로 변해감에 따라 변하는 특성을 모델링하고 이로부터 감지센서의 선택과 감지방법, 그리고 센서로부터 얻은 데이터를 가지고 오손 지폐를 분류하는 알고리즘을 제시한다. 시스템의 기계적인 구조는 지폐의 상태를 일관성 있게 인식하기 위하여 센서와 이동되는 지폐의 거리를 일정하게 유지하며, 지폐가 유연하게 고속으로 이동될 수 있도록 설계하고, 분류성능을 높이기 위해 센서를 지폐의 양면에 배치하고 밀착하여 이송시키는 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 기계적인 구조보다는 오손 지폐의 분류를 위해 센서의 종류 및 감지방법과 이를 분류하는 분류방법에 대해 다룰 것이다.

지폐를 분류하기 위해서는 먼저 새돈이 현돈으로 변해감에 따라 지폐의 특성이 어떻게 달라지는가를 분석하여야 한다. 많이 사용된 지폐일수록 지폐의 색상이 퇴색하며, 닳아 헤어지기보다는 덧붙여지는 물질로 인

\* 正會員, 東西大學校 情報시스템工學部

(Dept. of Computer Engineering, Dongseo Univ.)

※ 본 연구는 (주)기산전자의 연구비지원으로 수행되었음.

接受日字:1998年2月9日, 수정완료일:1998年8月24日

해 빛의 반사 및 투과율이 낮아지므로 이런 특성을 고려한 센서를 선택한다. 지폐는 오래될수록 주로 먼지 등이 사람의 손 기름때와 합쳐져 불균일한 층을 이루고 있어 반사율이 작고 또한 기름때로 인해 흡수율이 커지기 때문에 투과율도 적어진다. 그리고 센서를 통해 획득한 데이터는 똑같은 지폐에 대해서도 투입해 들어가는 위치나 투입각도 등에 따라 약간씩 차이가 나므로 데이터로부터 최대의 분류율을 얻기 위한 분류 알고리즘이 필요하다. 또한 새돈과 현돈사이의 분류기준이 명확히 정해져 있지 않아 사용자가 오손레벨을 여러 단계로 가변시켜 가면서 기준을 임의로 설정하여야 한다. 즉, 새돈과 현돈의 차이라는 것이 어떤 영역으로 분리되어 있는 것이 아니고 그 차이가 연속선상에 있어서 어디서부터 현돈이고 어디서부터 새돈이라는 명확한 절대적 구분이 없다. 따라서 현돈과 새돈을 구분하는 점은 사용자에게 의해 어느 값에나 설정 가능하도록 해야 한다. 실제 시스템에서는 새돈과 현돈의 오손레벨을 10단계로 가변 설정한다. 이 시스템의 분류 성능을 측정한다는 것은 예를 들어 100장의 지폐를 투입했을 때 50장이 새돈으로 나머지 50장이 현돈으로 분류되었다면 몇 번이든 다시 넣어도 똑같은 돈이 똑같은 위치로 분류되어야 하는데, 이는 동일한 지폐를 여러 번 반복해서 투입해도 언제나 같은 위치로 분류되어야 한다는 것이다. 또한 읽혀지는 값이 지폐의 투입되는 각도나 방향, 위치의 치우침에 따라 다소 가변적이므로 그 가변성을 고려하여 동일한 결과를 얻도록 해야 한다.

본 논문에서는 오손 지폐의 분류를 위해 지폐의 단면 구조를 토대로 빛의 반사 및 투과 메커니즘을 모델링한다. 반사의 경우 표면 거칠기로 인하여 현돈의 반사량이 감소하며, 투과의 경우 오염 물질에 의한 에너지 흡수에 기인하여 투과량은 감소할 것으로 예측하여 가시광선영역에서의 칼라센서, 적외선영역에서의 반사센서, 그리고 투과센서의 세 종류 센서를 사용하여 데이터를 획득한다. 획득한 데이터로부터 잡음에 강한 4가지의 특징 벡터를 추출하고 주성분 해석(principal components analysis)<sup>[11]</sup>에 의해 오손 지폐를 판별한다. 4가지의 벡터는 지폐를 스캐닝하면서 얻은 각 센서의 평균값(칼라센서의 명암도값, 반사센서의 반사량, 투과센서의 투과량)과 투과량 편차이다. 이런 특징 데이터를 가지고 4차원 벡터상에서 바로 분류하기는 매우 어려울 뿐만 아니라 게다가 4 벡터사이에 균일한

분포를 갖도록 사용자가 10단계를 설정하도록 해야 한다. 주성분 해석은 고차원의 벡터 공간을 저차원의 벡터로 변환하는 방법으로 차원의 감소를 가져온다. 본 논문에서는 주성분 해석후 그 중에 최대의 고유치에 해당하는 고유벡터만을 구하여 4차원 벡터를 1차원 벡터로 매핑하고 사용자에게 의해 설정된 기준 레벨에 의해 오손 지폐를 분류한다. 이것은 4차원 벡터를 1차원 벡터로 매핑하는 최적의 방법으로 각 벡터는 많은 샘플 데이터로부터 통계적으로 구한다.

## II. 오손 지폐의 분류를 위한 지폐 모델화 및 감지방범

### 1. 지폐의 광학적 모델링

발행되는 새 지폐는 그림 1의 (a)와 같은 2차원 단면 구조로 구성되어 있다. 면을 주성분으로 한 원지는 야교물질로 처리되어 있으며, 이 표면에 잉크로 인쇄된다. 지폐의 사용횟수가 증가할수록 표면의 거칠기가 심해지고, 여러 물질로 오염된다. 오염 물질은 사람의 땀이나 먼지, 기름때 등으로 구성된다. 또한 지폐자체의 두께는 닳아 헤어지면서 일반적으로 더욱 얇아지게 된다. 그림 1의 (b)는 현돈의 단면 모델링이다. 그리고 그림 1의 (c)는 실효 두께와 실효전기상수로서 구성된 슬랩 등가 모델이다. 광학적 측면에서 지폐에 조사된 빛 에너지는 반사 또는 투과를 하게된다. 반사와 투과를 예측하기 위한 광학적 메커니즘은 두 가지로 기술될 수 있다. 반사의 경우는 그림 2와 같이 예측될 수 있다.

새돈의 표면은 상대적으로 매끄러우므로 그림 2(a)의 경우와 같이 거울 반사(specular reflection) 현상이 일어나며, 표면이 거칠어진 현돈의 경우는 표면 골짜기에 새돈에 비하여 상대적으로 크므로 조사된 빛에너지가 그림 2(b)의 경우와 같이 확산 반사(diffuse reflection) 현상으로 여러 방향으로 흩어지게 된다. 그러므로 일정 방향에서 센서로 수신된 반사 에너지는 현돈의 경우 더욱 적어짐을 예측할 수 있다. 투과의 경우 그림 1(c)의 등가 모델에서 슬랩에 입사된 에너지는 반사 및 투과, 그리고 흡수된다. 입사된 에너지의 반사율을  $R$ , 투과율을  $T$ , 그리고 흡수율을  $A$ 라고 한다면 다음과 같은 관계가 있다.

$$R + T + A = 1 \quad (1)$$

투과 에너지  $I_T$ 는 입사 에너지  $I_0$ 에 대한 비례관계는 다음과 같이 표현된다<sup>[2]</sup>

$$I_T \propto I_0 \frac{T^2}{1-R^2} \quad (2)$$

여기서  $T=|t|^2$ 이며,  $R=|r|^2$ 이다. 투과계수  $t$ 와 반사계수  $r$ 은 프레넬 계수이다<sup>[3]</sup>. 그러므로 식 (1)과 (2)를 이용하여 에너지투과율을 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{I_T}{I_0} \propto \left( \frac{1-A-R}{1-R} \right)^2 \quad (3)$$

현돈의 경우는 오염물질에 의해서 에너지 흡수정도가 심해지므로 식 (3)으로부터  $A$ 의 증가로 에너지투과율이 감소함을 볼 수 있다. 표면 마모로 인하여 지폐의 두께가 얇아져 흡수량이 감소하더라도 투과 광선의 경로 역시 확산되어 센서가 위치한 일정 방향으로의 에너지는 감소한다. 등가 슬랩 모델의 경우 빛의 조사 방향이 어느 면이더라도 투과량은 동일하여 가역성(reciprocity)이 성립한다.

지금까지 기술된 지폐에 대한 빛의 반사 및 투과 메커니즘을 요약하면 다음과 같다. 반사의 경우 표면 거칠기로 인하여 현돈의 반사량이 감소하며, 투과의 경우 오염 물질에 의한 에너지 흡수에 기인하여 투과량이 감소할 것으로 예측된다. 따라서 이를 측정하기 위해 반사량은 두 주파수 대역의 가시광선과 적외선을 사용하고 이를 감지하는 센서는 PNF형 칼라 센서와 적외선 포토센서를 각각 사용하였다<sup>[4]</sup>. 투과량은 적외선을 사용하여 감지센서는 적외선 포토센서로 발광부의 반대쪽에 위치시킨다.

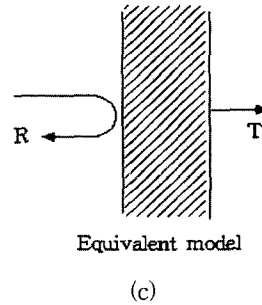
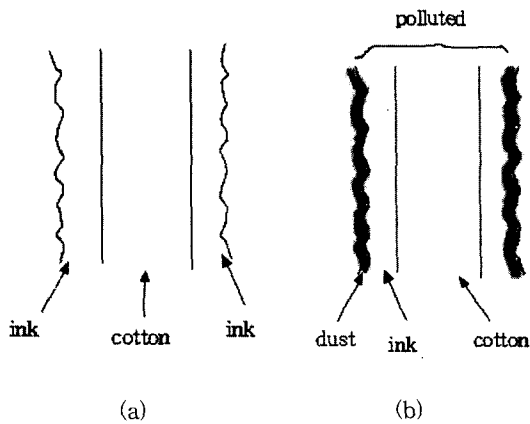


그림 1. 지폐의 단면 구조 (a) 새돈, (b) 현돈, (c) 슬랩 등가모델  
Fig. 1. Sectional diagram of a bank note. (a) A new one (b) a old one (c) slap equivalent model.

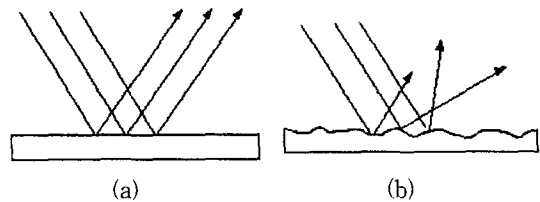


그림 2. 지폐의 반사 (a) 새돈, (b) 현돈  
Fig. 2. The reflection of a bank note. (a) A new one (b) a old one

### 2. 센서의 위치선정 및 역할

센서의 위치가 그림 3에 나타나 있다. 이는 빠른 처리 속도와 새돈과 현 돈의 특징 벡터의 거리 차이가 가장 큰 위치를 동시에 고려하여 선택한 것으로 한번의 스캐닝으로 모든 센서의 특성을 얻기 위함이다.

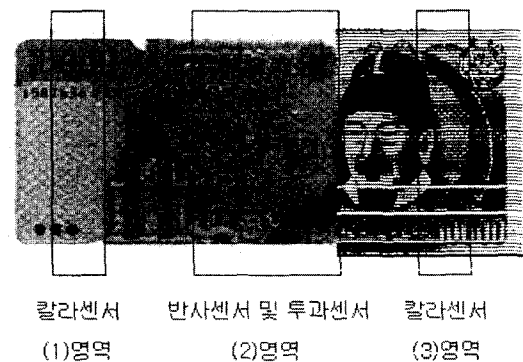


그림 3. 센서의 스캐닝 위치  
Fig. 3. Scanning positions of sensors.

칼라센서는 지폐의 앞·뒷면의 좌·우에 모두 4개가 있다. 적외선 센서는 반사량을 측정하는 반사센서와 투과량을 측정하는 투과센서로, 반사는 중앙에

앞·뒤로 (2)영역, 투과는 한쪽 면에만 배치된다. 이는 지폐의 오염도가 주로 중앙부분이 많고 또한 접히는 현상이 많이 생기기 때문이며, 반사는 면에 따라 반사량이 다르므로 앞·뒷면 양쪽에 설치된 데 비해, 투과 센서는 가역성에 의해 한쪽 면에만 설치한다. 칼라 및 반사센서는 하나의 셀로 구성되어 있고 투과센서는 8개의 셀로 가로로 배치되어 있어서 스캐닝하면서 샘플을 채취한다.

(1) 칼라센서

칼라센서로 지폐의 색상을 읽어서 지폐표면의 오염도를 판단한다. 또한 지폐의 문양을 읽어서 지폐의 권종(천원, 오천원, 만원)과 면(앞뒤)을 구별하는데도 쓰인다. 지폐의 문양이 권종에 따라 확연히 구별되는 지점으로 지폐의 폭 방향으로 1/8 지점 및 7/8지점에 상하/좌우 대칭적으로 구성하였다. 즉, 지폐는 앞뒤로 구별 없이 들어오므로 (1), (3)영역을 읽어 앞뒤를 판별하고, 앞이면 (1)영역, 뒷면이면 (3)영역의 상하 데이터로 오손 지폐를 판별한다. 이는 (3)영역이 지폐의 기울어짐과 치우침에 대해 (1)영역보다 지폐의 문양이 달라 변화가 민감하기 때문이다. 그림 4는 (1)영역에서 읽은 새돈과 현돈의 명암도를 나타내주며 새돈이 현돈보다 명암도가 높음을 알 수 있다. 이 칼라센서는 오손 지폐를 분류할 뿐만 아니라 천원, 오천원, 만원권의 권종을 구별하며 그림 4에서 12~30 사이의 데이터로써 판별한다. 본 장치에서는 청색영역과 적색영역에 반응하는 포토다이오드로 구성된 PNP형 컬러센서와 백열램프를 광원으로 사용하여 색차비교회로와 대수증폭기(log-amp)를 사용하여 구성하였다.

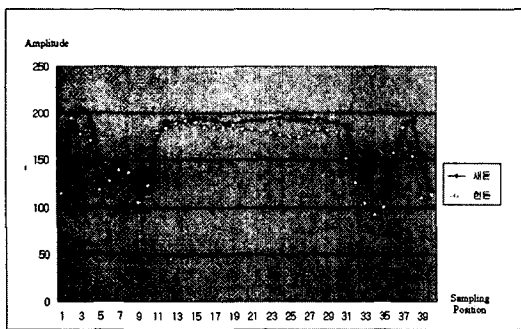


그림 4. 칼라센서로부터 얻은 데이터 값  
Fig. 4. Data values sensed from color sensors.

(2) 반사센서(적외선 포토 다이오드)

지폐의 반사율을 측정하여 오손정도를 판단한다. 지

폐는 새돈일 때 지질이 평탄하고 백색을 띄어 반사량이 크나 사용함에 따라서 표면이 거칠어지고 색이 바래진다. 그리고 난 반사가 심해지며 색상도 탁해진다. 따라서 반사율이 저하하는데 이 값을 포토다이오드에 의하여 검출하여 반사광량을 측정한다. 반사센서는 특정한 지점만을 읽었을 경우 해당 지점의 데이터만으로 오손도를 계산할 때 지폐의 구겨짐과 낙서, 친공 등에 의한 값의 변화로 인해 오차가 증가하는 경향이 있으며 전체를 읽으면 가장 좋으나 취급상의 문제가 발생하므로 가능한 한 넓은 영역을 포함시키는 단일의 센서를 사용한다. 그림 5에서와 같이 새돈이 현돈보다 반사량이 큼을 알 수 있다.

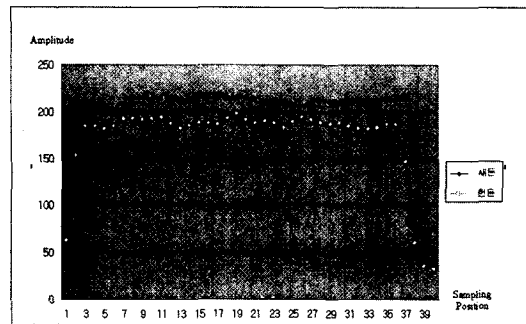


그림 5. 반사센서로부터 얻은 데이터 값  
Fig. 5. Data values sensed from reflection sensors.

(3) 투과센서(적외선 포토다이오드 어레이)

지폐의 투과율을 계산하여 오손정도를 판단하고, 지폐의 노화와 훼손에 따른 친공, 찢어짐 등을 검출하는 목적과 지폐의 삽입위치(좌우로 치우친 정도, 기울어진 정도)를 판단하는 용도로 투과센서를 사용한다. 투과량이 비정상적으로 밝으면 이는 지폐에 친공이 있는 것이며 비정상적으로 어둡고 길이와 폭에 차이가 있을 때는 2장이 겹친 경우 등이므로 이러한 처리를 위해서도 투과센서를 사용한다. 지폐의 투과율은 새돈일 때 가장 높고 오염이 될수록 투과율이 저하한다. 그러나 지폐질의 차이로 인하여 똑같은 새돈이라도 투과율의 차이가 많다. 포토다이오드 어레이 센서를 읽으면 실제로는 각 셀마다 특성의 차이가 존재한다. 따라서 센서의 특성을 보정하고 값을 읽으면 평탄한 특성을 얻을 수 있었다. 보정팩터는 테이블로서 작성된다. 지폐는 투입후 1/1000초 간격으로 연속적으로 샘플링하여 감지한 후 일괄적으로 보정한 후 이미지화 시킨다. 이미지에서 밝기의 이상 여부로서 친공, 겹침 등을 알

수 있다. 그리고 편차를 구한 후 범위를 벗어나는 값 (천공, 겹침)등으로 제거하면 지폐의 평균 투과량이 구해진다. 이 값은 대체적으로 지폐의 오손도에 반비례하는 값을 나타낸다. 그림 6은 새돈과 현돈의 투과량을 나타낸 것인데 실제로는 2차원 영상으로 구성되나 수평의 한 줄만 샘플링하여 나타낸 것이다. 그림 6에서 보듯이 현돈은 중앙의 접힌 부분에서 투과량이 현저히 감소함을 알 수 있다.

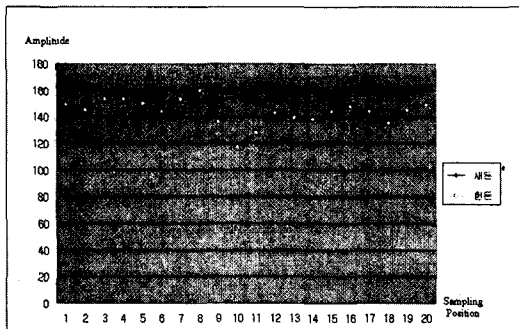


그림 6. 투과센서로부터 얻은 데이터 값  
Fig. 6. Data values sensed from transmission sensors.

### Ⅲ. 오손 지폐 분류를 위한 특징의 추출

오손 지폐 분류 시스템의 성능은 감지방법, 특징의 추출 및 분류 알고리즘에 좌우된다. 따라서 3개의 센서로부터 얻은 데이터를 가지고 오손 지폐 분류를 위한 4개의 적절한 특징벡터를 만들고 이 특징벡터를 분류하는 알고리즘을 제시한다. 먼저 이런 센서데이터로부터 다음의 특징을 추출한다. 첫째 상·하의 칼라센서 2개로부터 얻은 모든 반사량의 데이터를 평균한다.

$$x_1 = \frac{1}{N_y} \sum_{y=1}^{N_y} [I_{C1}(y) + I_{C2}(y)] \quad (4)$$

여기서  $I_{C1}(y)$  및  $I_{C2}(y)$ 는 상·하의 칼라센서로부터 지폐를 스캐닝하면서  $y$  지점에서 얻은 명암도이다. 둘째로 상·하의 2개의 반사센서로부터 얻은 반사량 데이터를 평균한다

$$x_2 = \frac{1}{N_y} \sum_{y=1}^{N_y} [I_{R1}(y) + I_{R2}(y)] \quad (5)$$

마찬가지로  $I_{R1}$  및  $I_{R2}$ 도 적외선 센서로부터 지폐를 스캐닝하면서 얻은 반사값이다. 세 번째 특징으로는

투과센서로부터 얻은 투과량의 데이터를 평균한다

$$x_3 = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} I_T(x, y) \quad (6)$$

여기서  $I_T(x,y)$ 는 지폐를 스캐닝하면서  $x, y$  지점에서 얻은 투과값으로 면으로 구성되어 있다. 이런 특징 데이터를 가지고 오손 지폐를 판별할 경우 보기에 똑같은 지폐라 하더라도 종이의 재질에 따라 반사량과 투과량이 달라져서 현돈도 재질이 좋은 경우에는 새돈으로 판정할 수 있다. 일반적으로 현돈일수록 지폐가 접힘 현상이 많고 특히 중심 근처가 많이 발생된다. 접히는 부분은 윤기를 형성하는 막이 없어서 흡수가 많이 일어나므로 투과율이 대단히 적다. 그림 6에서 보는 것처럼 현돈인 경우 중앙의 접힌 부분에서 투과량이 상대적으로 낮아 계곡을 형성하고 있다. 따라서 이를 보상하기 위해 주변과의 차를 하나의 네 번째 특징으로 추가한다. 즉, 투과센서에서 얻은 면영역에서 최저치를 구하고 이 최저치와 주변영역의 평균값과의 차를 구하여 특징벡터로 선택한다.

$$x_4 = |I_T(x_p, y_p) - M_N(I_T)| \quad (7)$$

여기서  $I_T(x_p, y_p)$ 는 투과량이 최저값인  $x_p, y_p$  위치에서의 투과량이고  $M_N$ 은 그 주변의 평균 투과량이다. 주변은 중앙을 중심으로  $7 \times 7$ 영역에서 중앙을 포함한  $3 \times 3$  영역을 제외한 부분이다. 그러나 구멍이 난 경우에는 완전 투과가 일어나므로 현돈임에도 불구하고 투과율이 커지므로 이런 경우는 포화도를 측정하여 이 부분은 제외하고 계산하여 평균을 구한다.

### Ⅳ. 주성분 해석에 의한 오손 지폐의 분류

다음은 이런 4개의 특징벡터를 가지고 지폐를 분류하는 알고리즘에 관한 것이다. 4개의 특징 데이터를 분석해 보면 똑같은 지폐에 대해서 투입해 들어가는 위치나 투입각도 등에 따라 약간씩 차이가 난다. 또한 새돈과 현돈사이의 분류기준이 정해져 있지 않아 사용자가 오손 레벨을 여러 단계로 가변 시켜가면서 기준을 임의로 설정하는 것이다. 즉, 새돈과 현돈의 차이라는 것이 어떤 영역으로 분리되어있는 것이 아니고 어디서부터 현돈이고 어디서부터 새돈이라는 명확한 절대적 구분이 없다. 다시 말해 0=현돈, 1=새돈이라면 0과 1사이에 무한하게 연속되어 존재한다. 그리고 현돈

과 새돈을 구분하는 점은 사용자에게 의해 어느 값이나 설정 가능하도록 해야 한다. 즉 0.5이하를 현돈으로 볼 수도 있고, 0.6, 0.7을 분기점으로 잡을 수도 있다. 실제로 기계에서 새돈과 현돈사이의 오손레벨을 10단계로 가변 설정한다. 이 시스템의 분류 성능을 측정한다는 것은 예를 들어 100장의 지폐를 투입했을 때 50장이 새돈으로 나머지 50장이 현돈으로 분류되었다면 몇 번이든 다시 넣어도 똑같은 돈이 똑같은 위치로 분류되는 것이다. 이는 한 장의 돈을 여러 번 투입해도 언제나 같은 위치로 분류되어야 한다. 어떤 값이 글자의 “가”와 “나”처럼 특징이 다른 부분이 있어 이를 구별하는 문자인식과는 달리 현돈과 새돈 사이의 분포가 분리되기 어려운 연속선상에 있으며 이는 마치 “가”자를 써놓고 어디서부터 정자체이고 어디서부터 흘림체 인지를 가리는 것과 비슷한 개념이다. 또한 입혀지는 값이 지폐의 투입되는 각도나 방향, 위치에 따라 다소 가변적이므로 그 가변성을 고려하여 동일한 결과를 뽑도록 해야 한다. 따라서 본 논문에서는 오손 지폐의 분류를 주성분 해석(principal components analysis)<sup>[1]</sup>에 의한 고유치의 최대치에 해당하는 고유벡터를 구하고 그 벡터로 1차원 변환하여 문턱치 값에 의해 오손분류기능을 수행하는 알고리즘을 제시한다. 4차원 벡터상에서 4개의 벡터사이에 균일한 분포를 갖도록 사용자가 10단계를 설정토록 방정식을 구하는 것은 거의 불가능하며 주성분 해석에 의해 고차원의 벡터 공간을 저차원의 벡터로 변환한 다음에 균일한 분포를 갖는 오손레벨을 설정하면 된다. 즉, 패턴의 분포가 최대로 넓게 퍼져있도록 하는 축을 만들어 이 축에 투사하면 최소의 오류를 가지면서 1차원으로 매핑되고 간단한 문턱치만으로 두 패턴을 구분할 수 있다. 본 논문에서는 주성분 해석후 그 중에 최대의 고유치에 해당하는 고유벡터만을 구하여 4차원 벡터를 1차원 벡터로 매핑하고 사용자에게 의해 설정된 기준레벨에 의해 오손 지폐를 분류한다. 이것은 4차원 벡터를 1차원 벡터로 매핑하는 최적의 방법으로 많은 샘플데이터로부터 통계적으로 구한다. 먼저 얻어진 모든 데이터에 대해 상호분산 매트릭스를 구한다.

$$\sum_x = E[(x_k - \mu_x)(x_k - \mu_x)^T] \quad (8)$$

여기서  $\mu_x$ 는 패턴 벡터  $X$ 의 평균이다, 즉,

$$\mu_x = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M x_k \quad (9)$$

이다. 상호분산 매트릭스는 실수(real)이며 대칭(symmetric)이고  $\sum_x$ 의 요소  $\sigma_{i,j}$ 는  $X$  벡터의 요소  $x_{i,j}$ ,  $x_j$ 사이의 분산이다. 상호분산 행렬을 가지고 주성분 해석을 한다. 주성분은 분산에 관해 특별한 특성을 갖는 랜덤 변수의 선형 조합이다. 첫 번째 주요 성분이 최대 분산을 갖는 정규화된 선형 조합이고 두 번째 주성분은 두 번째 큰 분산을 갖는 벡터의 선형조합이다. 개발한 오손 지폐 분류기는 첫 번째 주요성분에 해당하는, 즉, 최대 분산을 갖는 벡터 축을 찾아내 이 축으로 매핑시키고 1차원 상에서 미리 설정된 문턱치에 의해 오손도를 판별한다.

주성분을 발견하기 위해 상호분산 매트릭스  $\sum_x$ 의 고유벡터(eigenvector)  $\phi_i$ 와 고유치(eigenvalue)  $\lambda_i$ 를 구한다.

$$\sum_x \phi_i = \lambda_i \phi_i \quad (10)$$

그러면  $n$ 차원의 랜덤 입력 벡터  $X$ 는 다음과 같이 주성분에 의해 표현되어진다.

$$Y = \phi^T X \quad (11)$$

여기서  $y_i = \phi_i^T X$ 이다. 그리고 나서 입력벡터를 가장 큰 고유치( $\lambda_i$ )에 해당하는 고유 벡터( $\phi_i^T$ )로 사상시킨다. 이 고유벡터가 입력벡터를 1차원으로 사상시킬 때 분산이 가장 큰 벡터 축이 된다. 고유벡터를 구하기 위해서 가우스 소거법<sup>[5]</sup>을 사용한다.

분류방법은 4개의 특징 벡터를 최대고유치에 해당하는 주성분 고유벡터로 사상시킨 다음 어떤 문턱치보다 크면 새돈, 그렇지 않으면 현돈으로 분류한다. 즉,

$$y_i = \phi_{\max}^T X \quad (12)$$

여기서  $\phi_{\max}^T$ 는 최대 고유치( $\lambda_{\max}$ )에 해당하는 고유 벡터이다. 따라서

$$y_i = \begin{cases} 1(\text{새돈}), & \text{if } y_i > \theta \\ 0(\text{현돈}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

로 분류한다. 여기서  $\theta$ 는 오손도의 기준레벨이다.

## V. 실험 및 고찰

개발한 오손 지폐 분류기가 그림 7에 보여진다.

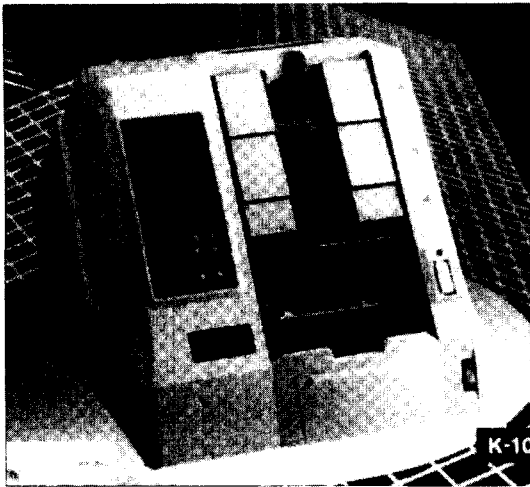


그림 7. 개발한 오손 지폐 분류 시스템  
Fig. 7. The developed used bank note classification system.

다양한 분포를 갖는 만원권 지폐 1000장으로 학습을 시켜 최대 고유치를 구하고 이에 해당하는 고유벡터를 구하였다. 여기서 최대 고유벡터  $\phi_{max}^T$ 의 각 성분은 0.532, 0.48, -0.284, 0.636으로 얻어졌다. 이 성분을 ROM에 저장시키고 학습에 포함된 지폐와 포함되지 않은 지폐에 대해 테스트를 하였다. 먼저 학습에 포함시킨 지폐중 임의로 200장에 대해서 동일한 순서로 20번을 읽고 오손레벨(문턱치) 10단계로 가변시켜 가면서 수행하였다. 다음 학습에 포함되지 않은 임의의 지폐 200장에 대해 테스트하였다. 한 장의 지폐는 임의의 오손레벨에 대해서 여러 번 읽어도 새돈이나 현돈중 항상 같은 쪽으로 분류되어야 한다.

표 1. 학습 데이터 200장에 대한 분류율  
Table 1. The classification rate for 200 training data.

오손기준	1회 읽었을 때의 분류		총 오류지폐 수/ 반복회수
	새돈	현돈	
1	200	0	15/19
2	188	12	69/19
3	173	27	108/19
4	166	34	47/19
5	155	45	90/19
6	141	59	109/19
7	134	66	81/19
8	116	84	64/19
9	106	94	48/19
10	89	111	108/19
계			739/190
오분류율(%)		739/190/200x100=1.944	

표 2. 테스트 데이터 200장에 대한 분류율  
Table 2. The classification rate for 200 testing data.

오손기준	1회 읽었을 때의 분류		총 오류지폐 수/ 반복회수
	새돈	현돈	
1	199	1	31/19
2	168	32	107/19
3	173	27	128/19
4	169	31	137/19
5	159	41	101/19
6	146	54	93/19
7	131	69	122/19
8	126	76	94/19
9	102	98	113/19
10	78	122	145/19
계			1071/190
오분류율(%)		1071/191/200*100=2.80	

표 1은 학습에 포함된 데이터에 대해 수행한 것으로 각 오손레벨을 평균한 오분류율이 1.944%로 약 98%의 평균 분류율을 보이고 있으며 오분류가 가장 많은 오손레벨에서 10에서 오분류율은 108/19/200\*100=2.842%로 약 97%이상을 나타낸다. 표 2는 학습에 포함되지 않은 지폐에 대해 수행한 것으로 평균 오분류율이 2.80%으로 97.2%의 분류성능을 보이고 있으며, 오손레벨 10에서 오분류율이 145/19/200\*100=3.815로 가장 낮은 약 96.2%의 분류성능을 보이고 있다. 표 1에서 예를 들어 오손도 기준을 4로 설정하면 새돈이 166개, 현돈이 34개로 분류되고 1회 읽었을 때의 분류결과에 대해 19번 읽었을 때 똑같이 분류되지 않은 지폐의 개수를 오류지폐수로 정하였다. 즉, 하나의 지폐를 20번 읽었을 때 동일하게 분류되지 않는 수를 세었다. 표에서 보듯이 각 오손레벨 마다 편차가 심하게 나타난다. 이는 사용자가 지폐를 비스듬하게 투입하는 경우도 있고, 또 정확하게 투입하더라도 이송될 때 약간씩 오차가 발생할 수 있다. 이를 보상하기 위해 지폐를 세로로 넣거나 센싱영역을 넓게 하는 것이 필요하나 속도 등 여러 문제를 고려해야 한다. 여기서 최상위 오손도 기준 10은 실험에 사용된 돈에서 새돈이 40%정도 나오도록 정하였다. 만일 최상위 기준을 더 높이면 즉 새돈을 20%정도 나오게 하려 한다면 오류는 훨씬 증가한다. 왜냐하면 똑같은 새돈이라 할 지라도 재질에 따라 상당한 분포차이를 보이기 때문에 각 센서의 입력오차가 크게 나타난다. 그리고 은행 등에서 사용되는 실제 오손 지폐 분류기는 많은 것 중에서 50%이하의 현돈을 구별하기 때문에 여

러 실험과정을 거쳐 오손기준을 정하였다. 물론 헌돈만을 넣는다면 이 시스템은 거의 전부를 헌돈으로 분류해낸다. 그리고 초당 처리능력은 8매로써 고속으로 처리된다. 이 시스템은 오손기능외에도 지폐의 앞, 뒷면 분리기능, 만원권, 오천원권, 천원권을 구별해내는 권종구별 기능과 자외선 및 자기센서를 이용한 위조지폐 감별 기능도 갖추고 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 개발한 오손 지폐 분류기를 제시하였다. 제안한 오손 지폐 분류기는 고속의 처리기능과 높은 분류효율을 가지도록 지폐의 오손도에 대한 모델링을 통해 센서의 선택과 배치, 특징추출, PCA를 이용한 분류알고리즘을 기반으로 개발하였다. 속도는 초당 8매이고 분류율은 96%이상으로 신뢰성 있는 시스템이다. 나아가 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 센서의 선택과 배치, 그리고 이로부터 특징의 추출과 분류 알고리즘에 대한 개선이 필요하다. 특히, 지폐를 가로로 넓은 방향으로 투입하는 제안한 방식을 세로로 투입한다면 더 많은 데이터를 획득할 수 있어 좀 더 나은 결과를 볼 수 있으리라 예상한다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. S. Pandya and R. B. Macy, *Pattern Recognition with Neural Networks in C++*, IEEE PRESS.
- [2] G. R. Fowles, *Introduction to Modern Optics*, Holt, Rinehart and Winston, pp. 86-90, 1975.
- [3] J. A. Kong, *Electromagnetic Theory*, 2nd ed., John Wiley Sons, PP. 110-126, 1990
- [4] 荒井由太郎 外著, 김영해 역, *센서 인터페이스*, no. 2
- [5] S. Nakamura, *Applied Numerical Methods in C*, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1993.
- [6] Duda, R. O. and Hart, P. E., *Pattern Classification and Scene Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1973.
- [7] K. Fukunaga, *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, 2nd Edition. Academic Press, Inc. 1990.

## 저 자 소 개

李駿宰(正會員) 第35卷 S編 第3號 參照  
 현재 동서대학교 정보시스템공학부  
 컴퓨터공학전공 조교수

都敬勳(正會員) 第33卷 B編 第3號 參照  
 현재 동서대학교 정보시스템공학부  
 컴퓨터공학전공 조교수