

# 다수의 고유 공간을 이용한 주화 표면 품질 진단

## Inspection of Coin Surface Defects using Multiple Eigen Spaces

김재민, 류호진  
홍익대학교 전자전기공학부

Jae-Min Kim(jmkim@hongik.ac.kr), Ho-Jin Ryoo(ryoo.hojin@gmail.com)

### 요약

현재 주화의 제조 공정에서는 주화의 표면 품질 진단을 사람이 눈으로 직접 확인하여 수행하고 있다. 본 논문은 컨베이어 벨트에 놓여 이동하는 주화로부터 획득한 영상을 이용하여 주화 표면의 결함을 검출하는 영상처리 방법을 제시한다. 결함 검출 방법은 영상에서 주화 영역을 분할하고, 분할된 동전을 비교할 모델에 정렬하며, 정렬된 영상을 최적의 고유 영상 공간으로 투영, 투영 오차와 학습된 가변 임계값과 비교하여 결함 부위를 검출한다. 본 논문에서는 이러한 일련의 영상처리 과정 중에서 주화 표면 진단과 관련하여 특화된 새로운 방법을 제시한다. 주화의 정렬을 위하여 분할된 주화의 히스토그램을 사용한다. 이 방법은 2차원 영상의 정렬을 일차원 히스토그램의 정렬로 변환하는 것이다. 다음으로 정렬된 영상을 고유 영상 공간에 투영시켜 주화 방향에 따른 휘도 변화를 보정한다. 이 방법은 소수의 고유 영상 벡터들로 구성된 고유 영상 공간을 여러 개 생성하고, 최적의 고유 영상 공간에 정렬된 영상을 투영하여 실시간 구현이 가능하게 한다.

■ 중심어 : | 표면 품질 검사 | 난반사 노이즈 | 패턴 정렬 | 적응고유영상 |

### Abstract

In a manufacturing process of metal coins, surface defects of coins are manually detected. This paper describes an new method for detecting surface defects of metal coins on a moving conveyor belt using image processing. This method consists of multiple procedures: segmentation of a coin from the background, alignment of the coin to the model, projection of the aligned coin to the best eigen image space, and detection of defects by comparison of the projection error with an adaptive threshold. In these procedures, the alignment and the projection are newly developed in this paper for the detection of coin surface defects. For alignment, we use the histogram of the segmented coin, which converts two-dimensional image alignment to one-dimensional alignment. The projection reduces the intensity variation of the coin image caused by illumination and coin rotation change. For projection, we build multiple eigen image spaces and choose the best eigen space using estimated coin direction. Since each eigen space consists of a small number of eigen image vectors, we can implement the projection in real-time.

■ keyword : | Defected Surface Inspection | Diffused Reflection Noise | Pattern Alignment | Adaptive Eigen Image |

## I. 서론

제조 공정의 생산성 향상을 위하여 제품 표면의 품질 진단을 자동화하는 것이 필요하다. 인쇄 회로 기판, 반도체 웨이퍼, 모직물 등 많은 분야에서, 영상처리를 적용하여 표면 품질 진단의 자동화를 구현하고 있다. 반도체 웨이퍼 표면의 균일 상태와 같은 매우 정교한 표면의 진단에는 레이저 광을 이용한 암시아 검출(dark field detection) 방법이 사용되고 있으며, 인쇄회로기판과 같이 표면에 패턴이 있는 경우에는 램프를 이용한 명시아 검출(bright field detection) 방법이 사용되고 있다. 명시아 검출 방법에서는 결함이 없는 모델 영상과 테스트 영상의 휘도 차이를 직접적으로 비교하는 방법과 에지 등의 특징을 추출하여 비교하는 방법 등이 사용되고 있다[1-5].

본 논문에서 기술하는 주화 표면 품질 진단은 주화 표면에 양각의 문양이 있기 때문에 명시아 방법을 사용한다. 주화 표면과 같이 표면에 패턴이 있는 품질의 검사와 연관된 연구로는 인쇄회로기판 품질 검사, 직물 품질 검사 등이 있다. Wu 등은 인쇄회로기판의 결함을 검사하는 방법을 제시하였다. 우선 회선의 경계를 나타내는 에지를 검출하고, 검출된 에지를 기반으로 영상을 이진화하며, 이진화된 모델 영상과 테스트 영상을 비교하였다[6]. 이 방법은 조명의 변화에 에지 검출이 민감하기 때문에 정교한 조명 시스템을 필요로 한다. Yazdi 등은 각 화소에서 두 영상의 상관관계를 구하고 이를 기반으로 직물의 품질 검사하는 방법을 제시하였다[7]. 이 방법은 조명의 변화가 있는 경우 복잡한 패턴의 변화를 정확하게 검출하지 못하는 단점이 있다. Tsi 등은 두 영상의 일치점(corresponding point)의 휘도의 차이를 이용하는 대신, 일치점의 두 휘도를 2차원 평면에 투영하고 투영된 2차원 평면에서 일치점들의 분포를 이용하여 인쇄회로기판의 표면 품질 검사를 하였다[8]. 이 방법은 조명의 변화에 강인한 장점이 있지만 작은 영역의 결함을 검출하지 못하는 단점이 있다. Kumar 등은 가버 변환 계수를 이용한 표면 품질 검사 방법을 제시하였다[9]. 이 방법은 조명 변화에 강인하며 복잡한 패턴의 변화를 검출할 수 있지만, 연산량이 많은 단점이

있다. Ibrahim 등은 가버 변환의 과도한 연산량 변환 문제를 해결하기 위하여 빠른 변환이 가능한 웨이블릿 변환 계수를 이용하였다[10].

현재 주화의 제조 공정에서는 주화의 표면의 품질 진단을 사람이 눈으로 직접 확인하여 수행하고 있는데, 본 논문에서는 영상처리를 이용하여 주화 표면의 품질을 진단하는 일련의 과정에 대하여 기술한다. 주화 표면의 품질 진단은 (1)주화 크기, (2)주화 문양과 주화의 중심 일치, (3)주화 색상의 변화, (4)표면 스크래치 등에 대하여 검사한다. 주화의 영상은 컨베이어 벨트의 중앙에 일정 간격으로 이동하며, 임의의 회전 방향을 갖는 주화로부터 획득한다. 주화의 품질 검사에서 주화 크기와 주화 문양과 주화의 중심 일치에 관한 검사는 주화 영역의 분할과 주화 문양의 중심 계산으로 구현이 가능하다. 주화 색상의 변화와 표면 스크래치 등에 대한 검사는 정렬된 주화 영상과 모델 주화 영상과의 차분 영상을 비교하면 동시에 점검이 가능하다. [그림 1]은 일련의 과정을 보여 주고 있다. “주화 정렬”과 “해당 고유 공간으로 투영”은 본 논문에서 주화 품질 검사를 위하여 특화된 새로운 방법이다.

2차원 영상 패턴의 정렬에 일반적으로 사용되는 Lucas-Kanade 방법은 최대 급경사 강하법(steepest descent)으로 두 영상 패턴의 차이를 최소화하는 방법이다[11]. 이 방법은 부화소의 정확도를 가지지만 초기 값에 민감한 단점이 있어, 임의의 방향으로 놓인 주화의 정렬에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 휴변환(Hough transform) [12]을 이용하여 주화 문양의 중심을 추정하고, 주화의 히스토그램을 이용하여 주화의 방향을 정렬하는 새로운 방법을 제시한다. 히스토그램을 이용한 정렬은 1차원 배열간의 정렬이기 때문에 2차원 영상의 정렬에 비하여 계산이 간단하다.

주화 영상의 휘도는 주화의 회전 방향에 따라 그 값이 변화하게 되는데, 이러한 휘도의 변화는 차분 영상을 이용한 주화 품질 검사의 성능을 저하시킨다. 이러한 휘도의 변화를 최소화하기 위하여 본 논문에서는 정렬된 주화 영상을 최적의 고유 영상 공간에 투영한다.

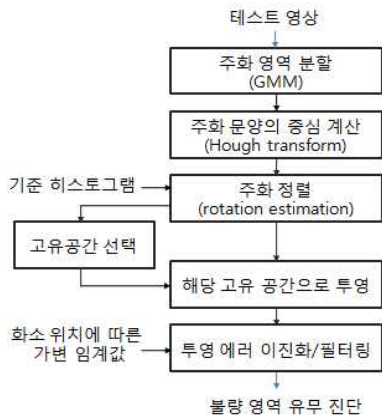


그림 1. 주화 표면 품질 진단 전체 흐름도

## II. 주화 표면 품질 진단 과정

주화의 품질 진단을 위한 일련의 처리 과정은 전처리 과정과 주화 표면 검사 과정으로 이루어진다. 전처리 과정은 주화 영역을 배경으로부터 분리하는 분할 과정, 주화 문양의 중심을 구하는 과정, 주화의 회전 방향을 모델의 방향에 정렬하는 과정으로 구성된다. 주화 표면 검사 과정은 정렬된 주화를 고유 영상 공간에 투영하는 과정과 투영 에러와 가변 임계값을 비교하여 결함 영역을 검출하는 과정으로 구성된다.

### 1. 전처리

#### 1.1 주화 영역 분할

획득한 영상에서 주화 영역을 분할하기 위하여 혼합 가우시안 모델(Gaussian mixture model)에 기반을 둔 기대치 최대화 (expected and maximization) 알고리즘을 적용한다[13]. [그림 2]에서는 획득한 주화 영상의 히스토그램이 3개의 가우시안 분포의 혼합으로 근사화됨을 보여준다. 상대적으로 밝은 화소와 어두운 화소가 혼합된 주화 영역은 2개의 가우시안 분포로 표현되고, 주화 화소에 비하여 어두운 배경의 화소들은 나머지 한 가우시안 분포로 표현된다. 추정된 히스토그램은 [그림 2]에서 실선으로 표시된다.



그림 2. 획득한 영상의 히스토그램 및 가우시안 혼합 모델과 기대치 최대화 기법으로 추정된 결과.

주화 영역과 배경 영역의 분할에 적용되는 임계값은 [그림 2]에서 가장 좌측 분포와 두 번째 분포의 경계 값이다. 분할된 주화 영역은 노이즈로 인한 오류가 존재하지만, 분할된 영역으로부터 원의 형태인 주화의 중심과 반경은 부화소 정확도(subpixel accuracy)로 추정된다. 분할한 주화 영역이 원이라는 가정 하에 주화의 중심과 주화의 직경을 계산한다.

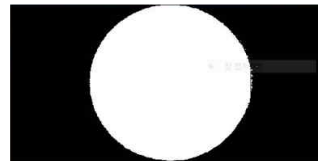


그림 3. 배경으로부터 분리된 주화 영역

#### 1.2 주화 문양의 중심 추정

주화 문양의 중심과 주화 매체의 중심과의 일치 여부를 판단하기 위하여 주화 문양의 중심을 추정하여야 한다. 주화 문양의 중심을 추정하기 위하여 휴변환을 적용한다. 주화 문양의 중심은 주화 매체 중심 부근에 놓이며 주화 문양의 중심으로부터 주화 문양의 테두리까지의 거리를 알고 있기 때문에, 초기값에 민감한 Lucas-Kanade 방법보다 휴변환을 이용한 주화 문양 중심 추정은 적은 연산량으로 구현이 가능하다.



그림 4. 주화 문양의 중심.

### 1.3 주화 방향의 추정

모델과 테스트 주화 영상의 차분을 이용한 표면 품질 진단을 하기 위해서는 두 영상의 정확한 정렬이 필요하다. 정렬을 위해서는 주화 문양의 중심과 회전 방향에 대한 정확한 추정이 필요하다. 주화를 회전 각도를 기준으로 360 등분을 하였을 때 각 영역에 놓인 에지의 개수는 [그림 5]와 같은 분포를 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 각도에 따른 에지의 분포를 나타내는 히스토그램을 이용하여 주화의 회전 각도를 추정한다. 추정 방법은 각도를 추정하고자 하는 주화의 히스토그램을 수평축으로 순환시키면서 정방향 주화와의 히스토그램 상관계수(correlation coefficient)가 가장 큰 회전 각도를 추정한다.

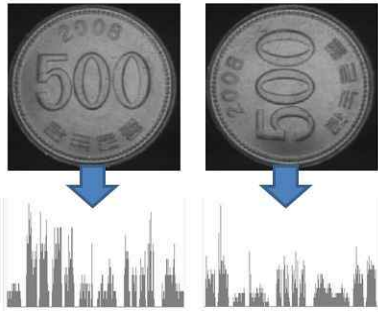


그림 5. 회전 각도가 다른 두 동전과 각도 추정에 이용되는 히스토그램.

## 2. 결함 화소 검출

주화 표면의 품질 진단은 표면색의 변화, 표면의 스크래치 등을 검사한다. 모델 주화와 검사 주화 영상의 차분 값이 학습된 임계값보다 큰 영역을 검출하여 표면색의 변화와 스크래치에 대한 검사를 동시에 수행한다. 하지만 이 방법은 주화의 금속 표면에서의 조명의 반사에 따른 휘도의 변화에 민감하기 때문에, 휘도의 변화를 제거하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 정렬된 주화 영상을 고유 영상 공간에 투영시켜 휘도 변화를 제거한다.

### 2.1 주화 영상에서 조명에 의한 휘도 변화 제거

주화 표면의 밝기 분포는 아래 식 (1)과 같이 다양한

고유 영상의 선형 조합으로 근사화할 수 있다.

$$I_i(x,y) = \bar{I}(x,y) + \sum_{k=1}^L \omega_{i,k} V_k(x,y) + e_i(x,y) \quad (1)$$

여기서  $\omega_{i,k} = \langle I_i(x,y), V_k(x,y) \rangle$ 이며,  $I_i(x,y)$ 는 정렬된 테스트 주화 영상,  $\bar{I}(x,y)$ 는 평균 영상(mean image)으로 모델 주화 영상을 의미한다.  $V_k(x,y)$ 는 고유 영상,  $e_i(x,y)$ 는 근사화 오차를 나타낸다. [그림 6]은 주성분 분석(principal component analysis) 방법을 이용하여 생성한 평균 영상 과 고유 영상을 보여주고 있다.

$\sum_{k=1}^L \omega_{i,k} V_k(x,y)$ 는 주화 회전 방향의 변화에 따른 주화 표면 휘도의 변화를 나타내며,  $e_i(x,y)$ 는 주화 표면의 결함에 의한 휘도의 변화를 나타낸다. 단순한 모델 영상과 정렬된 주화의 차분 영상은 주화 방향의 변화에 따른 주화 표면 휘도의 변화를 포함하고 있기 때문에 결함 화소의 검출 성능이 나빠진다. 따라서 차분 영상을 사용하는 대신 식 (1)의  $e_i(x,y)$ 를 이용하여 주화 표면의 결함을 진단한다.

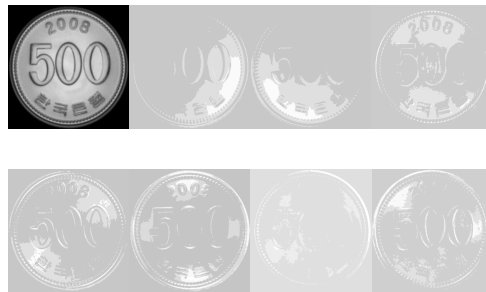


그림 6. 평균 및 고유 영상: 고유 영상은 디스플레이 목적으로 화소값을 조절함.

### 2.2 결함 화소 판정

정상적인 주화 화소  $(x,y)$ 에서는 고유영상의 개수가 증가할수록 근사화 오차  $|e_i(x,y)|$ 가 작아진다. 반면에 결함이 있는 화소  $(x,y)$ 에서는 고유 영상의 개수가 증가하여도 근사화 오차  $|e_i(x,y)|$ 가 일정한 값 이하로 줄어들지 않는다. 이러한 특성을 바탕으로 결함 화

소의 판정을 다음과 같이 한다.

$$(x,y) \in \begin{cases} normal & \text{if } |e_i(x,y)| < th(x,y) \\ defection & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 임계값  $th(x,y)$ 은 사전에 학습된 값을 사용한다. 정상 화소에서 오차  $|e_i(x,y)|$ 가 작을수록 결함 화소 검출에서 오검출(false detection) 빈도가 낮아지게 된다.

### 2.3 다수 고유 영상 공간

임의의 회전 각도로 컨베이어 벨트에 놓이는 주화는 [그림 6]에서와 같이 다양한 형태의 고유 영상을 가지게 되는데, 작은 오차  $|e_i(x,y)|$ 를 가지기 위해서는 매우 많은 수의 고유 영상을 필요로 한다. 이는

$\sum_{k=1}^L \omega_{i,k} V_k(x,y)$ 를 계산하는데 있어 L의 값이 커지므로 과도한 연산량을 필요로 한다. 이러한 연산량 문제를 해결하기 위하여 주화의 방향에 따라 적은 수의 고유 벡터들로 구성된 다수의 고유 영상 공간을 생성한다.

조명의 불균형 및 난반사로 인하여 발생하는 주화 휘도의 변화는 카메라와 주화의 상대적 거리 및 상대적 회전 각도에 따라 그 특성이 달라진다. 광학센서의 트리거 신호로 작동되는 영상 획득 시스템에서 주화와 카메라의 거리의 변화는 작기 때문에 대부분의 휘도 변화는 주화의 회전 방향에 기인한다. 그러므로 일정 범위의 회전 각도를 가지고 있는 주화들로 고유 영상 공간을 생성하면, 적은 수의 고유 영상 벡터를 이용하여도 정상 화소에서 오차  $e_i(x,y)$ 가 매우 작다. 이는 [그림 7]에서 보여주고 있다. [그림 7]은 회전 각도에 따라 다수의 고유 영상 공간을 생성하고, 각각의 정렬된 주화 영상을 해당하는 고유 영상 공간에 투영한 경우(빨간색으로 표시)와 각도에 관계없이 단일 고유 영상 공간에 주화를 투영한 경우(초록색으로 표시) 평균제곱오차(mean square error)를 보여준다. 단일 고유 영상 공간에서는 356개의 고유 영상을 이용하였을 때  $e_i(x,y)$ 의 MSE는 다수 고유 영상 공간에서는 11개의 고유영상을 이용하였을 때  $e_i(x,y)$ 의 MSE와 같음을 보여주고 있

다. 이는 투영에 필요한 연산량이 32분의 1로 감소함을 의미한다.

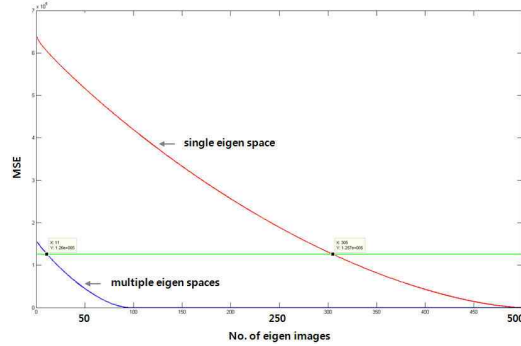


그림 7. 고유 공간에서 투영 시 발생하는 정상 주화의 오차  $|e_i(x,y)|$ 의 평균 제곱 값: (a)단일 고유 영상 공간(빨간색), (b) 다수 고유 영상 공간(파란색)

### 3. 실험 및 결과 고찰

실험에서는 256x256 해상도의 주화 영상 5,000개를 이용하였다. 모든 주화 영상은 조폐공사에서 작은 결함이 있다고 분류한 5,000개의 주화로부터 획득한 영상이다.

주화 매체의 중심 추정은 부화소 정확도(sub-pixel accuracy)를 가지며, 휴변환을 이용한 주화 문양의 중심 추정은 한 화소의 정확도(pixel accuracy)를 가진다. 따라서 주화 매체의 중심과 주화 문양의 중심의 일치 여부는 2개 화소 오차 이내로 검사할 수 있다.

추정된 주화의 회전 각도의 정확도는 각도에 따른 예지 개수를 나타내는 히스토그램의 해상도가 높을수록 정확하다. 본 실험에서는 사용한 히스토그램의 해상도는 1440이다.

동전은 회전 각도에 따라 72개의 그룹으로 분류하고 각 그룹에서 고유 영상 공간을 생성하였다. 각각의 고유 영상 공간을 구성하는 고유 영상의 개수는 11개로 결정하였다. [그림 8]에서와 같이 고유 값(Eigen value)의 큰 감소는 10번 고유값 부근에서 멈추었으며, 고유 영상을 시각적으로 확인하였을 때 11번 제 이후의 고유 영상은 조명의 불균일과 난반사로 인한 노이즈의 연관성이 적었다.

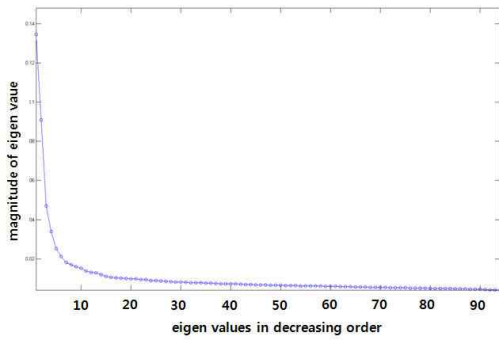


그림 8. 순차적으로 나열한 고유값

학습에 사용한 주화 영상을 주화의 회전 각도에 해당하는 고유 공간에 투영하였을 때 오차  $e_i(x,y)$ 의 분포를 정규분포로 가정하고, 그 표준편차  $\sigma(x,y)$ 을 바탕으로 식) 2의 임계값  $th(x,y)$ 를 결정하였다.  $th(x,y) = 2.5 \times \sigma(x,y)$ 을 적용하여 검출한 결과는 [그림 9]에서 보여 주고 있다.

[그림 9](a)는 입력 주화 영상, [그림 9](b)는 배경 분리 후 정렬한 영상, [그림 9](c)는 모델 영상과 정렬 영상의 차분 영상, [그림 9](d)는 고유 영상 공간에 투영한 후의 오차 영상  $e_i(x,y)$ , [그림 9](e)는 가변 임계값보다 큰 오차를 가지는 영역에 필터를 적용하여 의미 있는 결함 영역만 검출한 결과를 보여 주고 있다.

압연기에서 나온 주화는 자동포장기로 이송되는 과정에서 발생하는 작은 스크래치를 가지게 된다. 이러한 작은 스크래치까지 검출하게 되면 대부분의 주화들이 결함이 있는 것으로 검출되기 때문에, 외부의 요인으로 인하여 발생하는 뚜렷한 결함만을 검출하는 것을 요구 하고 있다. 본문에서 기술한 일련의 영상처리 과정을 이용한 주화 표면 결함 검출 결과는 [표 1]에서 보여 주고 있다. [표 1]은 오거부율(false reject rate)을 0%로 하였을 때 오수락율(false reject rate)을 보여주고 있다. 오거부는 뚜렷한 결함이 있는 주화를 검출하지 못하는 경우이고, 오수락은 작은 결함을 뚜렷한 결함으로 오인하는 경우이다. 본 논문에서 제한한 주화 표면 검사를 위한 일련의 알고리즘은 인텔 i3-540(3.0GHz 듀얼코어) 프로세서와 4GB DDR3 메모리 기반 시스템에서 1초에 12개 주화까지 처리할 수 있다.

주화 표면 품질의 진단은 획득한 주화 표면 영상의 색과 휘도를 바탕으로 품질 진단을 수행하고 있다. 최근에 10원 주화 소재를 구성하는 금속의 배합률이 달라져서 소재의 경도와 내구성에 문제가 발생 되고 있는데, 금속의 배합률 변화에 따른 주화 표면색의 변화가 표면색 변화의 허용치 이내에 있는 경우 영상처리를 이용한 주화 품질 진단에는 한계가 있다. 이러한 소재의 문제점은 소재 제조 과정에서 경도 테스트 혹은 소재의 질량 점검을 통하여 진단하는 것이 효과적이다.

표 1. 오거부율=0%일 때 오수락율

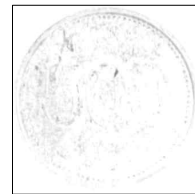
검출 방법	오수락율
적용 임계값	2.1%
적용 임계값 + 고유공간 투영	0.8%



(a)



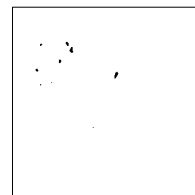
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 9. 결함 검출 결과: (a) 입력 영상, (b) 정렬된 영상, (c) 정렬 영상과 모델 영상의 차분, (d) 고유 공간에 투영 후의 오차, (e) 최종 검출 결과

### III. 결 론

본 논문에서는 주화의 품질 검사를 위한 일련의 영상 처리 알고리즘을 제시하였다. 주화의 중심과 주화 문양의 중심 일치 여부를 검사하기 위하여, 주화의 중심과 주화 문양의 중심을 가우시안 혼합 모델과 휴 변환을 적용하여 추정하였으며, 임의의 회전 각도로 놓인 주화를 정렬하기 위하여 히스토그램을 이용하여 정확하게 주화의 회전 각도를 계산하는 새로운 방법을 제시하였다. 또한 조명의 불균형과 난반사 노이즈에 강인한 주화 결합 검출 방법을 제시하였다. 이 방법은 정렬된 주화 영상을 고유 주화 영상 공간에 투영시켜 노이즈를 대폭 감소시켰으며, 투영 오차와 적응 임계값을 비교하여 결합 화소를 검출하였다. 고유 공간 투영에 소요되는 연산량을 줄이기 위하여 주화에 회전 각도에 따른 다수의 고유 영상 공간을 생성하여 각각의 고유 영상 공간이 소수의 고유 영상 벡터로 구성되게 하였다. 실험 결과는 제시한 방법이 효과적으로 동전의 결함을 검출할 수 있음을 보여주고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. S. Newan and A. K. Jain, "A survey of automated visual inspection," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 61 Issue 2, pp.231-262, 1995.
- [2] J. Wilder, "Finding and Evaluating Defects in Glass," *Machine Vision for Inspection and Measurement*, Academic Press, New York, 1989.
- [3] A. Hamamatsu, H. Shibuya, Y. Oshima, S. Maeda, H. Nishiyama, and M. Noguchi, "Statistical Threshold Method for Semiconductor Wafer Inspection," 12th Asia-Pacific Conference on NDT, 2006.
- [4] K. Choi, K. Koo, and J. S. Lee, "Development of Defect Classification Algorithm for POSCO Rolling Strip Surface Inspection System," SICE-ICASE International Joint Conference, 2006.
- [5] F. R. Leta, F. F. Feliciano, and F.P. R. Martins, "Computer Vision System for Printed Circuit Board Inspection," *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, Vol.3, pp.623-632, 2008.
- [6] W. Y. Wu, M. J. Wang, and C. M. Liu, "Automated inspection of printed circuit boards through machine vision," *Computers in Industry*, Vol.28 Issue 2, pp.103-111, 1996.
- [7] H. R. Yazdi and T. G. King, "Applications of 'vision in the loop' for inspection of lace fabric," *Real-Time Imaging*, Vol.4 Issue 5, pp.317-332, 1998.
- [8] D. Tsai and R. Yang, "An Eigenvalue-based Similarity Measure and its Application in Defect Detection," *Image and Vision Computing*, Vol.23 No.12, pp.1094-101, 2005.
- [9] A. Kumar and G. Pang, "Defect Detection in Textured Materials using Gabor Filters," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol.38, pp.425-440, 2002.
- [10] Z. Ibrahim and S. A. R. Al-Attas, "Wavelet-based printed circuit board inspection algorithm," *Integrated Computer-Aided Engineering*, Vol.12, pp.201-213, 2005.
- [11] I. Matthews and S. Baker, "Active Appearance Models Revisited," *International Journal of Computer Vision*, Vol.60, No.2, pp.135-164, 2003.
- [12] J. Yang and W. Du, "A Robust Hough Transform Algorithm for Determining the Radiation Centers of Circular and Rectangular Fields with Subpixel Accuracy," *Physics in Medicine and Biology*, Vol.54, No.3, pp.555-567, 2009.
- [13] J. Q. Li and A. R. Barron, "Mixture Density Estimation," In *Advances in Neural Information*

Processing Systems, Vol.12, pp.279-285, 1999.

저 자 소 개

김 재 민(Jae-Min Kim)

정회원



- 1984년 2월 : 서울대학교 전기공학  
학과(공학사)
- 1994년 8월 : Rensselaer  
Polytechnic Institute 전기공학  
(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 홍익대학

교 전자전기공학부 교수

<관심분야> : 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터비전

류 호 진(Ho-Jin Ryo)

준회원



- 2006년 3월 : 홍익대학교 전자전  
기공학부 입학
- 2010년 7월 : 중소기업청 산학협  
력센터 학부연구생

<관심분야> : 영상처리, Stereo Vision