

심볼로지 패턴의 특징 정보를 이용한 자동 시각 검사시스템 개발

황정목* · 장동식**

Development of an Automatic Visual Inspection System Using Symbology Patterns

Jung-mock Hwang · Dong-sik Jang

〈Abstract〉

In this paper, an improved method is developed for automatic inspection system using symbology patterns. The developed method uses the two previously developed matching methods- the template matching method and the feature matching method. The template matching method is very sensitive to variations of target images such as translation and rotation of objects. On the other hand, the feature matching method doesn't extract proper features in some types of symbology patterns.

The proposed method shows the improvement of precision in recognition of defects and flexibility of different types of symbology patterns.

1. 서 론

제품의 외관에는 제조 단계를 거치면서 제조 회사명, 제품 번호, 로트 번호, 제조 일자, 상표 등을 나타내는 문자, 숫자, 기호, 그림 등이 인쇄된다. 이러한 숫자와 문자, 그림, 기호들을 총칭해서 심볼로지(symbology)라고 한다. 선명하게 인쇄된 심볼로지는 제품에 대한 신뢰감과 구매 욕구를 높여주는 효과가 있다. 따라서 많은 제조업체에서 품질 관리의 측면으로 심볼로지의 검사를 필요로 하며 주로 육안 검사에 의해서 수행되고 있다. 육안 검사는 검사자에 따라 검사 기준이 일정하지 않으므로 품질의 불안정과 검사결과의 신뢰도가 낮아지는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하고 검사 능력을 향상시키기 위해서 영상 처리에 의한 심볼로지의 자동 시각 검사 방안이 중요한 과제로 대두되었다.

지금까지 연구 개발된 심볼로지 자동 시각 검사 시스템에서는 심볼로지 패턴의 결점을 인식하는 기법으로 원형 비교법

(template matching method)과 특징 비교법(feature matching method)이 주로 이용되었다[2][5][15]. 원형 비교법은 미리 저장해 둔 이상적인 심볼로지 표준 패턴과 검사할 심볼로지 대상 패턴 사이의 전체적인 유사도를 토대로 심볼로지 패턴의 결점을 인식하는 방법이다. 비교의 기준이 되는 표준 패턴으로는 설계 패턴이나 양호한 품질을 가지는 실제 패턴이 이용된다. 이 방법은 영상의 처리가 간단하고 패턴의 전체적인 결점을 검출하는 능력이 높은 반면에 다음과 같은 제약점이 있다.

이러한 원형비교법의 정확한 비교를 위해서는 조명 조건, 카메라의 초점거리 등을 포함한 모든 검사 조건이 동일한 상태에서 표준 패턴의 영상과 대상 패턴의 영상을 획득하는 작업이 수행되어야 하고, 획득된 영상 내에서 대상 패턴과 표준 패턴의 위치를 일치시키는 영상의 정렬(alignment)이 정밀하게 이루어져야 한다. 따라서 검사의 결과가 검사 조건의 변화, 대상물의 회전 및 이동, 잡음(noise)에 의해 민감한 영향을 받을 수 있다[2][15].

* LG 전자 생산기술원

** 고려대학교 산업공학과

이와달리 특징 비교법은 패턴 전체를 비교하는 원형 비교법과는 달리, 심블로지 대상 패턴으로부터 패턴의 정보가 요약된 특징치를 추출하고 이를 심블로지 표준 패턴의 특징치를 토대로 설정된 특징치 허용 범위와 비교함으로써 결점을 인식하는 방법이다[12][15]. 이 방법은 심블로지 패턴 세부 미세한 결점을 인식할 수 있고 필요한 데이터 처리량과 인식에 필요한 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 반면에 최종적인 결점의 인식 및 판단 과정을 보다 정확하고 용이하게 할 수 있는 특징치를 선정하기가 힘들고, 선정된 특징치를 추출할 때에 패턴 정보의 손실을 없애고 중복성(redundancy)을 피하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 기존 검사 방법의 제약점을 보완하고 심블로지의 결점 인식율을 향상시키기 위해서 심블로지 패턴의 특징 정보를 이용한 개선된 결점 인식 방법이 제안되었다. 이 방법은 심블로지 표준 패턴으로부터 특징 정보를 획득하고 이를 토대로 심블로지 품질에 대한 의사 결정의 기준이 설정되는 학습 단계와 검사 대상 패턴에 대한 실제적인 품질 검사가 이루어지는 검사 적용 단계로 구성되며 다음과 같은 네가지 특징을 지닌다.

첫째, 심블로지 패턴의 특징 정보로 패턴의 형태, 패턴의 위치, 패턴의 명암대비차(contrast), 패턴의 유사도에 대한 정보가 이용된다. 둘째, 심블로지 패턴의 특성을 고려하여 결점 인식에 혼란을 가져올 수 있는 특징 정보는 배제시키고, 적합한 특징 정보만이 중복성을 피해서 획득될 수 있도록 특징 정보 추출을 위한 규칙이 설정된다. 셋째, 특징 정보의 추출 규칙에 따라 심블로지의 결점 인식을 위한 여과(filter) 장치로서 원형 비교법과 특징 비교법이 선별적으로 적용된다. 원형 비교법만이 적용되는 경우에는 패턴의 미세한 결점에 대한 인식 능력이 향상될 수 있도록 표준 패턴과 대상 패턴을 각각 부분 패턴으로 분할한 후, 대응하는 부분 패턴간의 유사도를 비교하는 방법이 적용된다[2]. 넷째, 검사 수행시 발생될 수 있는 조명 상태의 변화, 대상물의 회전 및 이동에 의한 위치 변동과 같은 검사 조건의 변화가 검사 결과에 미치는 영향을 최소화시킨다.

2. 심블로지 패턴의 특징 정보

2.1 심블로지 패턴의 종류

심블로지를 구성하는 패턴은 크게 상표 패턴, 문자패턴, 기

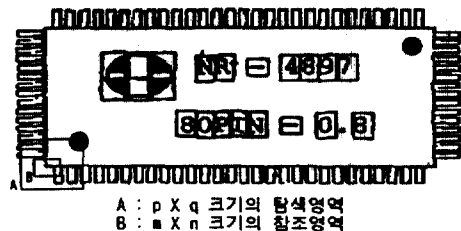
타 패턴으로 구분된다. 상표 패턴은 제조 회사를 상징하는 표식으로서 추상적인 기호나 그림, 무늬로 구성되어 복잡한 형태를 지닌다. 심블로지 패턴의 대부분을 차지하는 문자 패턴은 제조 회사명, 로트번호, 부품 번호, 제조 일자 등을 나타내는 숫자와 알파벳 문자로 구성된다. 기타 패턴은 상표 패턴과 문자 패턴을 제외한 그 밖의 모든 심블로지 패턴을 총칭한다.

2.2 특징 정보 추출의 전처리

CCD(Charge Coupled Device) 센서를 통해서 획득되는 심블로지 패턴 영상으로부터 필요한 특징 정보를 효과적으로 추출하기 위해서 영상에 대해 몇 가지 전처리를 하게 된다[1]. 본 연구에서의 전처리 과정에는 영상의 정렬(image alignment), 영상의 이진화(image binarization), 윤곽선 추출(contouring), 패턴의 세선화(thinning), 패턴의 확장(dilation), 패턴의 축소(erosion) 등이 포함된다.

본 논문에서 제안되는 심블로지 자동 시각 검사 방법은 양호한 품질을 가지는 심블로지 표준 패턴으로부터 획득되는 특징 정보를 토대로 수립되는 특징 정보의 허용 범위에 따라 심블로지의 품질에 대한 의사 결정이 이루어진다. 따라서 심블로지 표준 패턴과 심블로지 대상 패턴간의 특징 정보가 동일한 위치 조건에서 비교될 수 있도록 표준 패턴으로부터 획득된 특징 정보의 좌표값을 대상 패턴에 적합하도록 보정시키는 과정이 선행되어야 한다. 이러한 과정을 영상의 정렬이라고 하며 다음과 같이 세가지 절차를 수행한다.

첫째, 심블로지 표준 패턴에서 심블로지로부터 상대적으로 일정한 위치 관계에 있는 세 개의 참조점을 중심으로 <그림 1>과 같이 $m \times n$ 크기의 참조 영역과 $p \times q$ 크기($p \geq m, q \geq n$)의 탐색 영역을 각각 설정한다.



<그림 1> 표준 패턴의 참조 영역과 탐색 영역의 설정

둘째, 심볼로지 대상 패턴의 영상이 입력되면 앞에서 설정된 각 탐색 영역 내에서 표준 패턴의 참조 영역과 가장 유사도가 높은 영역이 탐지되고 이 영역의 중심점이 참조점으로 결정된다.

대상 패턴으로부터 표준 패턴의 참조점을 탐지하는 데에는 유사도의 척도로써 상관 계수가 이용된다[6]. 이 방법은 상관 계수가 전체적인 조명의 변화를 고려한 계수를 취함으로써 조명에 크게 민감하지 않고, 탐색 영역이 미리 지정됨에 따라서 참조점을 탐지하는데 걸리는 시간이 단축되는 장점이 있다. 상관 계수는 대상 패턴 영상의 탐색 영역 내에서 표준 패턴의 참조 영역을 이동시켜 가면서 식 2.1에 의해서 산출된다. 산출된 값 중에서 가장 큰 값의 상관 계수를 가지는 점 (s, t)가 참조점으로 정해진다.

$$\Gamma(s,t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}(x,y)] [w(x-s, y-t) - \bar{w}]}{(\sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}(x,y)]^2 \sum_x \sum_y [w(x-s, y-t) - \bar{w}]^2)^{1/2}} \quad (2.1)$$

여기에서 $\Gamma(s,t)$: 상관 계수 $-1 \leq \Gamma(s,t) \leq 1$
 $s = 0, 1, 2, \dots, M-1$ $t = 0, 1, 2, \dots, N-1$
 w : 표준 패턴 영상에서 지정된 참조 영역
 \bar{w} : w의 명암도의 평균값
 $f(x,y)$: 탐색 영역 내의 좌표값 (x,y)에서의 명암도
 $\bar{f}(x,y)$: w의 현 위치에 대응하는 대상 패턴 영상 영역의 명암도의 평균값이다.

마지막으로, 결정된 참조점을 기준으로 식 2.2와 식 2.3에 의해서 심볼로지 대상 패턴의 회전 및 이동 정도가 산출되고, 산출된 결과에 따라서 표준 패턴에서 획득된 모든 특징 정보의 좌표값이 대상 패턴에 맞게 보정된다.

$$\Delta x_i = x_{ii} - x_{si} \quad \Delta y_i = y_{ii} - y_{si} \quad (2.2)$$

여기에서
 (x_{si}, y_{si}) : 표준 패턴 영상의 i 번째 참조점의 좌표값
 (x_{ii}, y_{ii}) : 대상 패턴 영상의 i 번째 참조점의 좌표값
 Δx_i : x 축 방향으로 이동된 정도
 Δy_i : y 축 방향으로 이동된 정도이다.

또한 대상패턴의 회전각 (θ)를 산출하기 위해서는 다음과 같은 식이 성립된다.

$$\Delta x = x_{ii} - x_{ij} \quad \Delta y = y_{ii} - y_{ij} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad (2.3)$$

여기에서
 (x_{ii}, y_{ii}) : 대상 패턴 영상의 i 번째 참조점의 좌표값
 (x_{ij}, y_{ij}) : 대상 패턴 영상의 j 번째 참조점의 좌표값 $j \neq i$

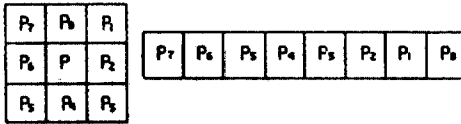
영상의 이진화는 획득된 영상 내에서 각 화소(pixel)의 명암도를 임계치(threshold value)를 기준으로 0과 1의 두 가지 값으로 제한함으로써 영상 내의 심볼로지 패턴 영역과 배경 영역을 분리시키는 과정이다[2][3]. 임계치는 이진화된 영상에서 대상물 외관의 특징 정보를 추출하는 데에 민감한 영향을 미치기 때문에 적절한 임계치를 설정하는 것은 검사 결과의 신뢰도와 정밀도의 측면에서 매우 중요하다. 이에 따라 검사가 진행되는 동안 발생할 수 있는 조명등 외부환경의 변화가 검사의 결과에 미치는 영향이 최소화될 수 있도록 자동 임계치 설정이 필요하다.

윤곽선은 대상 물체와 배경 영역으로 이루어진 영상에서 두 영역간의 명암도의 불연속성에 의해서 형성되는 경계(boundary)에 위치하는 화소들의 집합을 의미한다. 본 논문에서는 심볼로지 패턴의 특징 정보로 이용되는 윤곽선의 개수와 길이를 산출하고 문자 패턴을 둘러싸는 검사 영역을 설정하는 과정에서 Duda 등이 제안한 Turtle 방법을 근간으로 하고 화소의 고유값과 체인 코드(chain code)를 고려해서 미리 만들어 둔 탐색표를 이용하는 방법이 적용된다[1].

또한, 본 연구에서는 심볼로지 패턴으로부터 끝점(end point)과 교차점(cross point)을 찾아내고, 패턴 세부의 밝기 비교를 위한 탐색창(search window)의 중심점을 구하기 위해서 세션화 처리 과정이 이용된다. 본 연구에서는 문자 인식에 주로 사용되어 좋은 평을 받고 있는 Chen과 Hsu의 방법이 적용된다 [4].

심볼로지 패턴을 세션화 시킨 뒤에 끝점과 교차점을 탐색하는 데에는 화소의 고유값을 이용한 알고리즘이 이용된다. <그림 2> (a)와 같이 3 X 3 크기의 창(window)내에서 P 화소에 대한 8개의 이웃 화소들이 지정되면 각 화소들은 0과 1만의 명암도를 가지므로 이러한 8개의 이웃 화소들이 값을 가지는 경우의 수는 256 가지가 된다. 여기에서 P 화소의 8개의 이웃 화소들의 명암도를 <그림 2> (b)와 같이 8 bit의 정수 값으로

나타낸 것을 화소의 고유값이라고 한다. 고유값은 식 2.4에 의해 산출된다.



(a) P 화소의 이웃화소 (b) 고유값 계산을 위한 9개의 이웃화소의 위치

<그림 2> 화소의 이웃 화소의 고유값

$$A = P_0 + P_1 \times 2 + P_2 \times 2^2 + P_3 \times 2^3 + P_4 \times 2^4 + P_5 \times 2^5 + P_6 \times 2^6 + P_7 \times 2^7 \quad (2.4)$$

여기에서 A 는 P 화소의 고유값이고, P_j는 P 화소의 j번째 이웃 화소의 명암도이다.

화소의 고유값을 이용하여 세션화된 심블로지 패턴으로부터 끝점과 교차점을 인식하는 과정은 첫째, 심블로지 패턴에 속하는 화소가 가질 수 있는 256가지의 값 중에서 끝점과 교차점에 해당하는 고유값으로 여기에서 명암도 1을 미리 설정해둔다. 둘째, 세션화 시킨 심블로지 패턴의 각 화소에 대한 고유값이 식 2.4에 의해 계산되고, 첫 번째 단계에서 설정해둔 끝점과 교차점의 고유값과 동일한 값을 가지는 화소들이 끝점과 교차점으로 인식된다.

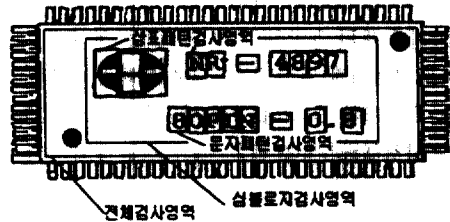
2.3 결점 인식에 이용되는 심블로지의 특징 정보

심블로지 패턴 영상으로부터 획득되고 결점 인식에 이용되는 특징 정보는 크게 전체적인 특징 정보(global feature information)와 국소적인 특징 정보(local feature information)로 구분된다. 전자는 전체 심블로지와 배경 영역에 관련된 특징 정보로서 심블로지의 전체적인 결점과 배경 영역의 결점 인식에 이용된다. 후자는 <그림 3>과 같이 패턴을 둘러싸는 사각형의 패턴 검사 영역에서 각각 추출되는 패턴의 형태에 대한 정보, 패턴의 위치 정보, 패턴의 명암 대비차 정보, 패턴간의 유사도에 대한 정보로 세분되고, 각 패턴의 국소적인 세부 결점 인식에 이용된다.

2.3.1 전체적인 특징 정보

심블로지의 전체적인 특징 정보로 이용되는 것은 명암 대비차 정보이다. <그림 3>과 같이 설정된 전체 검사 영역은

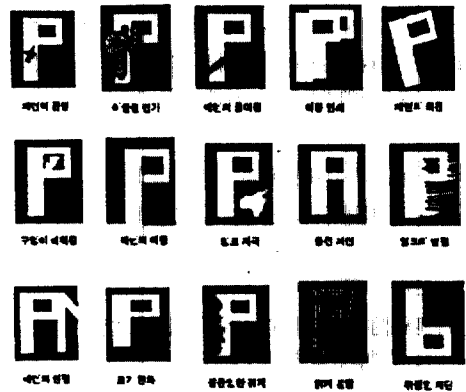
히스토그램을 산출해보면 두 개의 모드(mode)가 형성된다. 검사를 수행하는 동안 시간의 경과에 따라 조명 상태가 변화되는 경우에도 히스토그램의 전체적인 형태는 변화되지 않고 단지 좌우 방향으로의 이동(shift)만 일어나게 된다. 따라서 두 영역간의 명암도 평균치의 차는 심블로지 전체의 명암대비차에 대한 유용한 특징 정보가 된다.



<그림 3> 심블로지 패턴의 검사 영역

2.3.2 국소적인 특징 정보

국소적인 특징 정보는 심블로지를 구성하는 각 패턴에서 발생할 수 있는 <그림 4>와 같은 세부적인 결점을 인식하는데 이용된다. 특징 비교법과 원형 비교법이 혼합된 방법이 적용되는 단순한 문자 패턴의 경우에는 패턴의 형태, 위치, 명암대비차, 유사도에 관한 정보가 모두 이용되고, 원형 비교법이 단독으로 적용되는 복잡한 상표 패턴의 경우에는 패턴간의 유사도에 관한 정보만이 이용된다.



<그림 4> 심블로지 패턴의 결점

심블로지 패턴의 형태에 대한 특징 정보로는 면적과 윤곽선의 개수가 이용된다. 이것은 굵기나 구멍이 매워지는 경우, 균열이 생긴 경우, 잉크가 번진 경우와 같이 패턴의 형태가 변형된 결점을 인식하기 위한 것이다. 모양이 다른 패턴에 대해서도 같은 면적이 산출되는 경우가 발생할 수 있으므로 면적만으로는 패턴의 형태에 대한 정보를 모두 나타낼 수 없다. 따라서 이를 보완하기 위해 윤곽선의 개수가 이용된다. 윤곽선의 개수는 각 패턴을 둘러싸는 사각형의 검사 영역 내에서 윤곽선 탐색 알고리즘(contour following algorithm)을 적용함으로써 산출된다[6][7][13].

심블로지 각 패턴이 정해진 위치에 바르게 인쇄되어 있는지를 판단하는 데에 이용되는 특징 정보로는 심블로지 패턴의 이진 영상에서 <그림 5> (a)와 같이 각 패턴의 끝점과 교차점을 중심으로 $n \times n$ 크기를 가지는 탐색창(search window)을 설정하고, 이 탐색창 내에서 탐지되는 심블로지 패턴에 속하는 화소의 개수가 이용된다. 즉, <그림 5> (b)와 같이 심블로지 패턴이 회전되거나 이동된 위치에 인쇄되는 경우에는 탐색창 내에 심블로지 영역에 해당되는 화소가 존재하지 않게 되므로 이러한 결점을 탐지해낼 수 있게 된다.

제품에 인쇄된 심블로지 패턴의 밝기 상태를 나타내는 명암대비차 정보는 패턴 전체에 대한 정보와 패턴의 세부 부분에 대한 정보로 나뉘어진다. 패턴 전체에 대한 명암대비차 정보는 각 패턴의 검사 영역 내에서 산출되는 심블로지 패턴의 화소와 배경 화소의 명암도 평균치의 차이가 이용된다. 이것은 패턴이 다른 패턴에 비해서 전체적으로 흐리게 인쇄되는 경우를 인식하기 위한 것이다. 세선화된 패

턴의 각 화소들을 중심으로 <그림 5>와 같이 설정된 $n \times n$ 크기의 탐색창 내에서 산출되는 심블로지 패턴 화소들의 명암도의 평균치가 패턴 세부 부분의 명암대비차 정보로 이용된다. 이것은 패턴 내의 부분적인 인쇄 상태 불량, 작은 균열이 발생한 경우, 패턴의 끝부분의 인쇄 상태 불량을 인식하기 위해서 적용된다.

검사의 기준이 되는 심블로지 표준 패턴과 검사할 대상 패턴간의 상관 계수가 패턴의 유사도에 대한 특징 정보로 이용된다. 이것은 원형 비교법이 적용되는 경우에 패턴의 전체적인 결점을 인식하기 위해서 필요하다. 표준 패턴과 대상 패턴간의 상관 계수는 식 2.1에 의해서 산출된다[6].

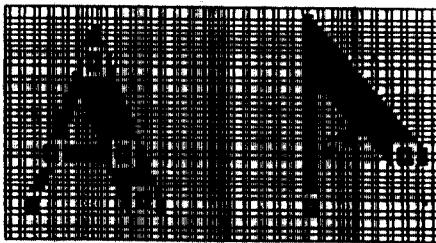
3. 특징 정보의 획득 과정

결점 인식에 필요한 심블로지 패턴의 특징 정보를 획득하는 과정은 특징 정보의 추출 규칙에 따라 이루어지고, 표준 패턴의 특징 정보 획득 과정과 대상 패턴의 특징 정보 획득 과정으로 구분된다. 표준 패턴으로부터 특징 정보를 획득하는 과정에서의 특징 정보는 대상 패턴으로부터 특징 정보를 획득하기 위한 기본 지침으로 활용되고, 심블로지 품질의 판정 기준이 되는 특징 정보의 허용 범위를 설정하는데에 기본 자료로 이용된다. 여기에서 획득되는 특징 정보들이 학습 단계에서 설정된 특징 정보의 허용 범위와 비교됨으로써 심블로지의 품질에 대한 최종적인 의사 결정이 내려지게 된다. 특징 정보의 추출 규칙은 다음과 같다.

3.1 특징 정보의 추출 규칙

본 연구에서는 심블로지의 결점 인식에 이용되는 특징 정보에 대해서 다음과 같은 다섯가지 추출 규칙을 설정하고 이에 따라 특징 정보가 획득되도록 한다.

첫째, 심블로지 패턴 가운데에서 복잡한 형태를 지니는 상표 패턴의 경우에는 원형 비교법만을 적용시키고, 단순한 형태인 문자 패턴의 경우에는 원형 비교법과 특징 비교법이 혼합된 방법을 적용시킨다. 둘째, 윤곽선을 형성하는데 필요한 화소의 최소 개수를 4-연결성의 경우에는 4개, 8-연결성의 경우에는 8개로 제한한다. 이 값 이하의 화소로 구성되는 윤곽선은 윤곽선 개수 추출 시에 포함시키지 않는다. 이러한 화소의 최소 개수는 적용되는 대상에 따라 조정될 수 있도록 한다. 셋째, 원 패턴(original pattern), 화



■ 원형과 교차점

5x5 크기의 탐색창

<그림 5> 패턴 위치의 특징 정보

장시킨 후의 패턴, 축소시킨 후의 패턴에 대해서 각각 윤곽선의 개수를 추출하고, 세 가지 패턴에 대한 윤곽선의 개수가 동일한 패턴에 대해서만 윤곽선의 개수를 패턴의 형태에 대한 특징 정보로 이용한다. 넷째, 패턴의 위치와 밝기 상태에 대한 결점 인식에 이용되는 탐색창의 크기는 5×5 크기를 기본값으로 하고, 패턴의 두께와 검사의 엄격도에 따라 조정되도록 한다. 마지막으로, 패턴의 유사도에 관한 특징 정보로 이용되는 상관 계수를 추출할 때, 상표 패턴의 경우에는 검사 영역을 세부 영역으로 분할하고 각 세부 영역에 대해서 상관 계수를 각각 산출한다. 세부 영역의 크기는 7×7 크기를 기본값으로 하고, 상표 패턴의 크기와 검사의 엄격도에 따라 조정되도록 한다.

3.2 표준 패턴의 특징 정보 획득

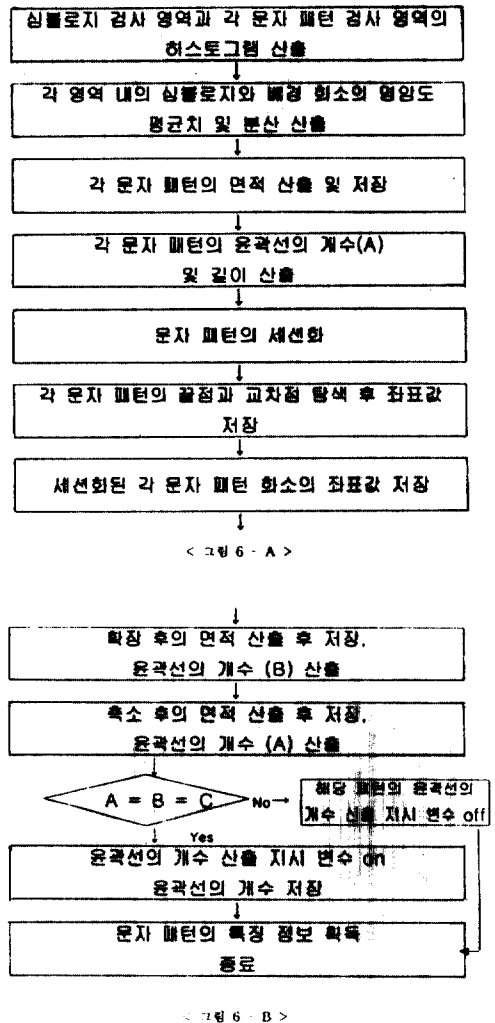
심블로지 표준 패턴으로는 실제 패턴이나 양호한 품질을 가지는 실제 패턴이 이용된다. 심블로지 표준 패턴의 영상으로부터 필요한 특징 정보를 추출하는 과정은 준비 단계, 문자 패턴의 특징 정보 획득, 그리고 표준 패턴을 저장하는 세 단계를 거쳐서 수행된다.

준비 단계에 있어서는 첫째, <그림 1>, <그림 3>과 같이 참조점 영역과 탐색 영역, 전체 검사 영역, 심블로지 검사 영역, 상표 패턴 검사 영역이 사용자(user)에 의해 설정되고, 설정된 각 영역의 꼭지점과 중심점의 좌표값이 각각 저장된다. 둘째, 각 영역이 설정되고 나면 전체 검사 영역 내의 히스토그램이 분석되고 Otsu 방법에 의해 영상 이진화를 위한 임계치가 계산된다[12]. 셋째, 산출된 임계치를 기준으로 영상을 이진화 시키고 문자 패턴의 윤곽선을 추출한다. 넷째, <그림 3>과 같이 각각의 심블로지 문자 패턴을 둘러싸는 사각형의 문자 패턴 검사 영역이 자동적으로 설정되고, 각 문자 패턴 검사 영역의 꼭지점과 중심점의 좌표값이 산출되어 저장된다. 각각의 심블로지 문자 패턴의 검사 영역을 설정하는 방법은 다음과 같다.

각 문자 패턴의 윤곽선이 추출되면 각 윤곽선을 형성하는 화소들의 좌표값 중에서 x 좌표값과 y 좌표값의 최대값과 최소값을 산출하여 윤곽선을 둘러싸는 사각형의 영역을 형성한다. 형성된 사각형 영역이 이웃 패턴에 대한 사각형 영역들과 중복되는 부분이 없는 경우에는 각각의 사각형 영역이 검사 영역으로 결정되고, 그렇지 않은 경우에는 중복되는 각각의 사각형 영역을 모두 포함하는 최소 크기의

사각형 영역이 검사 영역으로 설정되도록 한다.

준비 단계가 완료되면, 각각의 문자 패턴 검사 영역 내에서 3.1절에서 기술한 특징 정보 추출 규칙에 따라서 <그림 6>과 같은 과정을 거쳐 문자 패턴의 특징 정보들이 각각 획득된다. 문자 패턴의 특징 정보가 획득되면 원형 비교법이 적용될 때에 원형(template)으로 이용하기 위해서 표준 패턴 영상을 저장시킴으로써 표준 패턴의 특징 정보 획득 과정이 종료된다.



<그림 6> 표준 문자 패턴의 특징 정보 획득 과정

3.3 대상 패턴의 특징 정보 획득

심볼로지 대상 패턴으로부터 특징 정보를 획득하는 과정은 준비 단계와 전체적인 특징 정보의 획득 단계, 문자 패턴의 특징 정보 획득 단계, 상표 패턴의 특징 정보 획득 단계로 구성된다. 대상 패턴의 영상이 입력되면 특징 정보를 추출하기 전에 다음과 같은 준비 단계가 먼저 수행되어야 한다.

2.2절에서 기술된 바와 같이 시스템의 학습 단계에서 설정된 참조점의 탐색 영역 내에서 참조점이 탐지되고 이를 토대로 대상 패턴의 이동 정도와 회전각이 계산된다[13]. 산출된 이동 정도와 회전각에 따라 시스템의 학습 단계에서 저장해 둔 전체 검사 영역, 심볼로지 검사 영역, 각 패턴의 검사 영역의 중심점의 좌표값이 대상 패턴의 영상에 적합하도록 각각 보정된다. 이러한 준비 단계가 끝나게 되면 2.3절에서 기술된 각각의 특징 정보가 추출되는데 우선 전체적인 특징 정보로 이용되는 명암대비차 정보와 배경 영역의 특징 정보가 먼저 추출된다.

대상 패턴으로부터 전체적인 특징 정보가 획득되고 나면 표준 패턴으로부터 특징 정보를 획득하는 과정을 통해서 학습된 절차에 따라 문자 패턴과 상표 패턴의 순으로 국소적인 특징 정보가 획득된다. 문자 패턴에 대해서는 원형 비교법과 특징 비교법이 혼합된 방법이 적용되어 패턴의 전체적인 명암대비차 정보, 패턴의 형태 정보, 패턴의 위치 정보, 패턴의 세부적인 명암대비차 정보의 순으로 각각의 특징 정보들이 획득된다. 원형 비교법은 문자 패턴에 대해서 적용되는 방법과는 달리 원형 비교법이 지나는 미세 결점의 인식에 대한 제약점이 보완될 수 있도록 검사 영역이 크기의 세부 영역으로 분할되고, 각 세부 영역에 대해서 상관 계수가 산출된다. 산출된 값이 허용 범위를 벗어나는 경우에는 그 영역과 상, 하, 좌, 우로 인접해 있는 세부 영역과 통합시킨 영역에 대해서 상관 계수가 각각 산출된다.

4. 특징 정보를 이용한 의사 결정

4.1 패턴별 판정 기준의 설정

심볼로지의 전체적인 특징 정보로 이용되는 심볼로지 검사 영역의 명암대비차 정보의 허용 범위 설정에는 \bar{X} -관리의 원리가 이용된다. 따라서 심볼로지 패턴 화소와 배경

화소의 명암도를 대표하는 값으로서 각각의 명암도 평균치를 이용하고 두 평균치의 차이를 관리한다면 심볼로지의 전체적인 인쇄 상태가 불량한 경우를 탐지해낼 수 있게 된다. 또한, 식 4.1에 의해 두 영역간의 명암도 평균치의 차에 대한 $\alpha \times \sigma$ 관리 한계선이 설정된다. 대상 패턴의 영상으로부터 획득되는 두 영역간의 명암도 평균치의 차가 이 관리 한계선을 벗어나게 되면 심볼로지의 전체적인 인쇄 상태의 품질이 불량한 것으로 판정된다. α 의 값은 검사하는 심볼로지의 특성과 검사의 엄격도에 따라 조정될 수 있도록 한다.

$$CL_1 = (\mu_2 - \mu_1) - \alpha \times \sqrt{\sigma_1 + \sigma_2} \tag{4.1}$$

여기에서

CL_1 : 심볼로지 검사 영역 내의 명암대비차 정보의 관리 한계선

μ_1, σ_1 : 심볼로지 검사 영역 내의 배경 화소들의 명암도 평균치 및 분산

μ_2, σ_2 : 심볼로지 검사 영역내의 심볼로지 화소들의 명암도 평균치 및 분산이다.

배경 영역 내에 발생하는 심볼로지의 결점 인식에 이용되는 개개 결점의 최대 허용 크기는 검사 대상물에 따라 사용자에게 의해 임의로 설정되고, 배경 영역의 면적에 대해서 결점 화소의 총면적이 차지하는 비율에 대한 허용 범위는 식 4.2에 따라 설정된다. 따라서 검사 대상물의 특성과 검사의 엄격도에 따라 이 값에 대한 적절한 임계치를 설정하고 대상 패턴으로부터 산출되는 값이 설정된 임계치 이상인 경우에만 배경 영역 내에 결점이 발생하지 않은 것으로 판정된다.

$$B = 100 \times (1 - \log X \div \log Y) \tag{4.2}$$

여기에서

B : 배경 영역의 면적에 대해 결점 화소들의 총면적이 차지하는 비율에 대한 허용범위

X : 결점 화소들의 총 면적

Y : 배경 영역의 면적이다.

패턴의 형태에 대한 특징 정보로 이용되는 윤곽선의 개

수는 표준 패턴으로부터 획득된 값이 그대로 판정 기준으로 이용된다. 면적의 허용 범위는 인쇄 공정의 상태에 따라 패턴의 두께나 크기에 약간의 오차가 발생할 수 있으므로 시스템의 학습 단계에서 심블로지 표준 패턴의 각각의 문자 패턴을 한 단계씩 확장시킨 후의 면적과 축소시킨 후의 면적을 산출하고 이를 각 패턴 면적의 상한값과 하한값으로 이용한다.

패턴의 위치에 대한 특징 정보의 경우에는 다음과 같은 방법으로 허용 범위가 설정된다. 먼저 시스템의 학습 단계에서 표준 패턴으로부터 획득된 각 패턴의 끝점과 교차점의 좌표값을 대상 패턴에 적합하도록 보정시킨다. 다음에는 2.3.2절에서 기술된 바와 같이 이진화된 대상 패턴의 영상 내에서 보정된 좌표값을 중심으로 $n \times n$ 크기의 탐색창이 각각 설정되고 탐색창 내에 존재하는 심블로지 화소의 개수가 계산된다.

문자 패턴의 전체적인 밝기 상태와 관련된 결점을 인식하는데 이용되는 명암대비차 정보의 허용 범위는 식 4.3에 의해 설정된다. 여기에는 전체적인 특징 정보의 획득 시에 이용되는 명암대비차 정보의 경우와 동일하게 \bar{X} -관리도의 원리가 적용되고 β 의 값은 검사의 엄격도에 따라 설정된다.

$$CL_2 = (\mu_2 - \mu_1) - \beta \times \sqrt{\sigma_1 + \sigma_2} \quad (4.3)$$

여기에서

CL_2 : 문자 패턴 검사 영역의 전체적인 명암대비차 관리 한계선

μ_1, σ_1 : 문자 패턴 검사 영역 내의 배경 화소의 명암도의 평균치 및 분산

μ_2, σ_2 : 문자 패턴 검사 영역 내의 심블로지 화소의 명암도의 평균치 및 분산 이다.

문자 패턴의 세부 부분에 대한 결점 인식에 이용되는 명암대비차 정보의 허용 범위 설정에는 다음과 같은 방법이 이용된다. 먼저 시스템의 학습 단계에서 획득되는 세선화된 각 문자 패턴 화소의 좌표값을 대상 패턴에 적합하도록 보정시킨다. 다음에는 2.3.2절에서 기술한 바와 같이 보정된 각각의 좌표값을 중심으로 하는 $n \times n$ 크기의 탐색창 내의 화소들의 명암도 평균치가 산출되고, 식 4.4에 따라 허용 범위가 설정된다. γ 의 값은 검사의 엄격도에 따라 결정된다.

$$CL_3 = \mu_2 - \gamma \times \sigma_2 \quad (4.4)$$

여기에서

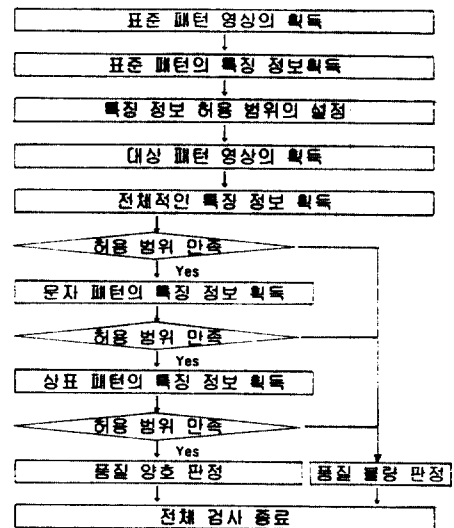
CL_3 : 문자 패턴 검사 영역 내의 세부 명암대비차 관리 한계선

μ_2, σ_2 : 문자 패턴 검사 영역 내의 심블로지 화소의 명암도 평균치와 분산 이다.

원형 비교법이 적용될 때 산출되는 상관 계수는 -1 에서 1 사이의 값을 가지는데 두 패턴간의 유사도가 높을수록 1 에 가까운 값을 가진다. 따라서 검사의 대상물의 특성과 검사의 엄격도에 따라 상관 계수에 대한 적절한 임계치를 설정하고 검사 수행 시에 산출되는 상관 계수가 설정된 임계치 이상의 값을 가지는 경우에만 품질이 양호한 것으로 판정되도록 한다.

4.2 종합적인 의사 결정의 절차

지금까지 본 논문에서 제안된 심블로지의 자동 시각 검사 방법에 따라 심블로지의 품질에 대한 종합적인 의사 결정을 내리는 절차를 요약하면 <그림 7>과 같다. 제안된 방



<그림 7> 심블로지 품질의 종합적인 의사 결정 절차

법은 크게 시스템의 학습 단계와 검사 적용 단계의 두 가지 단계를 거쳐 심볼로지의 검사를 수행하게 된다.

먼저 시스템의 학습 단계에서는 3.1절과 3.2절에서 기술된 바와 같이 품질이 양호한 심볼로지 표준 패턴의 영상으로부터 결점 인식에 필요한 특징 정보가 추출 규칙에 따라 획득되면서 각 패턴별로 특징 정보의 획득 지침이 수립된다. 검사 적용 단계에서는 시스템의 학습 단계에서 수립된 각 패턴별 특징 정보의 획득 지침에 따라 3.3절에서 기술된 획득 과정을 통해서 결점 인식에 필요한 특징 정보가 추출되고, 추출된 각각의 특징 정보들이 학습 단계에서 설정된 판정 기준과 비교됨으로써 심볼로지 품질에 대한 의사 결정이 이루어진다.

5. 적용 사례

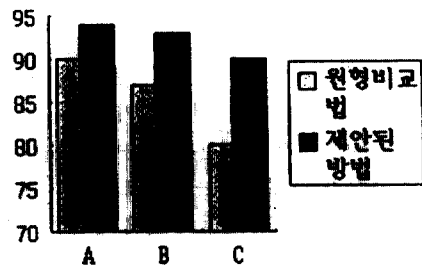
5.1 적용 시스템의 구성

본 논문에서 제안된 심볼로지의 자동 시각 검사 방법을 반도체 칩(chip)에 인쇄되어 있는 심볼로지의 검사에 적용한 사례를 소개한다. 적용 시스템은 영상 입력부와 영상처리 및 출력부로 구분된다. 영상 입력부는 카메라와 조명 장치로 구성되는데 25 mm Nikon 렌즈, 줌(Zoom) 렌즈를 장착한 소니(Sony)사의 XC-75 카메라와 60 W 백열등의 간접 조명 방법이 이용되었다. 영상 처리 및 출력부는 카메라에서 입력되는 영상을 저장하기 위한 프레임 그래버(Frame Grabber)에는 BitFlow사의 Raptor 모델이 이용되었고, 영상을 처리하는 주조정 컴퓨터로는 펜티엄 100Mz CPU 모델이 이용되었으며, 영상 처리한 후의 결과는 모니터 상에서 출력되도록 하였다. 시스템의 영상 처리 소프트웨어는 WATCOM C Ver.10 과 Raptor Library 를 이용하여 구현되었다.

5.2 적용 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 개선된 특징 정보의 추출과 학습 단계를 추가한 품질의 종합적 의사결정에 의한 결점 인식율의 향상을 측정하기 위해서 본 실험에서는 일 백개의 반도체 칩이 실험 샘플로 이용되었다. 또한 동일한 심볼로지 패턴 영상에 대해서 산업체에 주로 이용되는 기존의 단순한 검사 방법인 원형 비교법보다 본 논문에서 제안된 방법이

모두 적용되었을 때 얼마나 결점 인식율을 향상시키는가를 알기 위해 아래의 세 가지 경우에 실험을 했다. 즉, 대상 패턴의 위치 변동이 없는 경우와 회전 변환 없이 상, 하, 좌, 우로의 평행 이동이 일어난 경우, 그리고 4도 이하의 회전 변환이 일어난 경우에 대해서 각각 두 가지 방법을 적용시켰을 때의 결점 인식율은 <그림 8>와 같다. 또한, 검사를 수행하는 데에 원형 비교법의 경우에는 한 개의 반도체 칩을 검사하는데 평균 2초 이내에, 본 논문에서 제안된 방법은 평균 3초 이내의 시간이 소요되었다.



A : 위치 변동이 없는 경우 B : 평행 이동이 발생한 경우
C : 회전 변환이 발생한 경우

<그림 8> 원형 비교법과 제안된 방법의 결점 인식률 비교

<그림 8>에서와 같이 세 가지 경우에 대해서 모두 제안된 방법의 결점 인식율이 크게 향상된 결과를 보여주고 있다. 회전 변환 없는 평행 이동이 일어난 경우에는 평행 이동이 일어나지 않은 경우보다 본 제안된 방법이 더 효율적이었으며 특히 본 연구에서 제안한 방법들이 회전변환이 발생했을 때에 적용되었을 때에 특히 인식율의 차이가 두드러졌음을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제안된 방법에는 다음과 같은 문제점이 발생되었다.

심볼로지 패턴간의 간격이 좁게 인쇄된 경우와 기울어져 인쇄된 경우에는 각 패턴의 윤곽선이 중첩됨으로써 시스템의 학습 단계에서 문자 패턴의 검사 영역이 자동적으로 설정될 때에 인접한 패턴을 모두 포함하는 영역이 검사 영역으로 설정된다. 따라서 검사 영역의 크기가 커짐에 따라 검사 영역 내에서 획득되는 패턴 특징 정보의 정밀도가 낮아지고 이를 토대로 설정되는 판정 기준에 오차가 발생됨으로써 검사 결과의 오류를 가져오는 경우가 많았다. 또한,

대상물이 회전되었을 때, 회전 각도를 정확하게 탐지하여 대상 패턴의 영상에 적합하도록 보정된 검사 영역이 설정되더라도 설정된 검사 영역이 해당 패턴 전체를 포함하지 못하는 경우가 발생된다. 이에 따라 검사 영역 내에서 윤곽선의 개수나 면적과 같은 패턴의 형태에 대한 특징 정보들이 정확하게 획득되지 않으므로써 검사 결과의 오류를 가져오는 경우가 발생되었다.

그러나, 본 논문에서 제안된 방법은 대상물의 위치 변동이 없는 경우와 평행 이동이 일어난 경우에 있어서는 패턴의 작은 균열이나 끊김, 끝부분이 제대로 인쇄되지 않은 경우와 같은 세부적인 결점의 인식에 있어서 원형 비교법에 비해서 매우 높은 결점 인식율을 나타내고, 약간의 회전 변환이 일어나는 경우에 있어서도 심볼로지형 결점 인식율이 비교적 높으므로 실제 검사 라인에 적용될 경우에도 효과적인 검사를 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 검사를 수행하는 데에 걸리는 시간은 단순한 원형비교법보다 평균 일 초 정도가 더 소요되는 것으로 본 실험에서 나타났다. 이는 제안된 알고리즘들의 많은 단순한 계산 부분들은 이미 향상된 영상처리보드에서 하드웨어화 하여 제공하고 있어 순간적으로 많은 계산이 처리되므로 실제 적용은 큰 문제가 되지 않을 것이다.

6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 심볼로지의 육안 검사를 대체하고, 검사의 효율성과 검사 조건의 변화에 대한 적용성이 향상될 수 있도록 개선된, 패턴 특징 정보를 이용한 자동 시각 검사 방법이 제안되었다. 제안된 방법에서는 심볼로지 패턴의 특성에 따라 적합한 특징 정보를 획득하고 원형 비교법과 특징 비교법이 혼합한 방법이 적용됨으로써 단순한 원형 비교법보다 크게 향상된 결점 인식율을 기대할 수 있다. 특히 회전변환이 발생했을 때에 적용되었을 때에 특히 인식율의 차이가 두드러졌음을 알 수 있었다. 또한, 시간의 경과에 따라 변화하는 조명 조건에 대응하고 검사 결과의 정밀도를 향상시키기 위해서 검사하는 순간의 조명 상태를 반영한 자동 임계치 설정 방법이 이용되었고, 컨베이어를 통해 검사 시스템으로 이동되는 도중에 발생할 수 있는 검사 대상물의 위치 변동을 고려하여 결점 인식에 이용되는 특징 정보들이 획득되도록 함으로써 검사 환경의 변화에 유연하게 대처하고, 검사 조건의 변화가 검사 결과에 미칠

수 있는 영향이 최소화될 수 있도록 하였다.

추후에는 시스템 학습 단계의 효율성을 높이고, 시스템의 학습 단계에서 이용되는 표준 패턴의 선정에 따라서 발생하는 판정 기준의 오차를 줄이는 방안, 표준 패턴과 대상 패턴간의 영상 정렬의 정밀도를 더욱 향상시키는 방안, 검사 영역 자동 설정의 문제점을 해결하는 방안, 영상의 잡음(noise)이 검사 결과에 미치는 영향을 줄이는 방안에 대한 연구가 계속적으로 수행되어야 할 것이다. 한 예로 10도 이상의 큰 각도의 회전 변환이 발생했을 경우에는 제안된 검사 방법이 적용되어도 결점의 인식율이 60% 이하로 매우 낮게 나왔는데 이것은 큰 회전 변환이 발생한 경우 설정된 표준 패턴의 참조점을 탐지하는 데에 있어서 정밀도가 떨어지고 이에 따라 대상 패턴과 표준 패턴간의 영상 정렬의 오차로 인해서 결점의 인식율이 낮아지는 결과였으며 이러한 문제가 추후 연구되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 김효선, 이성기, 조석제, "칼라 영상을 이용한 에지 검출", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, 1994.
- [2] 이상경, "스펙트럴 분석 및 신경-유전자-퍼지 복합망을 이용한 이동, 크기 및 회전 변형에 무관한 패턴 인식", 고려대학교 대학원 박사 학위 논문, 1996.
- [3] 조현관, "비전을 이용한 인쇄 회로 기판의 자동검사 알고리즘", 고려대학교 대학원 석사 학위 논문, 1991.
- [4] 일본공학기술센터, 컴퓨터 화상처리 입문, 기전연구사, 1993.
- [5] 최형일, 컴퓨터 비전 입문, 홍릉과학출판사, 1991.
- [6] Y. S. Chen, and W. H. Hsu, "A Modified Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns", Pattern Recognition Letters, Vol.7, pp.99-106, 1988.
- [7] R. T. Chin, and C. A. Harlow, "Automated Visual Inspection: A Survey", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-4, No.6, pp.557-573, 1982.
- [8] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Company Inc., 1992.
- [9] R. M. Haralick, and L. G. Shapro, Computer and Robot Vision, Addison-Wesley Company Inc., 1993.
- [10] R. M. Haralick, S. R. Sternberg, and X. Zhuang,

“Image Analysis Using Mathematical Morphology”, IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-9, No.6, pp.523-550, 1987.

[11] S. H. Y. Hung, and T. Kasvand, “Critical Points on A Perfectly 8- or 6-connected Thin Binary Line”, Pattern Recognition, Vol.16, No.3, pp.297-306, 1983.

[12] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck, Machine Vision, McGraw-Hill Inc., 1995.

[13] L. Lam, S. W. Lee, and C. Y. Suen, “Thinning Methodologies - A Comprehensive Survey”, IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., Vol.PAMI-14, No. 9, pp.869-885, 1992.

[14] N. Ostu, “A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram”, IEEE Trans. Systems. Man Cybernet., SMC-8, pp.62-66, 1978.

[15] W. K. Pratt, Digital Image Processing, 2nd ed, John Wiely & Sons Inc., 1991.

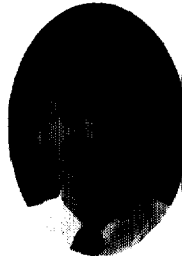
[16] P. K. Sahoo, S. Soltani, A. K. Wong, and Y. C. Chen, “A Survey of Thresholding Techniques”, Computer Vision Graphics & Image Processing, Vol.41, pp. 233-260, 1988.

[17] C. Torras, Computer Vision Theory and Industrial Application, Springer-Verlag, 1992.



황정목

고려대학교 산업공학과에서 학사(1994) 석사(1996)를 마치고 현재 LG전자 생산기술원 근무중이다. 주요 관심분야는 컴퓨터 비전시스템, 품질관리, 인공지능 등이다.



장동식

현재 고려대학교 산업공학과 부교수로 재직중이며, 고려대학교 산업공학과에서 공학사(1979), 텍사스 주립 대에서 산업공학석사(1985), 텍사스 A&M에서 공학박사(1988)를 취득. 주요 관심분야는 컴퓨터 비전시스템, 공장 자동화, 기술관리 등이다.