

이동, 배율, 회전에 무관한 자동 검사 장치 개발에 관한 연구

오 춘 석[†] · 임 중 설^{††}

요 약

통상 자동 검사 장치에 있어 대상체가 기준점에서 이동되거나, 크기가 일정한 배율로 확대 축소되거나, 회전되어 있을 때 대상체를 인식 판별하는데 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 이동, 배율, 회전에 무관한 검사 장치 구현을 위해 로그 적분 변환을 정의하고 그의 특성을 고찰하여 기존의 검사 방법과 비교한다. 로그 적분 변환의 주요한 특성인 배율과 회전에 무관하게 대상체를 인식할 수 있는 특성을 이용하므로 기존 시스템에서 회전 정보 추출을 위한 노력을 감쇄시킬 수 있다. 이동, 배율 및 회전된 물체의 불량 검사에 새로운 방법으로 로그 적분 변환의 적용을 제안하고 이에 따른 인식률 실험을 수행한다. 물론 기존 시스템에서는 배율과 회전에 무관한 조건을 동시에 만족시킬 수 없었다. 불량 검사 실험 결과에 있어 기존의 신경망을 이용한 기존 시스템에 비해 최적의 수준에는 도달하지는 못했지만 로그 적분 변환이 배율과 회전을 동시에 충족시킬 수 있는 변환으로서 사용 가능성을 얻을 수 있었다.

A Study on Translation-, Magnification- and Rotation-Invariant Automatic Inspection System Development

ChoonSuk Oh[†] · Jong-Seul Lim^{††}

ABSTRACT

A difficulty of the visual inspection for translated, magnified and rotated objects exists owing to the limitation of recognition rate. In this paper, we perform to define Integral Logarithm Transform(ILT), to consider its characteristic for implementation of Translation-, Magnification- and Rotation-invariant inspection system, and to compare with other methods in inspection error rate. By using magnification and rotation invariance properties of ILT, it makes easier than other methods to extract the rotation degree. The new method employs the ILT for the good/bad inspection of translated, magnified and rotated objects and experiment is performed to achieve translation, magnification and rotation invariance. In other methods both magnification and rotation invariance can't be available. As the result of the experiment, it is not better than the self organizing map in the improvement of recognition rate, but it shows us the possibility to be used as a tool for the good/bad inspection system.

1. 서 론

전자 산업과 컴퓨터 산업의 급속한 발전은 인간의

힘을 빌리지 않고 공장의 모든 부분을 기계와 로봇에 의해 동작시키려는 공장 자동화(FA)와 CIM(Computer Integrated Manufacturing)에 대한 연구가 국내외의 많은 회사와 연구소 등지에서 활발히 진행 중이다.

그 중의 한 분야가 자동 검사 장치의 개발이다. 특히 수작업에 의한 제품의 불량 상태를 검출해 내는 일은 작업의 단순성으로 인한 피로와 지루함 때문에 선

* 이 논문은 1996년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 종신회원 : 선문대학교 전자정보통신공학부 교수

†† 성회원 : 선문대학교 전자정보통신공학부 교수

논문접수 : 1998년 10월 28일, 심사완료 : 1999년 2월 11일

범과성에서 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 이러한 자동 검사 장치의 필요성이 많은 분야에서 요구되고 있으며, 그에 따른 많은 연구가 진행 중이다. 이러한 자동 검사 장치는 제조 공정을 물론 배합, 관찰 등을 위한 의료 진단용, 씨앗의 검사 등을 위한 농업용, 건물의 안전도 검사용 등 많은 분야에서 검사 자동화를 필요로 하고있다. 보다 넓은 분야에 쉽게 적용하고 신속하게 정확한 결과를 얻을 수 있는 시스템의 개발은 매우 의미가 있는 일이다. 외국의 경우는 수 십 년 전부터 다양한 용도로 사용할 수 있는 자동 검사 장치의 연구가 많이 진행되어 왔으며 IMPACQ사의 HawkEye Mark I 시스템은 이러한 목적을 위해 제작되어 현재 시판 중이다.

이런 시스템을 개발하기 위해서는 카메라로부터 얻은 영상정보로부터 물체의 불량을 구별하기 위해 각 영상의 기본적인 외형이나 특성 나타내는 특징들을 추출하여야 한다. 그러한 특징지에는 각 화소(pixel)들의 영역의 휘도(luminance), 음영값(gray scale), 재질(texture)과 같은 자연적인 특징치가 있고, 음영의 분포도, 공간 주파수 스펙트럼 등의 인위적인 것들이 있다. 여러 가지 용도에 맞게 영상의 전체적인 특징을 추출하여 처리할 수 있고 물체의 유사성 정도를 쉽게 찾아낼 수 있는 특징 추출 방법으로 Fourier 변환을 이용하는 방법[1], cross-correlation을 이용한 방법[2], moment을 이용하는 방법[3] 등이 있다. 기존의 방법과는 달리 새로운 방법인 ILT(Integrated Logarithmic Transform) [4] 이용하여 자동 검사 장치 시스템을 개발하려 한다.

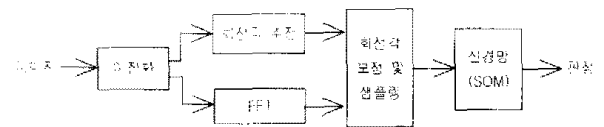
그런데 기존의 검사 장치들의 문제점으로 물체의 이동, 배율 및 회전 변화에 무관한 인식을 하기가 어렵다는 것이다. 물론 이것을 해결하기 위한 방법으로 많은 방법들이 제시되었다. 일반적으로는 이동, 배율, 회전에 무관한 특징을 사용하는 방법으로는 moment, Fourier 시술사[5], complex log mapping[6] 등이 있다. 이 방법들은 256가지의 음영값 영상에 직접 적용이 불가능하여 이진화를 통한 방법이 가능하나 이로 인한 오차 및 적용에 어려움이 있다. 또한 배율 정보나 회전 정보를 별도로 구하는 방법으로는 검사의 한계성을 갖게 되므로 범용의 목적에 사용하기 위해 크기 정보를 정규화하고, 회전 정보를 찾아서 회전각을 보정해주는 방법과는 달리 회전각을 얻지 않고도 회전 변화에 무관한 인식을 할 수 있는 검사장치를 개발하려고 하는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 기존 시스템의 검사 방법

2.1 기존 검사 시스템[7]

일 상에서 언급한 바와 같이 물체의 불량을 자동으로 판정하는 시스템은 제조 공장의 부품의 불량 판별이나, 과일 혹은 생선의 등급판별, 백혈구의 유무 등의 인식 및 판정을 머신 비전 기술을 이용해서 인간이 아닌 기계에 의해 자동화하기 위해 개발되는 시스템이다.

(그림 1)처럼 일반적인 검사 방법은 대상 물체의 회전 각도를 보정하여 인식하는 방법을 사용하고 있다. 학습시에 학습하고자 하는 물체로부터 그 물체의 기준각을 구해서 검사시에 회전각을 구하는 알고리즘으로부터 검사하려는 물체가 기준각에 대해 얼마나 회전되었는지를 계산해서 특징치를 정하기 전에 이를 보상하는 방법을 택했다.



(그림 1) 기존의 신경망을 이용한 검사시스템
(Fig. 1) A inspection system by using SOM

물체의 회전각은 크게 두 가지로 산출되는데, 첫째가 인식하려는 영상을 이진화 한 후 이진영상에 모멘트를 구해 물체의 중심점을 찾는다. 이는 대상체의 위치 이동에 무관한 인식이 가능토록 수행시켜 준다. 그리고 물체를 포함하는 최소의 직사각형을 구한다. 물체의 중심으로부터 대각선 방향으로 가장 먼 두 개의 모서리 화소를 찾아내어 그점과 중심점을 이은 직선이 수평방향과 이루는 각도를 계산하여 물체의 회전각으로 삼는다. 둘째 방법은 어떤 영상이 θ 만큼 회전되면 그 영상의 FFT도 θ 만큼 회전한다는 성질을 이용하는데 적외표표제를 극좌표계로 변환하면 회전량이 위치 이동량으로 바뀌어 직므로 기준치와 상관관계에 의해 쉽게 회전(rotation)량을 산출할 수 있다.

이 후 획득한 이미지의 FFT를 취하여 회전각 θ 에 대해서 θ 만큼 회전시켜서 각도 보정을 한 후 신경망 Self-Organizing Map(SOM[8,9,10,11]의 입력으로 사용되는 특징치 벡터의 차수만큼 데이터를 샘플링한다. SOM의 입력 특징치 선택시 샘플링 방법은 정보의 손실을 방지하기 위해 FFT 이미지를 일정한 윈도우 크기로 분할 한 후 윈도우 내의 화소들의 평균치로 정

한다. FFT와 샘플링을 거쳐서 얻어진 특징치 벡터들을 SOM을 학습시키는 알고리즘을 사용하여 학습을 수행시킨다.

2.2 기존 시스템의 문제점

기존의 검사 시스템에서 사용하는 회전각 보정 방법은 아래와 같은 몇 가지의 문제점을 가지므로 일반성이 부족하다. 첫째로 이진화 값의 설정치에 따라 결과가 달라질 수 있다. 회전각을 구하기 위해서는 이진화 과정을 거쳐야 하는데 그 값의 선택이 회전각의 정확도에 상당한 영향을 미치게 되기 때문이다. 둘째 이 방법에서는 불량 인식에 있어서 이진화하여 얻어진 정보만 사용하므로 물체의 모든 정보를 사용한 것이 아니고 대상체의 필요 부분만 불량 판정 한 것이다. 즉 특정 부분만 불량 시험을 한 것이다. 셋째, 만일 불량품의 경우 가장자리 부분이 훼손된 경우는 회전각을 찾는 것이 불가능하므로 정확한 각도를 보정하여 인식할 수 없게 된다. 불량인데 잘못 구해진 회전각에 의해서 양품으로 잘못 판정 될 수 있다. 넷째, 배경의 대칭성으로 인해 이런 방법으로는 회전각을 구할 수가 없다. 이와 같은 이유로 회전에 무관한 패턴을 불량 판정하는 기존시스템에 문제가 있다.

3. 새로 제안된 검사 시스템

2절에서 언급한 회전각 보정의 문제점들을 해소하기 위한 방안으로 로그 적분 변환(Integral Logarithmic Transform)을 제안한다. ILT는 대상체의 회전변화에 무관한 특성을 갖고 있어 회전각을 찾을 필요가 없다. 또한 ILT의 특성 중에 대상체 크기에 무관하므로 영상의 크기가 일정 비율로 확대 축소되어도 이에 무관하게 패턴의 불량을 판별할 수 있다. 그럼 우선 ILT에 대한 정의 및 특성을 고찰하기로 한다.

3.1 로그 적분 변환(ILT)

다음 식 (1)과 같이 로그 적분 변환을 정의 할 수 있다.

[정의 1] 실수의 1차 함수 $f(x)$ 의 로그 적분 변환은,

$$ILT[f(x)] = F(y) = \int_{\frac{\epsilon}{y}}^{x_0} \frac{f(xy)}{x} dx \quad (1)$$

이 변환은 1차 실수 함수 $f(x)$ 에 대해 선형이며, $x=0$ 에서 극점을 갖지 않도록 구간을 제한할 필요가 있다. 특히 2차 함수의 영상 데이터의 경우는 항상 유한 구간에서만 정의되기 때문에 단지 ϵ 만큼 원점으로부터 이동시키면 된다. 통상은 ϵ 을 한 화소로 정하면 편리하다.

또한 로그 적분 변환의 중요한 특성이 다음과 같이 정리된다.

[정리 1] 1차 실수 함수 $f(x)$ 의 비례 배율된 함수 $f(mx)$ 의 로그 적분 변환과 $f(x)$ 의 로그 적분 변환과 같다.

(증명) $\tilde{f}(x)$ 를 $f(x)$ 의 비례배율 함수로 즉, $\tilde{f}(x) = f(mx)$ 로 놓으면 $x > x_0$ 혹은 $x < \epsilon$ 범위 내에서 $f(x) = 0$ 이고 $x > \frac{x_0}{m}$ 혹은 $x < \frac{\epsilon}{m}$ 범위 내에서 $1\tilde{f}(x) = f(mx) = 0$ 이다. 따라서 $\tilde{f}(x)$ 의 로그 적분 변환 $\tilde{F}(y)$ 는 다음과 같이 전개가 가능하다.

$$\tilde{F}(y) = \int_{\frac{\epsilon}{my}}^{\frac{x_0}{m}} \frac{\tilde{f}(xy)}{x} dx = \int_{\frac{\epsilon}{my}}^{\frac{x_0}{m}} \frac{f(mxy)}{x} dx \quad (2)$$

$$-\frac{\epsilon}{x_0} \leq y \leq 1$$

여기에서 y 의 하한경계 범위는 여전히 $\frac{\epsilon}{x_0}$ 이다. 왜냐하면, 상한 경계점과 하한 경계점의 비율이 $\frac{\epsilon}{m} / \frac{x_0}{m}$ 이기 때문이다. 그리고 $t = mx$ 로 변수를 대치하면 식 (2)는 다음과 같이 된다.

$$\tilde{F}(y) = \int_{\frac{\epsilon}{y}}^{x_0} \frac{\tilde{f}(ty)}{t} dt = F(y) \quad (3)$$

따라서 $f(x)$ 와 비례 배율 된 $f(mx)$ 데이터에 각각 로그 적분 변환 결과가 동일함을 보여준다. 또한 로그 적분 변환을 2차 실수 함수 $f(x, w)$ 에도 적용하면 다음과 같이 정의되어 화상처리에 이 변환을 적용할 수 있다.

[정의 2] 실수인 2차 함수 $f(x, w)$ 에 [정의 1]에서와 같이 로그 적분 변환을 하면 다음과 같다.

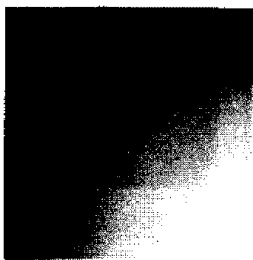
$$F(y, z) = \int_{\frac{\epsilon}{z}}^{w_0} \int_{\frac{\epsilon}{y}}^{x_0} \frac{f(xy, wz)}{xw} dx dw,$$

$$\frac{\epsilon}{x_0} \leq y \leq 1, \frac{\epsilon}{w_0} \leq z \leq 1 \quad (4)$$

2차 함수 보다 고차 함수에 대한 로그 적분 변환도 [정의 2]와 유사한 형태를 갖는다. 또한 [정리 1]에서 처럼 고차함수도 비례 배율에 무관한 로그 적분의 결과를 갖는다. 이것의 증명은 [정리 1]을 일반화함으로 쉽게 구해진다. 실제로 (그림 2)에 로그 적분 변환을 적용하니 (그림 3)과 같은 결과가 얻어진다. 변환 결과는 처음에는 어두운 화소값이 점차로 누적되면서 x축과 y축으로 단조 증가하여 (그림 3)처럼 밝은 화소값을 갖게 된다. 물론 대상체의 밝기나 화소값의 구성에 따라 증가량이 달라지는 것을 위의 결과를 통해서 알 수 있다. 이는 마치 2차원 확률 밀도 함수의 누적으로 인한 확률값 분포처럼 이해할 수 있다.



(그림 2) 시험 영상
(Fig. 2) Test image



(그림 3) 그림 2의 영상을 로그 적분 변환 한 결과
(Fig. 3) ILT of test image in Fig. 2

어떤 검사하려는 대상체의 크기가 확대나 축소되는 경우와 대상체가 어떤 축을 중심으로 회전되어 있는 경우에 불량 판별에 어려워진다. 이런 경우에 상기 조건을 만족할 수 있는 로그 적분 변환은 우선 주어진 2차 실수 함수 $f(x, w)$ 를 극좌표계로 전환하면 식 (5)와 같다.

$$f_p(r, \theta) = f(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (5)$$

$f_p(r, \theta)$ 의 로그 적분 변환을 취하면 다음처럼 정의

된다.

$$F_p(y, z) = \int_0^{2\pi} \int_{\frac{\epsilon}{y}}^1 \frac{f_p(ry, \theta z)}{r^2} r dr d\theta, \quad \frac{\rho}{r_0} \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1 \quad (6)$$

만약 m 배 만큼, $\Delta\theta$ 만큼 변형된 극좌표 영상이 주어 진다면

$$\widehat{f}_p(r, \theta) = f_p(mr, \theta - \Delta\theta) \quad (7)$$

위 식 (7)을 식 (6)에 대입하여 풀고, $t = mx, \alpha = \theta - \Delta\theta$ 로 변수 치환해 대입하면

$$\widehat{F}_p(y, z) = F_p(y, z) \quad (8)$$

을 얻게 된다. 따라서 배율과 회전에 무관한 로그 적분 변환의 특성을 갖는다.

3.2 로그 적분 역변환

역변환의 존재는 로그 적분 변환이 완전한 변환으로서 타당성을 밝혀 준다. 만약 역변환을 유도할 수 없다면 변환의 용도가 극히 제한을 받게 된다. 다음 [정리 3]에서 역변환을 유도해 본다.

[정리 3] $F(y)$ 가 $f(x)$ 의 로그 적분 변환이라면 역변환은 다음과 같이 주어진다.

$$f(x) = \frac{x_0}{x} F\left(\frac{x_0}{x}\right), \quad \epsilon \leq x \leq x_0 \quad (9)$$

여기에 $F(\cdot)$ 는 함수 $F(\cdot)$ 의 미분을 의미한다.

(증명) (정의 1)에서 식 (1)을 $\frac{d}{dy}$ 로 양변을 미분하면 다음과 같다.

$$F'(y) = \int_{\frac{\epsilon}{y}}^{x_0} f(xy) dx - \frac{f(\epsilon)}{y} \quad (10)$$

유한구간에서만 값이 존재하므로 $f(\epsilon) = 0$ 이다. 따라서 적분항만 남아 xy 를 새로운 변수 t 로 대체한다면

$$F'(y) = \frac{1}{y} \int_{\epsilon}^{x_0 y} f(t) dt = \frac{1}{y} [f(x_0 y) - f(\epsilon)] \quad (11)$$

$f(\epsilon) = 0$ 와 $x = x_0 y$ 로 변수 치환을 하면 식 (9)가 유도 된다.

3.3 ILT를 이용한 검사 시스템

로그 적분 변환에서 영상의 크기 변화에 무관한 특성과 회전 변화에 무관한 특성을 이용하여 대상체의 불량량[2]을 판별하게 된다. 먼저 획득한 영상이 x, y축으로 이동(translation)에 무관하게 인식하기 위해 우선 획득된 영상을 이진화 하고 모멘트를 취하여 대상체의 무게 중심을 산출한다. 위 과정은 보통의 경우 생략이 가능하다. 왜냐하면 검사 과정에 있어 일정한 위치에 검사 대상을 이동하고 그 위에 고정된 카메라를 이용해 영상을 획득하므로 대상의 이동은 불변으로 가정할 수 있다. 따라서 이진화로 인한 인식 오차를 최소화 할 수 있다. 대상체의 무게 중심을 원점으로 하여 극좌표계로 변환시켜야 하는데 모든 좌표들이 화소 단위로 계산되는 정수 형태이므로 오차를 보상해 줄 수 있어야 한다. 이를 위해 극좌표 변환시 실제 좌표값을 고려해 주기 위하여 산술적으로 대응하는 좌표값을 구하여 구해진 좌표값과 그 좌표값에 이웃하는 4개의 화소에 대해서 계산된 좌표값과 화소의 중심과의 거리를 구한다. 이 거리의 역을 구해서 그 값의 비를 각 화소의 확률로 삼았다. (그림 2)처럼 산술적으로 얻은 좌표값에 이웃하는 4개의 화소의 값에 그 확률을 각각 곱해서 이것을 더하여 그 합을 우리가 원하는 좌표의 화소값으로 한다.

$$P_d[O] = \sum_{i=1}^4 p_i P_d[i], \quad i=1,2,3,4 \quad (12)$$

여기에 d_i 는 극좌표 화소 O로부터 이웃하는 4개의 화소 $P_d[i]$ 까지 거리, $P_d[i]$ 는 극좌표의 i번째 화소값, $p_i = d_i / \sum_{i=1}^4 d_i$ 는 거리 비율 확률값이다.

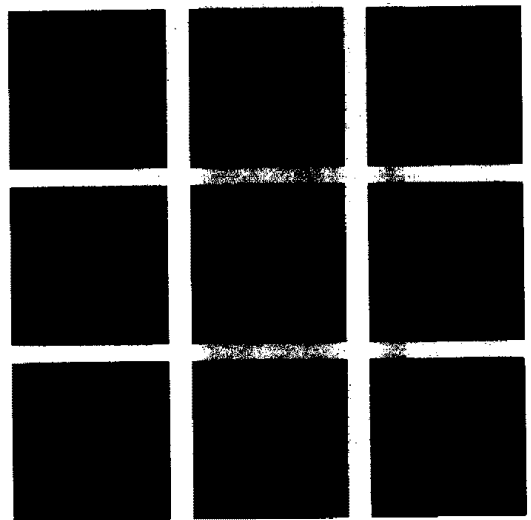
극좌표 영상 데이터에 식 (1)에서처럼 로그 적분 변환을 취하면 (그림 3)에서처럼 직분에 의해 누적 분포도로 표현되는데 이는 대상체의 밝기나 화소값의 구성 분포에 따라 증가량이 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 이 분포도의 변화량을 비교 분석하기 위해 정상 상태 영상(prototype)의 ILT와 상호 상관관계를 계산하기 위해 우선 로그 직분 변환의 패턴 정합을 수행한다. 해당 임계지와 비교 판단하여 물체의 불량을 검사하게 된다.

4. 실험 결과 및 검토

240MHz의 펜티엄 PC에서 삼성 비전보드인 MVB 02를 장착하고 Sony CCD 카메라를 이용해 샘플 병

두쌍의 영상을 (그림 4)처럼 획득하여 상기 알고리즘을 이용해 실험하였다. 시험용 샘플로 양품 2개와 불량품 6개를 사용하였다. 불량 판별에 영상 크기가 무관한지를 시험하기 위해 1/2 배, 2배로 원 영상이 축소 확대되었고, 회전에 무관한지 시험하기 위해 본래 샘플을 20° 간격으로 회전하여 총 시험 샘플을 288개를 얻을 수 있었다. 불량품은 두쌍의 라벨 인쇄에 있어 결함을 지니고 있고 실험을 위해 이 영상이 축소 확대되거나 회전을 통해 다양한 환경의 샘플들을 획득하여 로그 적분 변환을 적용하였다.

물론 이 샘플들로 실험을 수행하는데 완벽한 조건을 갖추고 있지는 않지만 로그 적분 변환을 검증하는데는 필요충분 조건을 갖추고 있다. 본 논문에서는 카메라로부터 획득한 영상을 파일로 저장하여 물체의 불량 검사를 수행했다.



(그림 4) 변형된 시험용 샘플
(Fig. 4) Distorted test samples

샘플에 대해서 검사를 한 결과는 <표 1>로 요약되었다. 샘플을 하나 검사하는데 걸리는 시간은 약 0.5초 가량 걸렸다. 우선 실험 결과를 분석하여 보면 84.37%의 성공 인식률로 90% 미만의 좀 미흡한 결과를 보이고 있다. 이는 기존의 신경망을 이용한 SOM 방식의 92.36% 인식률에 비해 많이 뒤지고 있다. 또한 ILT 시스템에서 양품의 인식보다는 불량품의 인식이 약 8% 가량 뒤지는 것을 알 수 있다. 양품의 인식에도 오인식률이 존재하는 원인에 대해 분석을 수행하여 본 결과 우선 로그 적분 변환의 단점으로 정의된 식 (4)에

서 부분 간의 값을 얻어서부터 시작하지 못하고 항상 유한 구간에서만 정의되기 때문에 단지 ϵ 만큼 원점으로 부터 이동시켜 ϵ 을 한 화소로 정하면 여기에 오차를 수반하게 된다. 두 번째로 회전에 불변하는 결과를 얻기 위해서 우선 직교좌표계에서 극좌표계로 변환하는 과정에 식 (12)와 같은 보간(interpolation)을 거치므로 정확한 화소값을 유지할 수 없게 된다. 셋째로 로그적분 변환의 결과치를 비교하는 과정에 있어 분포도의 변화를 검색하는 방법은 기울기의 변화에 대한 정합의 방법으로는 한계의 범위를 갖게 되므로 제약된 범위의 인식률을 갖게 된다. 넷째로 확대 축소된 영상은 본 영상의 어떤 화소를 중심으로 주변의 화소의 평균값으로 정의되므로 로그 적분 변환에 이상적인 이론적에 근접할 수 없게 된다.

상기에 의한 원인으로 만족스런 결과를 얻는데는 미흡했지만 로그적분 변환의 새로운 응용 범위를 찾거나 추후 보완을 통해 이동, 배율, 확대에 의한 변형된 물체를 인식할 수 있는 또 다른 방법의 가능성을 보여 주었다.

<표 1> 기존 시스템과 ILT 시스템의 실험 결과 비교
(Table 1) Comparison of conventional systems and ILT systems

시스템 샘플	기존시스템			ILT 시스템		
	정관	오류	인식률	정관	오류	인식률
양 품	70	2	97.22%	65	7	90.27%
불량품	196	20	92.11%	178	38	82.40%
총 계	266	22	92.36%	243	45	84.37%

5. 결 론

본 논문의 목적이 이동, 배율 및 회전된 물체의 불량 검사를 하는 방법을 제안하는 것이었다. 이런 조건을 만족시키는 검사 시스템 개발을 위해 새로 제안된 방법은 기존의 검사 시스템과는 달리 물체의 확대나 축소에도 적용이 가능하였다. 이는 로그 적분 변환(ILT)이 지니고 있는 특성으로서 얻어진다. 또한 물체의 중심에 대해서 극좌표 변환으로 이동에 무관한 특성이 가능했고 이 극 좌표 변환이 그대로 로그 적분에 이용되므로 편리하게 회전에 무관한 특성을 이룰 수 있었다. 특히 기존의 변환 중에서 배율과 회전의 변화에 무관하게 인식이 가능토록 수행되는 변환이 없었으

나 본 논문을 통해 로그 적분 변환이 갖는 이동, 회전, 배율과 회전에 무관한 특성들이 증명되었다.

향후 연구로 가능한 시스템은 본 알고리즘을 광화계를 사용하여 구현할 수 있다면 검사 처리 시간을 단축할 수 있다. 따라서 극좌표 변환과 로그 적분 변환이 정확하게 처리가 되도록 연구하고 이를 복합적 구성으로 디지털 컴퓨터와 연계시켜 검사시스템을 구성한다면 실시간에 처리가 가능하며 연구 결과에 있어서도 변환에서 발생하는 오차를 줄일 수 있어 인식률 향상을 가져올 수 있다. 또 다른 방법으로 한 대의 카메라로 처리하기 보다 동시에 두 대의 카메라를 사용하거나 영상 처리시 한 번에 여러 개의 이미지를 동시에 획득해 처리하는 방법으로 본 연구 결과의 향상이 가능할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Sing Tze Bow, *Pattern Recognition and Image Preprocessing*, Dekker, Inc., pp.163-191, 1992.
- [2] William K. Pratt, *Digital Image Processing*, 2nd edition, John Wiley and Sons, pp.651-645, 1992.
- [3] M. K. Hu, "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants," *IRE Trans. Information Theory*, IT 8, No.2, pp.179-187, Feb., 1962.
- [4] B. Roy Frieden and Choonsuk Oh, "Integrated Logarithmic Transforms," Theory and Applications, *Applied Optics*, Vol.1, No.8, pp.1138-1145, Mar., 1992.
- [5] A. K. Jain, *Fundamental of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.
- [6] R. A. Messner and H. H. Szu, "An Image Processing Architecture for Real Time Generation of Scale and Rotation Invariant Patterns," *Computer Vision Graphics and Image Processing*, Vol.31, pp.50-66, 1985.
- [7] 장현우, "이동 및 회전된 물체의 양분 검사 시스템에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1994.
- [8] T. Kohonen, "Self-organized formation of topographically correct feature maps," *Biol. Cybern.*, Vol.43, pp.59-69, 1982.
- [9] T. Masters, *Practical Neural Network Recipes*

in C++, Academic Press, 1993.

- [10] E. Gosc, R. Johnsonbaugh and S. Jost, *Pattern Recognition and Image Analysis*, Prentice Hall, 1996.
- [11] A. Pandya and R. Macy, *Pattern Recognition with Neural Networks in C++*, CRC Press, 1995.
- [12] B. G. Batchlor, *Automated Visual Inspection*, IFS Ltd., 1985.



오 춘 석

e-mail : csch@omega.sunmoon.ac.kr
 1980년 서강대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1986년 Marquette University 컴퓨터공학과(석사)
 1992년 University of Arizona 컴퓨터공학과(박사)

1980년~1993년 전자통신연구원 선임연구원
 1993년~현재 선문대학교 전자정보통신공학부 교수
 관심분야 : 화상처리, 자동검사, 광학시스템, 신호처리



임 종 설

e-mail : jlim@omega.sunmoon.ac.kr
 1979년 서울대학교 공과대학(학사)
 1983년 Univ. of Cincinnati 산업공학과(공학석사)
 1986년 Polytechnic University Operations Research(공학박사)

1986년~1991년 AT&T 벨연구소 이동통신시스템 개발 분야 책임연구원

1991년~1993년 한국이동통신 책임연구원

1993년~현재 선문대학교 전자정보통신공학부 교수

관심분야 : 이동통신, 데이터통신, 신호처리