

Line Scan Camera를 이용한 검사 시스템에서의 새로운 영상 처리 알고리즘

Development of Improved Image Processing Algorithms for an Automated Inspection System Using Line Scan Cameras

장 동 식, 이 만 희, 부 창 완

(Dong-Sik Jang, Man-Hee Lee and Chang-Wan Bou)

Abstract : A real-time inspection system is developed using line scan cameras. Several improved algorithms are proposed for real-time detection of defects in this automated inspection system. The major improved algorithms include the preprocessing, the threshold decision, and the clustering algorithms. The preprocessing algorithms are for exact binarization and the threshold decision algorithm is for fast detection of defects in 1-D binary images. The clustering algorithm is also developed for fast classifying of the defects. The system is applied to PCBs(Printed Circuit Boards) inspection. The typical defects in PCBs are pits, dent, wrinkle, scratch, and black spots. The results show that most defects are detected and classified successfully.

Keywords : computer vision system, inspection, image processing

I. 서론

검사는 검사 대상물이 주어진 조건들에서 벗어나는지를 판단하는 품질관리 과정이다. 이러한 검사는 산업현장에서 생산된 제품의 품질과 신뢰성이 유지되는 것을 보증하기 위해서 사용되고 있다. 과거에는 산업 현장에서의 검사가 대부분 육안에 의한 샘플링검사였다. 몇몇 실험에서는 육안 검사가 작업자의 피로도, 검사 작업의 일관성 부재, 검사 비용 등의 문제점 때문에 전수 검사보다 샘플링검사가 정확하다는 결론을 내리고 있다[1]. 그러나 하나의 불량이라도 허용할 수 없는 제품을 검사하고자 하는 경우에는 전수 검사가 불가피하다. 또한 많은 생산자들은 제품의 경쟁력 강화를 위하여 소비자 위험을 줄일 수 있는 전수 검사를 필요로 한다. 따라서 컴퓨터비전에 의한 자동 시각 검사의 필요성이 대두되었다.

컴퓨터비전을 이용한 자동 시각 검사 과정은 영상 획득, 획득된 영상 정보의 처리, 처리된 영상 정보 분석의 세 가지 과정으로 이루어져 있다. 이중 영상 획득 방법은 영상 획득 장치인 카메라의 종류에 따라서 두 가지로 나누어진다. 즉, CCD(Charge coupled device) 소자가 2차원으로 배열되어 있는 에어리어(Area) 카메라에 의한 영상 획득 방법, 그리고 소자가 한 줄로 배열되어 있는 라인스캔(Line scan) 카메라에 의한 영상 획득 방법으로 나누어진다. 이 두 가지 획득장치중에서 에어리어 카메라는 한번의 노출로 쉽게 2차원 영상이 획득될 수 있고, 쉽게 위치를 정할 수 있어서 다양한 영상이 간편하게 획득될 수 있다는 장점이 있다[2].

그러나 에어리어 카메라에 의한 영상 획득 방법은 방대한 데이터 량과 영상 획득 시의 흔들림(Blurring), 해상도의 한계에 의한 검사 영역의 제한, 검사 흐름의 정지에 의한 검사 속도의 저하 등의 문제점들을 안고 있다[3]. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 고해상도, 빠른 영상획

득속도, 저 잡음, 균일한 영상의 획득, 무한대 길이의 영상 획득 가능 등의 장점을 가진 라인스캔 카메라를 사용하여 영상을 획득하는 방법이 사용되게 되었다[2].

그런데 라인스캔카메라를 이용한 기존의 검사 시스템에서는 검사 대상의 전체 영상을 획득하여 메모리에 저장한 후 저장된 이차원 영상을 처리하는 방식이 사용됨으로써 다음과 같은 문제점이 발생되었다.

첫째, 검사 대상물이 큰 경우에 메모리의 한계 문제가 발생된다.

둘째, 일차원 영상을 한 줄씩 획득하면서 처리하는 것이 아니라 저장해 놓은 영상에 이차원 영상 처리 알고리즘이 적용됨으로써 검사 속도가 저하된다.

셋째, 영상을 저장하는 동안에는 처리를 하지 않기 때문에 검사가 비효율적으로 이루어진다.

본 연구에서는 상기 문제점들의 해결을 위해서 검사 대상물의 영상을 획득하면서 이진화하고, 결점 정보를 추출하는 실시간 영상처리 알고리즘이 제안된다. 이 알고리즘은 획득되는 일차원 영상의 불 균일한 명암도 분포를 보정하여 이진화가 정확하게 수행될 수 있도록 하는 영상 보정 알고리즘과 구간별임계치를 이용한 이진화 알고리즘, 그리고 추출된 결점 정보를 이용한 실시간 균집화 알고리즘으로 구성되어 있다.

II. 일차원 영상

본 절에서는 라인스캔 카메라를 이용하여 획득되는 일차원 영상의 특성과 그 특성에 영향을 주는 외부 요인들에 대하여 서술한다.

1. 획득되는 일차원 영상의 특성

라인스캔 카메라에 의하여 획득되는 일차원 영상은 중심부는 밝고 주변부로 갈수록 어두워지는 불 균일한 명암도 분포를 가진다. 이러한 일차원 영상의 명암도 분포가 그림 1에 바차트(Bar chart)로 나타나 있다. 그림 1에서 n 화소를 가진 라인스캔 CCD의 x 축은 0부터 n 까지로 이루어져 있으며, y 축은 x 축위치의 소자에서 획득된 명암도를 나타낸다. 그리고 바차트의 흰 부분이 명암도를 나타낸다. 그림 1과 같이 일차원 영상의 명암도 분포는 이차곡선형태를 가진다.

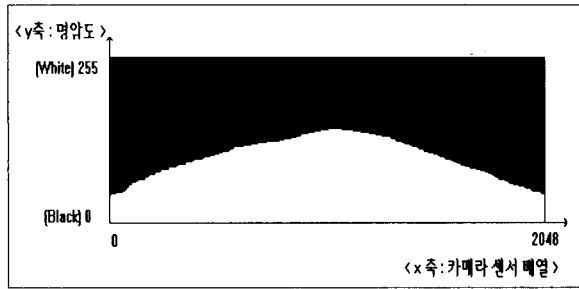


그림 1. 일차원 영상의 명암도 분포.
Fig. 1. The drawing of gray value of a line image.

2. 일차원 영상의 특성에 영향을 주는 요인

주변부의 명암도가 저하되는 일차원 영상의 특성에 영향을 주는 요인은 다음의 세 가지로 나누어진다.

(1) 물체와 렌즈 중심과의 각도에 따른 광량의 변화

조리개 눈금에 의한 렌즈의 밝기는 화면의 중심에서 벗어난 주변부에서는 획득하고자 하는 대상물과 그에 대응되는 소자와의 거리가 멀어지게 되므로 소자에 의하여 획득되는 광량이 저하된다. 이러한 광량의 저하는 렌즈 중심과 물체와의 각도인 W 의 코사인(밑변과 빗변의 비) 4승값에 비례하여 이루어진다. 이 법칙에 의한 주변광량의 저하율이 표 1에 나타나 있다[8].

본 연구의 적용 시스템에서의 각도는 물체와 렌즈와의 거리가 78cm이고 획득되는 영상의 길이가 40cm이므로 다음과 같이 14.4° 임을 알 수 있다.

$$W = \tan^{-1}\left(\frac{40\text{cm}/2}{78\text{cm}}\right) = 14.4^\circ$$

따라서 획득되는 일차원 영상의 명암도 분포는 표 1에 나타난 코사인 4승값에 따라서 영상의 중심부분에서부터 주변부로 갈수록 완만하게 명암도가 저하되다가 각도가 10° 를 넘어가는 부분부터 급격히 명암도가 저하되는 형태를 가지게 된다.

(2) 조리개의 개폐에 따른 광량의 변화

표 1. 코사인 4승값.

Table 1. The values of $\cos^4 \theta$, set $\cos^4 0$ as 100.

θ °	$\cos^4 \theta$ 에 의한 명암도 변화
0 (중심)	100
5	98.48
10	94.06
15	87.05
20	77.97
25	67.46
30	56.25
35	45.02
40	34.43
45	25.00
50	17.07

렌즈의 구경은 조리개가 완전히 개방된 경우에 소자배열의 중심부에서는 원형으로 나타나고, 소자배열의 주변부로 갈수록 점점 소엽상(小葉狀)으로 나타난다. 이러한 현상은 렌즈가 부착되어 있는 경동(鏡胴)에 의해서 렌즈를 투과하는 빛이 차단되기 때문에 생기는 현상으로, 이를 구경식(口徑食)이라고 한다. 이에 따라서 센서의 주변부에서는 렌

즈의 투과광이 줄어들게 된다. 즉, 소자의 일차원 배열로 이루어진 센서의 중심부에서 주변부로 갈수록 획득되는 광량이 줄어든다.

(3) 검사대상물의 특성

반사조명에 의하여 영상이 획득되는 경우에는 영상의 명암도가 검사대상물의 표면상태에 민감하게 된다. 즉, 검사대상물의 반사율이 큰 경우에는 센서로 들어오는 광량이 많아지므로 화면의 중심부와 주변부의 명암도 차이가 커진다. 반대로 반사율이 작은 경우에는 광량이 줄어들기 때문에 중심부와 주변부의 명암도 차이가 작아진다.

그 예로 적용대상물을 표면이 동박으로 된 PCB원판으로 했을때 그 동박에는 그림 2에 나타난 것과 같은 미세한 결이 존재한다. 이 동박결에 따라서 반사광이 산란됨으로써 일차원 영상의 명암도 분포는 그림 3에 나타난 것과 같이 이차곡선을 이루면서 변동이 심한 형태를 가지게 된다.

위의 세 가지 요인들에 의하여 획득되는 일차원 영상의 명암도 분포는 조명상태가 균일하더라도 양쪽끝의 명암도가 급격히 감소하는 형태를 가지게 되고, PCB원판의 경우에는 명암도의 변동이 심한 형태를 가지게 된다.

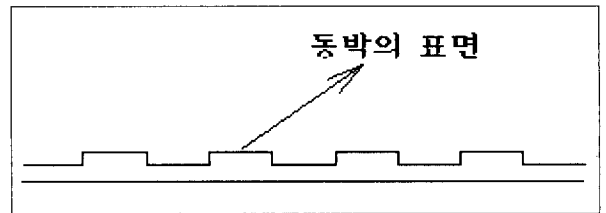


그림 2. 동박결의 단면도.
Fig. 2. The enlarged cross sectional view of copperplate.

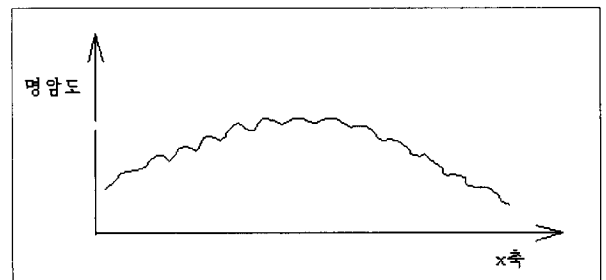


그림 3. 동박결에 의한 명암도의 굴곡.
Fig. 3. The irregularity of gray value affected by wave form of copperplate surface.

III. 실시간 처리 알고리즘

본 연구에서는 기존의 영상처리 방법의 문제점들이 해결될 수 있는 다음과 같은 실시간처리 알고리즘이 제안된다.

먼저 영상의 불균일한 명암도 분포를 보정하여 정확한 이진화가 가능하도록 하는 방법으로 다음의 두 가지 방법이 제시된다.

먼저 일차원 영상의 명암도 분포가 이차곡선을 이루며, 그림 3과 같이 변동이 심한 경우에 적용될 수 있는 방법으로 회귀식을 이용한 보정 알고리즘이 제시된다.

두 번째로 일차원 영상의 명암도 분포가 이차곡선을 이루며 변동이 심하지 않은 경우에 적용될 수 있는 방법으로 인접화소간의 명암도 경사도를 이용한 보정 알고리즘이 제시된다.

그리고 보정된 일차원 영상을 구간별 임계치를 이용하

여 이진화하는 방법이 제시된다.

또한 실시간으로 군집화를 수행될 수 있도록 영상을 일정수의 영역으로 분할하고, 분할된 각 영역을 하나의 군집단위로 하는 새로운 군집화 알고리즘이 제시된다.

1. 영상 정보 이진화

1.1 기존의 이진화 과정

명암 영상을 이진 영상으로 변환하여 영상내부의 물체와 배경을 분리할 때 다음과 같은 임계방법(Thresholding)이 사용된다.

$$\begin{aligned} \text{If } g(x, y) \leq T & \text{ Then } b(x, y) = 0 \\ \text{Elseif } g(x, y) > T & \text{ Then } b(x, y) = 1 \end{aligned}$$

여기서 $g(x, y)$ 는 영상의 (x, y) 좌표에서의 명암(Gray)값을 나타내고, $b(x, y)$ 는 이진화된 후의 (x, y) 좌표의 화소값을 나타내며, T 는 임계치를 나타낸다.

임계치 T 의 설정 방법으로 가장 많이 이용되는 것은 두 개의 모드(Bimodal)를 가지는 명암 히스토그램을 탐색하여 두 개의 봉우리(Peak)사이의 값들 중에서 최소치를 임계치로 설정하는 히스토그램 방법이다[4]. 그러나 이 방법은 획득되는 영상의 명암도 분포가 그림 1과 같이 불균일한 경우에는 적용이 불가능하다.

획득되는 영상의 명암도 분포가 불균일한 경우에 발생하는 문제점은 전체 영상에서 임계치를 가변적으로 변화게 하는 가변 임계방법(Adaptive thresholding)을 이용함으로써 해결될 수 있다. 이 방법에서는 영상이 여러개의 부분 영상으로 분할되고, 각 부분 영상마다 임계치가 다르게 설정됨으로써 각 부분 영상의 이진화가 수행된다. 이렇게 함으로써 전체 영상이 정확하게 이진화될 수 있다.

가변임계방법외에 J. R. Parker가 제시한 영상의 명암도 경사도(Intensity gradient)를 이용하는 방법이 있다. 이 방법에서는 명암도의 경사도가 물체의 경계선에서는 큰 값을 가지고, 그 외의 배경이나 물체 내부에서는 작은 값을 가지게 되는 성질이 이용된다. 즉, 경사도가 큰 부분을 찾음으로써 영상 내부의 물체와 배경이 분리될 수 있다. 따라서 (1)과 같이 각 화소의 경사도를 8방향으로 구하고, 그들 중에서 최대값을 각 화소의 경사도로 함으로써 방향성이 배제될 수 있다.

$$G(i, j) = \min(I(i, j) - I(i + \sigma_i, j + \sigma_j)) \quad (1)$$

$$\text{단, } \sigma_i = -1, 1 \text{ and } \sigma_j = -1, 1$$

위식에서 $I(x, y)$ 는 원영상의 (x, y) 좌표에서의 명암값을 나타내고, $G(x, y)$ 는 명암도의 차이값으로 재구성된 영상의 (x, y) 좌표에서의 화소값을 나타낸다. 이식에 의해서 재구성된 영상은 무방향성을 가지게 되며, 물체의 경계 또는 내부에 위치한 화소들은 큰 음의 경사도를 가지게 된다[5].

그러나 위의 두가지 방법이 라인 스캔 카메라에 의하여 획득되는 일차원 영상의 실시간 처리에 사용되는데는 다음과 같은 문제점이 있다.

첫째, 획득되는 영상을 저장한 뒤, 저장된 일차원 영상을 처리해야 한다.

둘째, 계산량이 많다.

따라서 본 연구에서는 일차원 영상의 특성을 이용하여 영상의 불균일한 명암도가 보정되고, 보정된 영상을 이진화함으로써 이진화가 실시간으로 수행될 수 있는 알고리즘이 제시된다.

1.2 영상의 재구성

기존에는 최근의 영상데이터에 가중치를 크게 주고, 과거의 데이터에는 가중치를 작게 주어 데이터의 기준값을 구하고, 구해진 기준값과 현재 영상데이터의 차이값으로써 데이터 값을 재구성하는 방법이 많이 이용되었다. 이렇게 함으로써 화소값의 변화정도가 탐지되고, 변화 값이 큰 화소를 검출함으로써 영상 내부의 물체와 배경이 분리될 수 있다. 이러한 방법은 보통 영상보드를 설계하여 제작하는 것과 같이 하드웨어적으로 구현되었다. 그러나 이러한 하드웨어적인 구현방법에는 영상보드의 제작경비 등의 많은 비용이 소요된다. 또한 이러한 방법이 소프트웨어로 구현되게 되면 계산량이 많아져서 처리시간이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 가중치를 이용하는 방법 대신에 영상데이터의 기준치를 회귀식을 이용하여 구함으로써 영상을 재구성하는 알고리즘이 제안된다. 또한 영상데이터의 기준치를 구하지 않고 인접화소의 명암도 경사도를 이용하여 영상을 재구성하는 알고리즘이 제안된다.

가. 회귀식을 이용한 명암도 보정

일차원 영상의 전체적인 명암도 분포가 대략적으로 이차곡선을 나타내고 있으며, 그림 3에 나타난 것과 같이 동박결에 의하여 일차원 영상의 명암도 분포가 변동이 심해진다. 따라서 변동이 심한 이차곡선을 근사하기 위한 방법으로 다음과 같은 회귀식을 이용한 알고리즘이 제안된다.

먼저 검사 시작 후에 획득되는 첫번째 일차원 영상 또는 일정한 수의 일차원 영상들의 명암도들을 이용하여 다음식과 같은 이차회귀식의 회귀 계수를 구함으로써 주어진 명암도 분포와의 오차가 가장 작은 이차곡선을 나타내는 회귀식 $p(x)$ 가 구해진다.

$$p(x_i) = ax_i^2 + bx_i + c$$

x_i : i 번째 영상의 x 좌표

y_i : x_i 에서의 명암도값

$p(x_i)$ 와 x_i 에 대응하는 y_i 의 잔차 r_i 와 모든 (x_i, y_i) 에 대한 잔차 r_i 의 제곱합 Q 는 아래 식에 나타나 있다.

$$r_i = p(x_i) - y_i = ax_i^2 + bx + c - y_i$$

$$Q = \sum_{i=1}^n r_i^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx + c - y_i)^2$$

위식에서 잔차제곱합 Q 를 최소화하는 a, b, c 가 결정됨으로써 회귀계수가 구해진다. Q 를 최소화하는 회귀 계수들을 구하기 위하여 Q 를 a, b, c 에 관하여 편미분하고 행렬식으로 정리한다. 그 결과가 다음식에 나타나 있다.

$$Ax = b$$

$$A = \begin{bmatrix} \sum x_i^4 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i & n \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \sum y_i x_i^2 \\ \sum y_i x_i \\ \sum y_i \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

그리고 위식에 Gauss Jordan 소거법을 적용하면 미지 변수 벡터 x , 즉 회귀 계수 a, b, c 가 구해진다.

이렇게 구해진 회귀식 $p(x)$ 에 의해서 일차원 영상의 x 좌표에 따른 명암도의 기준값이 정해진다. 따라서 실시간으로 획득되는 일차원 영상의 명암도와 회귀식에 의해서 구해진 기준 명암도와의 차이값으로 (2)와 같이 영상이

재구성됨으로써 불 균일한 명암도 분포가 보정될 수 있다.

$$g(x) = f(x) - p(x) \quad (2)$$

$f(x)$ 는 획득되는 일차원 영상의 x 좌표 명암값을 나타내고, $g(x)$ 는 재구성된 영상의 x 좌표 화소값을 나타낸다. 그리고 $p(x)$ 는 x 좌표에 따른 기준명암값을 나타낸다.

이 알고리즘을 적용한 예가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4(a)에 나타난 표본영상의 스캔위치에서의 명암도 분포는 그림 4(b)와 같다. 그림 4(b)에서 보면 알 수 있듯이 명암도의 분포가 불균일하기 때문에 그냥 임계치를 설정하고 이진화가 수행되면 결점이 무시되거나, 양끝 주변부의 결점이 아닌 부분이 결점으로 인식될 수 있는 문제점이 있다. 또한 명암도 분포의 변동이 심함을 알 수 있다. 따라서 회귀식을 이용하여 명암도 분포의 평균치를 구하고, 그 기준치를 이용하여 영상이 재구성됨으로써 정확한 이진화 결과가 얻어질 수 있다. 이러한 영상의 재구성 결과가 그림 4(c)에 나타나 있다.

그런데 전체를 하나의 회귀식으로 근사하게 되면 다음과 같은 문제점이 발생된다. 즉, 그림 4(b)에 나타난 것과 같이 영상의 중심부의 명암도가 매우 높고, 양끝으로 갈수록 명암도가 급격히 감소하므로 회귀식에 의하여 구해진 이차곡선과 실제 명암도 분포와의 오차가 영상의 중심부와 양끝부분에서 커지게 된다. 따라서 잘못된 이진화 결과가 얻어질 수 있다. 그러므로 일차원 영상을 일정수의 구간으로 나누고, 구간별로 회귀식을 적용하여 명암도 기준치를 구한다. 이렇게 구해진 구간별 명암도 기준치를 이용하여 영상이 재구성됨으로써 정확한 이진화 결과가 얻어질 수 있다. 본 연구의 실험에서는 일차원 영상을 4개의 구간으로 나누고, 각 구간별로 명암도 근사가 수행됨으로써 양끝 부분에서 명암도가 급격히 떨어지는 것과 중심부분에서의 높은 명암도가 고려되었다.

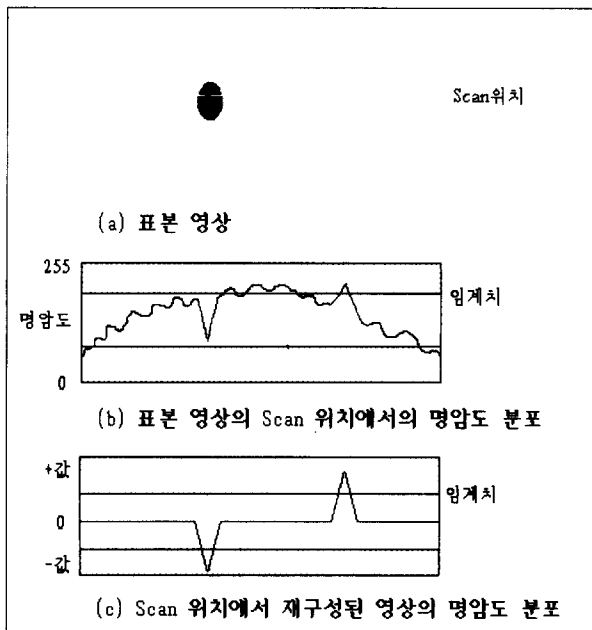


그림 4. 회귀식에 의한 영상의 재구성.
Fig. 4. Reconstruction of image with regression analysis.

나. 인접화소간의 명암도 경사도를 이용한 명암도 보정
일차원 영상의 전체적인 명암도 분포가 대략적으로 이

차곡선을 나타내고 있으며 변동이 심하지 않은 경우에 적용할 수 있는 방법으로 다음의 명암도 경사도를 이용한 알고리즘이 제안된다. 앞에서 설명한 (1)을 이용하여 8방향으로 경사도를 구하는 방법은 계산량이 많아서 실시간 처리에 부적합하다. 따라서 다음식과 같이 영상 내부의 각 화소(Pixel)의 명암도와 인접화소의 명암도의 경사도를 8방향이 아닌 단방향으로 구하고, 그 값으로써 각 화소값을 재구성하는 방법이 이용되었다.

$$g(x) = f(x) - f(x + dx) \quad (3)$$

이렇게 단방향으로 경사도가 계산됨으로써 계산량이 감소되고, 획득되는영상이 실시간으로 재구성될 수 있다.

$f(x)$ 는 획득되는 영상의 x 좌표 명암값이고, $g(x)$ 는 재구성된 영상의 x 좌표 화소값을 나타낸다. 그리고 dx 는 명암값의 차이를 구하기 위한 인접화소간의 거리이다.

(3)과 같이 영상이 재구성되면 현재 화소가 결점의 경계선에 있고 인접화소가 배경에 위치하는 경우 또는 반대의 경우에 있어서 명암의 차이가 커지므로 결과적으로 결점의 경계가 부각된다. 또한 두 개의 화소가 모두 물체 내부 또는 배경에 위치하는 경우에는 명암의 차이가 거의 없게 되므로 배경이나 결점 내부는 무시된다. 따라서 영상의 명암도 분포에 관계없이 배경은 무시되고, 결점의 윤곽선이 부각된다.

이 방법을 그림 5(a)에 적용하여 영상을 재구성한 결과가 그림 5(c)에 나타나 있다. 영상이 재구성되면 그림 5(c)와 같이 결점의 경계가 존재하는 부분에서 양과 음의 방향으로 큰 봉우리가 생성된다. 따라서 양과 음의 방향으로 일정한 간격의 임계치를 설정하고, 두 개의 임계치 사이의 화소들은 0값으로, 임계치를 넘어가는 화소들은 1값으로 함으로써 결점의 경계부분이 검출될 수 있다.

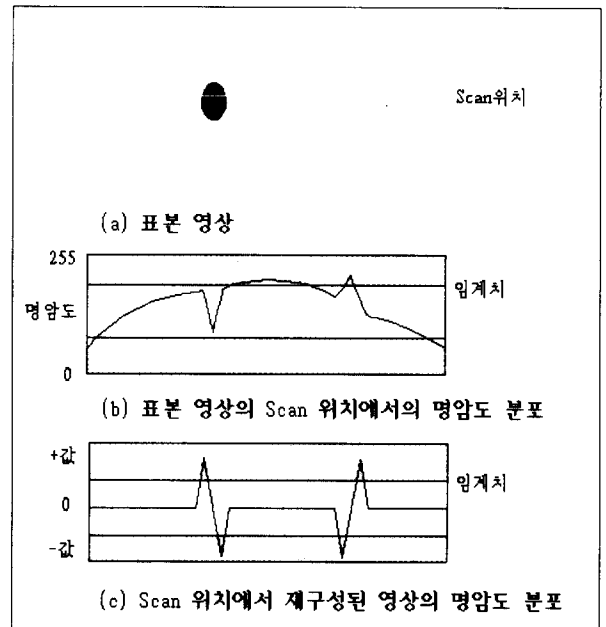


그림 5. 경사도에 의한 영상의 재구성.
Fig. 5. Reconstruction of image with gradient analysis.

1.3 구간별 임계치를 이용한 이진화

먼저 영상이 x 축 방향으로 일정수의 구간들로 분할된다. 그리고 검사 시작 후에 획득되는 첫 번째 일차원 영상, 또는 일정 수의 일차원 영상들의 명암도(Gray level)

평균을 이용하여 명암도 기준치가 구해진다. 그리고 다음 식을 이용하여 구간별 임계치가 설정된다.

$$\text{구간별 임계치} = \text{임계치 설정 퍼센트} \times \text{구간별 명암도 평균 (10)}$$

위식에서 명암도 분포가 불 균일한 상태에서는 밝은 부분보다 어두운 부분에서 결점과 배경 영역의 명암도의 차이가 작아진다. 따라서 전체 영상에 대하여 등간격으로 임계치가 설정되면 어두운 부분의 결점이 무시될 수 있다. 따라서 임계치가 각 구간의 명암도 평균에 따라서 달라지게 함으로써 밝은 구간의 임계치는 커지게 되고, 어두운 구간의 임계치는 작아지게 된다. 이렇게 함으로써 어두운 구간의 결점이 무시되는 것을 막을 수 있다.

영상의 이진화는 앞의 두 가지 방법에 의해서 재구성된 일차원 영상의 화소중에서 화소값이 구간별 임계치를 넘어가는 것들을 결점화소로 함으로써 수행된다. 이러한 과정이 다음 식에 나타나 있다.

$$\begin{aligned} \text{If } |g(x)| \leq T(x) \text{ Then } b(x) &= 0 \\ \text{Elseif } |g(x)| > T(x) \text{ Then } b(x) &= 1 \end{aligned}$$

$g(x, y)$ 는 재구성된 일차원영상의 x 좌표화소값을 나타내고, $b(x)$ 는 이진화된영상의 x 좌표화소값을 나타낸다. 그리고 $T(x)$ 는 x 좌표에 따른 구간별 임계치를 나타낸다.

2. 결점화소의 군집화

패턴을 인식할 때 사전에 어떠한 클래스가 존재하는지를 알 수 없어서 주어진 패턴 상호간의 유사성을 이용하여 패턴이 분류되어야 하는 경우가 있다. 그러한 경우에 사용되는 방법이 군집화(Clustering)이다[6]. 이 방법에서는 특징 공간에서의 패턴의 군집(Cluster)이 발견됨으로써 유사한 특징을 가진 패턴들이 하나의 클래스로 인식된다.

2.1 기존의 군집화

군집화는 크게 계층적(Hierarchical) 군집화와, 분할적(Partitional) 군집화의 두 가지로 나누어진다. 계층적 군집화에서는 각 패턴의 특징 벡터간의 최소 거리, 무게중심간 거리, 평균 거리등의 군집화 기준 함수를 이용하여 각 군집을 병합하는 방법이 사용된다. 그리고 분할적 군집화에서는 ISODATA 알고리즘이나, 최대최소거리 알고리즘, K-평균 알고리즘등이 사용된다. K-평균 알고리즘에서는 군집 영역에 속하는 모든 점으로부터 군집 중심까지의 거리의 제곱의 합을 최소화하도록 함으로써 군집화가 수행된다[6],[9].

그런데 위와 같은 방법들은 계산량이 많아서 데이터가 순차적으로 획득되고, 군집화가 실시간으로 수행되어야 하는 경우에는 사용될 수 없다. 그러므로 실시간 처리를 위하여 다음과 같은 순차 군집화(Sequential clustering)방법이 사용될 수 있다.

먼저 첫 번째 샘플을 첫 번째 군집에 할당한다. 그리고 i 번째 샘플과 최근접 군집(Nearest neighbor)과의 거리가 미리 정해진 임계치 보다 작으면 그 샘플은 최근접 군집에 할당된다. 반대의 경우에는 새로운 군집이 생성된다. 이 방법은 계산량이 적고, 적용이 간편하지만 샘플의 탐색 순서에 따라서 결과가 달라질 수 있고, 거리의 임계치의 변화에 따라서 결과가 달라질 수 있다는 단점이 있다[7].

그러므로 본 연구에서는 미리 분할된 영역별로 결점 정보를 추출하고, 추출된 결점정보를 이용하여 군집화를 수행하는 새로운 알고리즘이 제안된다.

2.2 영역 정보를 이용한 결점의 군집화

이 방법에서는 영상을 일정 수의 영역으로 분할하고,

각 영역을 하나의 군집 단위로 함으로써 군집화가 수행된다. 이 군집화 알고리즘은 다음과 같다.

획득된 일차원영상이 일정 수의 영역으로 분할되고, 분할된 각 영역별로 결점화소 개수가 구해진다. 그리고 영역별 점수가 정해진 한계치를 넘어가는 영역을 가지는 일차원 영상을 결점 라인으로 한다. 이러한 과정이 그림 6에 나타나 있다. 이렇게 함으로써 영상을 획득하면서 결점 라인의 y 좌표와, 결점라인 내부의 영역별 점수가 실시간으로 저장된다. 그리고 영상의 획득이 끝난 후에는 저장된 결점 라인의 y 좌표가 연속되는 라인들 중에서 같은 영역에 속하는 결점들이 하나의 군집으로 병합된다. 이렇게 함으로써 실시간으로 군집화가 수행될 수 있다. 그런데 결점이 영역의 경계에 위치하는 경우에는 하나의 결점이 두 개의 결점으로 인식됨으로써 잘못된 군집화가 이루어질 수 있다. 따라서 그림 7과 같이 영역을 서로 겹치는 영역으로 분할함으로써 위와 같은 문제점이 방지될 수 있다.

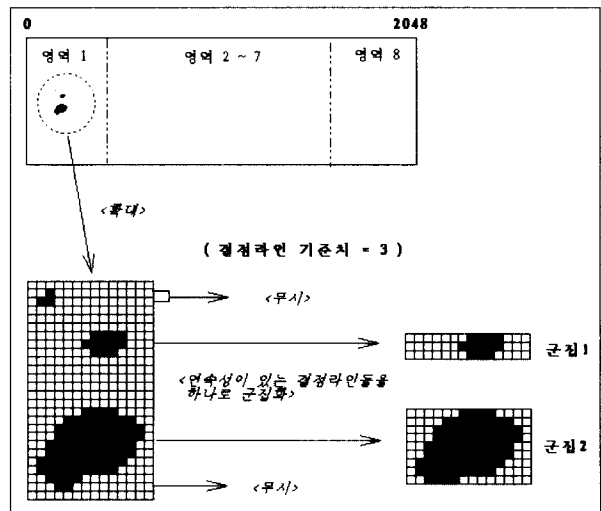


그림 6. 결점 라인의 결정 방법.
Fig. 6. Extraction of defected line.

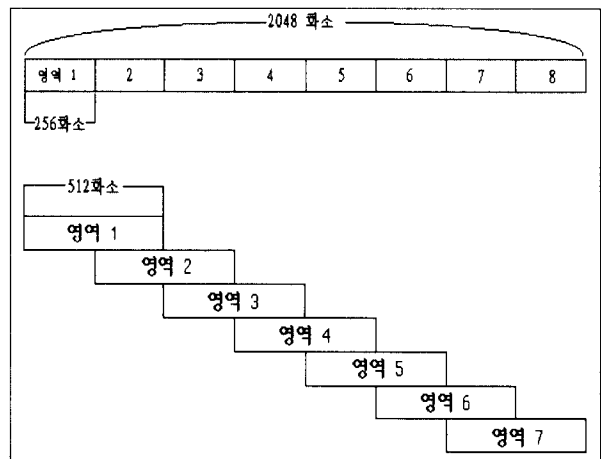


그림 7. 겹치는 영역으로 분할.
Fig. 7. Decomposition with 2048 pixels into 7 areas.

다음절에서는 획득되는 일차원 영상으로부터 실시간으로 결점 정보를 추출하기 위한 결점화소 탐색 알고리즘이 제안된다.

2.3 결점화소의 탐색

결점화소의 탐색은 획득되는 영상이 이진영상으로 변

환된 후에 수행된다. 각 화소의 값들이 0과 1로 이진화되어 있는 이진영상에서는 화소값들의 합이 결점화소 개수와 같다. 그러므로 이진영상의 화소값의 합을 구함으로써 결점화소의 개수를 알아낼 수 있는데, 이러한 결점화소의 탐색 속도를 향상시키기 위해서 바이트(Byte)단위인 화소값을 4바이트 워드(Word)단위로 묶어서 처리하는 다음의 방법이 제안된다.

만일 일차원 영상이 2048개의 화소로 이루어진다면 이러한 2048개의 화소들이 256화소로 이루어진 8개의 영역으로 분할되면, 각 영역별 결점화소의 개수는 256화소값의 합으로써 구해질 수 있다. 이렇게 영역별로 화소값의 합을 구할 때 계산 시간을 단축하여 실시간 처리가 가능하도록 하기 위해서 화소값들의 합을 4바이트 워드 단위로 계산한다. 이렇게 함으로써 바이트 단위로 합을 구하는 것보다 계산 시간이 1/4로 단축된다.

그런데 워드 단위로 구해진 합산값은 실제 화소값의 합산값이 아니고, 워드의 각 바이트 단위들이 실제 화소값들의 합산값을 나타낸다. 이것에 대한 설명이 그림 8에 나타나 있다. 그러므로 일차원 영상의 영역별로 존재하는 64개 워드의 합을 구하고 그 값을 다시 바이트 단위로 쪼개어 합을 구함으로써 256화소내의 결점화소 개수가 계산될 수 있다. 이 과정이 그림 9에 나타나 있다.

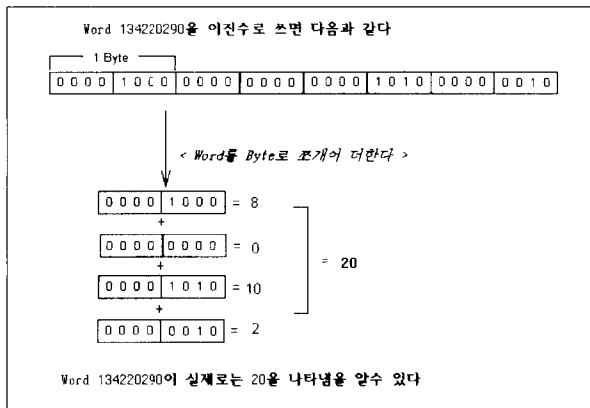


그림 8. 워드 단위의 합과 실제 값의 관계.
Fig. 8. The relation of a summation of word unit and actual value.

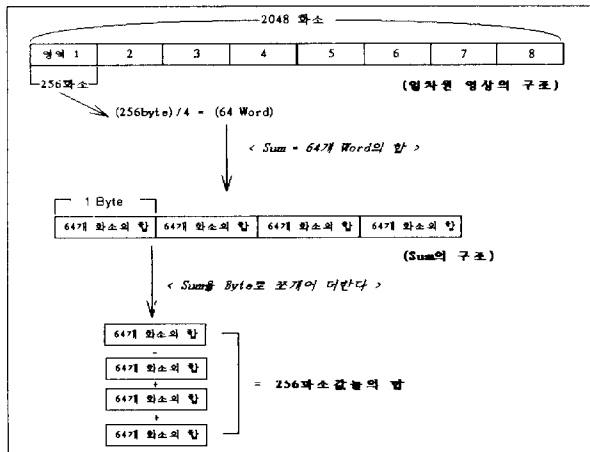


그림 9. 실시간 탐색을 위한 자료 구조.
Fig. 9. The data structure for fast search.

IV. 적용 사례

1. 적용 대상 분석

본 장에서는 본 연구에서 개발된 알고리즘들을 PCB원판 검사 라인을 자동화하는 자동시각검사시스템의 구축에 적용한 사례를 소개한다. 검사 작업에서는 PCB원판의 완제품이 LOT별로 검사되고, 제품들이 등급에 따라서 자동으로 적재적제, 분류된다.

본 시스템에의 검사 대상물인 PCB원판은 표면이 동박으로 이루어져 있는데, 동박에 존재하는 일정한 방향의 미세한 결 때문에 동일한 제품이라도 컨베이어에 놓이는 방향에 따라서 반사율에 40-50%의 차이가 발생한다. 즉, 동박의 결이 조명과 수평을 이루는 경우에는 반사율이 높고 반대로 수직을 이루는 경우에는 반사율이 수평인 경우보다 40-50%정도 줄어든다. 그리고 동박이 제조 회사에 따라서 반사율에 많은 차이가 있다. 그러므로 제품들의 반사율의 편차가 심하다. 따라서 양품에 대한 기준영상을 획득함으로써 검사에 대한 사전 정보를 획득하여 검사에 반영하는 것이 불가능하다. 따라서 본 시스템에서는 동박의 반사율에 관계없이 결점을 검출해 낼 수 있는 검사알고리즘이 사용되었다.

본 검사 시스템에서 인식하고자 하는 결점의 종류에 따른 정의와 판정 기준이 발생 빈도순으로 표 2에 나타나 있다.

표 2. 결점의 종류에 따른 정의와 판정기준.
Table. 2. The definitions and decision criterions of defects.

불량 항목	정 의	판정 기준
PND (Pit & Dent)	제품성형시 이물질에 의해서 동박면에 눌러진 불량으로 동박의 두께가 감소된 경우 Pit, 동박의 두께는 일정한 경우는 Dent라 한다.	① 임의의 250mm모서리에 있는 타흔은 0.7mm 이상은 없어야 한다. ② 임의의 250mm모서리에 있는 타흔은 0.7mm 미만의 타흔은 10개를 초과하면 안 된다.
WRK (Wrinkle)	동박의 주그러짐 또는 주름이 져 있는 상태.	WRK가 없어야 한다.
SCH (Scratch)	동박면이 타물체와의 마찰에 의해서 긁힘이 발생한 상태.	길이가 10mm를 초과하면 안된다.
BST (Black Spot)	동박자체에 발생한 흑점.	0.7mm를 초과하는 것이 있어서는 안된다.
VOC (Void & Copper)	동박이 떨어져 나갔거나 동박과 기판면이 분리된 상태.	VOC가 없어야 한다.

PCB원판의 대표적인 크기는 1200mm×1000mm이다. 세대의 카메라가 PCB원판의 표면으로부터 80cm거리에서 길이 40cm의 일차원 영상을 획득함으로써 영상의 화소의 해상도는 0.04mm(0.2mm×0.2mm)가 된다. 그러므로 획득되는 영상은 표 2의 판정 기준에 나타나 있는 크기의 결점들이 검출될 수 있는 충분한 해상도를 가지게 된다.

2. 검사 시스템 구성

시스템의 구성이 그림 10에 나타나 있고, 아래에 시스템의 하드웨어로써는 입력용 CCD 카메라는 Dalsa CL-C3-2048N Line Scan Camera이며 영상처리보드는 Bitflow 회사의 Data Raptor 1M Board가 이용되었으며 조명으로는 40 KHz 이상의 고주파 형광 등을 이용하였다. 소프트웨어에 있어서는 32 Bits Watcom C와 Bitflow Raptor Library로 알고리즘을 code화 했다.

3. 시스템 운용

개발된 자동시각검사 시스템은 6대의 Line Scan 카메라, Frame Grabber들을 이용하여 컨베이어 위에 놓여서 이동하는 PCB원판의 앞, 뒷면의 영상 정보를 획득하고, 획득된 영상 정보로부터 결점의 위치, 종류, 크기 등의 결점 정보를 추출하여 제품의 품질 등급을 판정하는 시스템이다.

본 시스템에서는 원하는 품질을 얻기위하여 검사방식을 쉬운검사, 보통검사, 엄격한 검사의 세 가지로 나누어 적용한다.

그리고 결점종류의 인식은 표 2의 결점들이 원형결점(PND, BST, VOC)과 선형결점(SCH, WRK)으로 분류됨으로써 이루어진다.

그림 10에 나타나 있는 세대의 컴퓨터 중에서 앞, 뒷면 검사 라인에 있는 Slave 컴퓨터는 결점 정보 추출 작업을 한다. 그리고 중앙의 Host 컴퓨터는 Slave 컴퓨터들로부터 앞, 뒷면의 등급 정보를 받아 각 제품의 등급을 판정하고, PLC에 신호를 보내어 Router가 제품을 등급별로 분류하도록 한다. 여기서 Host와 Slave컴퓨터는 RS-232C표준을 이용하여 서로 정보를 교환하고, Host 컴퓨터는 I/O Card와 PLC의 접점을 통해서 제품의 등급 정보를 PLC로 송신한다. 그리고 PLC가 Router에 등급 정보를 송신함으로써 등급별로 제품이 자동 적재된다.

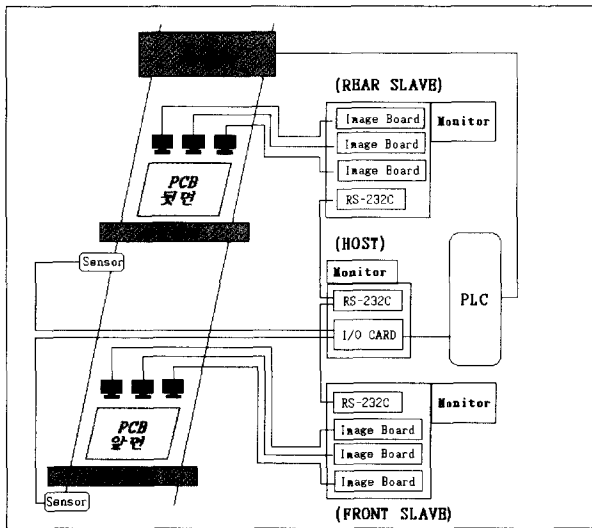


그림 10. 검사시스템의 구성.

Fig. 10. Block diagram of inspection system.

제품이 들어온 것을 Host의 I/O Card에 연결된 광센서가 감지하고, 감지된 신호를 Slave에 보냄으로써 검사가 시작된다. 그런데 검사의 시작과 끝을 광센서를 이용하여 결정하려고 하면 통신상의 시간 지연(Delay)등의 요인 때문에 다음과 같은 문제가 발생된다. 즉, 영상 획득의 시작 위치와 끝위치에 오차가 발생하여 잘못된 영상이 획득됨으로써 잘못된 등급판정이 내려질 수 있다. 따라서 본 시스템에서는 획득되는 명암도의 평균값을 이용하는 다음의 방법이 사용되었다.

광센서는 단지 제품이 검사 영역에 근접했음을 감지하는 역할을 한다. Slave컴퓨터는 Host로부터 센서의 신호를 받고, 영상의 획득을 시작한다. 그리고 획득되는 일차원 영상의 명암도 평균을 계속적으로 구한다. 검사 대상물을 이송하는 컨베이어면의 명암도가 매우 낮고, 검사대상물인 PCB원판의 명암도는 대략적으로 일정한 크기를 가진다. 그러므로 획득되는 일차원 영상의 명암도 평균값이 일정값을 넘어가는 경우에 검사를 시작하게되면 영상의 획득 위치가 일정해진다. 또한 검사를 수행하면서 계속적으로 명암도 평균을 구하다가 평균값이 일정값이하로 떨어지는경우에 검사를 중단하고 일정 수의 라인들을 무시함으로써 원하는 위치까지 검사를 수행할 수 있다.

각 카메라에서 획득된 영상은 카메라와 연결된 Image Board의 1M VRAM(Video RAM)에 저장된다. VRAM은 선형 메모리이기 때문에 영상은 (x, y)좌표에 관계없이 획득되는 순서대로 저장된다. 이렇게 저장된 영상의 크기가 1M을 초과하게 되면 메모리의 처음 부분부터 영상이 다시 저장된다. 따라서 영상의 처리 속도가 획득 속도보다 느리면 미처 처리되지 못한 영상을 새로 획득한 영상이 덮어쓰게 됨으로써 검사 영상의 손실이 발생된다. 그러므로 처리 속도는 획득 속도보다 빠르거나, 그와 같아야 한다.

구축된 시스템의 검사 알고리즘의 순서도가 그림 11에 나타나 있다. 즉, 이진화, 결점화소 탐색을 일차원 영상을 획득하면서 실시간으로 수행하고, 영상의 획득이 끝나고 난 후에 탐색된 결점 정보를 이용하여 결점의 군집화를 수행함으로써 다음 제품의 검사가 시작되기 전에 제품의 품질등급이 결정된다.

4. 적용 결과 및 고려 사항

본 시스템의 영상 획득 속도는 760(line/sec)일때 1초에 6144(2048×3)화소로 구성된 760개의 일차원 영상이 획득되며 처리되어야 하는 전체영상의 크기는 25Mbyte이며 개발된 알고리즘들을 이용한 처리속도는 5Mbyte/sec이다.

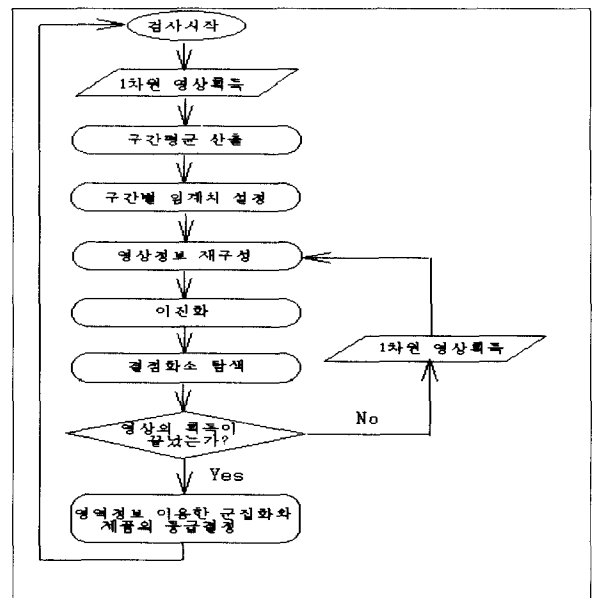


그림 11. 검사 알고리즘의 순서도.

Fig. 11. Algorithm of inspection system.

그리고 제품간의 시간 간격이 3초이므로 제품의 등급 판정을 하는데 소요되는 시간이 3초 미만이다. 본 연구에서 개발된 영상의 실시간 이진화 알고리즘의 처리 시간은 760(line/sec)이고, 탐색된 결점화소들로 군집화를 수행

하여 등급을 판정하는 알고리즘의 처리시간은 1초 미만이었다. 따라서 정확한 검사가 실시간으로 수행되었다.

본 시스템을 이용한 실험 회수는 340대로 이루어진 10개의 LOT를 이용하여 수행되었다. 검사방식은 불량품이 합격품으로 판정되는 2종오류의 발생이 없도록 하는 엄격한 검사방식이 이용되었다.

검사결과와 분석은 같은 제품을 사용한 시스템의 검사결과와 육안검사의 검사결과를 비교함으로써 이루어졌다. 시스템에 의하여 불량으로 판정된 제품이 육안검사에 의하여 합격으로 판정되는 것을 나타내는 1종 오류가 19.7%로 나타났다.

이러한 1종오류의 발생원인은 다음과 같다. 먼지와 같은 이물질이 결점으로 검출되었고, 사람이 촉각으로 무시할 수 있는 결점이 시스템에서는 검출되었다. 즉, 같은 크기의 결점이라도 결점의 깊이가 얇은 경우에는 비결점으로 분류하는 검사 기준에 따라서 촉각에 의해 비결점으로 분류될 수 있는 결점이 시스템에서는 검출되었다. 따라서 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

먼저 먼지의 완벽한 제거를 위한 설비의 설치가 요구된다. 본 시스템과 같이 검사 대상물에 조명을 비추어 반사광을 CCD센서가 감지함으로써 영상이 획득되는 경우에는 획득된 영상이 검사 대상물의 표면 상태의 영향을 많이 받게 된다. 따라서 대상물의 표면이 깨끗하게 유지되어야 한다. 그런데 본 시스템에서는 PCB원판 표면의 먼지가 완전히 제거되지 못해서 아주 작은 결점과 먼지를 구별하는 것이 어려웠다.

그리고 원판이 휘어 있는 경우에 조명의 반사가 제대로 이루어지지 못해서 잘못된 검사결과가 발생하는 경우가 있었다. 따라서 휘어있는 판을 컨베이어면에 흡착할수 있는 설비가 설치되어있지만 완벽하게 흡착시키기 위한 설비의 보완이 이루어져야 한다.

또한 시스템의 구축에 있어서의 고려사항들은 다음과 같다. 먼저 획득되는 일차원 영상을 이진화하고, 이진화된 영상내부의 결점정보를 추출하는 영상처리 알고리즘의 처리속도가 고려되어야 한다. 본 연구에서 제안된 알고리즘의 처리 속도는 6144×760 (byte/sec)이다. 이러한 영상처리속도에 따라서 영상의 획득속도와 컨베이어의 이동속도가 결정되어야 한다.

영상의 획득속도는 CCD 카메라의 클럭주파수(Clock frequency)에 의하여 결정된다. 이것은 영상처리보드에 의하여 외부적으로 조정될 수 있는 경우가 대부분인데 클럭주파수가 커질수록 획득되는 광량은 감소되고, 영상의 획득속도는 빨라진다. 그러므로 영상획득속도와 광량을 고려하여 적절한 주파수가 결정되어야 하는데, 본 연구에서는 6MHz, 12MHz의 두가지의 경우에 대하여 실험이 수행되었다.

영상획득속도는 클럭주파수가 6MHz일때 본 연구에서 개발된 알고리즘의 처리속도와 동일하게 된다. 따라서 12MHz의 경우에는 획득되는 영상을 샘플링하여 받아들임으로써 획득속도와 처리속도를 같게 하였다. 이와 같이 샘플링하는 경우에는 미세한 결점이 무시될 수 있다는 단점이 있다. 그러나 검출되어야 하는 결점의 크기가 미세하지 않은 경우에는 12MHz가 이용될 수 있다. 그리고 획득되는 광량의 크기는 6MHz가 12MHz의 2배정도가 된다.

컨베이어의 이동속도는 영상의 처리속도와 요구되는 해상도에 의하여 결정된다. 본 시스템에서는 영상처리속도가 760(line/sec)이고, 세로해상도가 0.2mm로 결정됨으로써 컨베이어 속도가 20(cm/sec)으로 설정되었다.

그리고 영상의 불 균일한 명암도를 보정하기 위한 알고리즘이 결정되어야 한다. 즉, 회귀식을 이용한 알고리즘과 명암도 경사도를 이용한 알고리즘중의 하나가 선택되어야 한다. 두 알고리즘의 처리속도는 동일하므로 획득되는 영상의 특성을 고려하여 적용할 알고리즘이 결정되어야 한다. 본 연구에서 구축한 시스템에서는 회귀식을 이용한 알고리즘이 사용되었는데 그 이유는 다음과 같다. 먼저 PCB원판의 명암도 분포가 변동이 심한 형태를 가지므로 회귀식을 이용하여 변동이 근사되었다. 또한 PCB원판의 결점인 PND는 크기가 작은 경우에 반사조명에 의해서 어두운 결점으로 검출된다. 그런데 반사조명상태에서 획득되는 영상에는 PCB원판에 존재하는 프레스자국들이 밝은 점들로 나타난다. 이것들은 결점이 아니므로 노이즈와 같이 전처리과정에서 제거되어야 한다. 따라서 회귀식을 이용하여 영상의 불균일한 명암도가 보정되고, 보정된 영상에서 명암도의 기준치보다 밝은 것들은 무시함으로써 결점만을 검출해 낼 수 있었다. 그런데 명암도 경사도가 이용되면 프레스자국들도 결점으로 인식됨으로써 잘못된 검사결과가 얻어진다. 따라서 회귀식을 이용한 영상보정알고리즘이 이용되었다.

그리고 이진화를 위한 임계치퍼센트값은 동일한 결점이 임계치값의 변화에 따라서 어떻게 인식되는지를 분석하는 다수의 실험에 의하여 결정되어야 한다. 또한 결점라인을 결정하는 한계치도 결점의 크기에 따른 화소수의 분석에 의하여 결정되어야 한다.

V. 결론

본 연구에서는 컨베이어 상에서 연속적으로 흘러가는 제품의 검사를 위한 자동 시각 검사 과정에서 실시간으로 결점을 인식하기 위한 알고리즘이 제안되었다.

제안된 알고리즘은 다음과 같은 특성을 가진다. 먼저 영상을 획득하면서 이진화와 결점정보의 추출이 수행됨으로써 검사속도가 향상되었다. 그리고 영상의 불 균일한 명암도가 보정되고, 각 제품의 명암도 평균을 이용하여 임계치가 설정되어 이진화가 수행됨으로써 제품에 따른 명암도 변화와 제품의 표면상태에 따라 유연하게 적용될 수 있다. 이러한 알고리즘을 이용하여 PCB원판의 자동시각검사시스템이 실제로 구축되었다.

본 연구에서 개발한 영상 재구성 알고리즘, 구간별 임계치를 이용한 이진화 알고리즘, 실시간 결점탐색 알고리즘, 군집화 알고리즘은 PCB원판과 같이 반사율이 큰 제품이나 유리와 같은 광투과성 제품의 실시간 결점 인식에 광범위하게 이용될 수 있다. 그런데 유사한 시스템을 구축하고자 할 때는 검사대상물의 특성과 검출하고자 하는 결점의 종류, 크기 등에 따른 여러 가지 요인들을 고려한 시스템의 적용이 요구된다. 즉, 검사 대상물의 특성과 검출하고자 하는 결점의 종류에 적합한 광원이 선택되어야 하며, 반사조명, 직접조명등의 조명방법과 필터의 사용등이 결정되어야 한다. 또한 영상의 획득속도가 결정되어야 하며, 검출하고자 하는 결점의 크기에 따라서 영상의 해상도가 결정되어야 한다. 그리고 결정된 해상도에 따라서 컨베이어 속도가 설정되어야 한다. 그리고 획득되는 영상의 특성에 따라서 효과적으로 적용될 수 있는 명암도보정 알고리즘의 선택이 이루어져야 한다.

본 연구와 관련하여 앞으로는 결점의 상세한 형태인식을 위한 알고리즘에 대한 연구가 이루어져야 한다. 또한 이를 통하여 결점종류의 정확한 판별이 이루어짐으로써 인지 결점의 통계적분석에 대한 연구가 수행되어야 하며,

통계적 분석결과를 이용한 다른 생산공정과의 피드백으로 이루어질 수 있는 제품의 품질관리 방법에 대한 연구가 수행되어야 하겠다. 또한 영상보드등의 하드웨어적인 개발을 통한 검사 시간의 단축, 제어 기능을 가진 라인스캔 전용 조명의 개발에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

참고문헌

[1] G. Barrie Wetherill, *Sampling Inspection and Quality Control*, Methuen and Company, Ltd., London, 1969.
 [2] Don W. Lake, *Solid State Camera Product*, EG&G, Reticon, November 28, 1994.
 [3] 최인걸, 미세 결점 인식을 위한 Line Scan 시스템 개발에 관한 연구, 1994.
 [4] 최형일, 컴퓨터 비전 입문, 제 3장, 홍릉과학출판사,1991.

[5] J. R. Parker, "Gray level thresholding in badly illuminated images," *IEEE, T-PAMI*, vol. 13, pp. 813-819, 1991.
 [6] Richard C. Dubes, "Cluster analysis and related issues," *Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*, pp. 3-32, 1992.
 [7] P. Trahanias and E. Skordalakist, "An efficient sequential clustering Method," *Pattern Recognition*, vol. 22, no. 4, pp. 449-453, 1989.
 [8] 일신 사진서적 편집실, 교환렌즈 기술 백과, 일신서적공사, 1989.
 [9] 이성환, 패턴인식의 원리, 제 3장, 홍릉과학출판사, 1994.

장 동 식

1979년 고려대학교 산업공학과 졸업, 텍사스대 석사, 텍사스 A&M 대학교 산업공학과 박사(1988), 1989 ~ 현재 고려대학교 산업공학과 부교수. 관심분야는 컴퓨터 비전 시스템, 패턴인식, 그리고 공장자동화.

이 만 희

1993년 고려대학교 산업공학과 졸업, 동 대학원 석사(1995), 1995 ~ 현재 고려대학교 대학원 산업공학과 박사과정. 관심 분야는 패턴 인식, 이미지 프로세싱, 멀티 미디어.

부 창 완

1995년 고려대학교 산업공학과 졸업, 동대학원 석사(1979), 현재 큐빅테크 (주) CAD/CAM 연구소. 관심분야는 컴퓨터 네트워크, 모니터링 분야, CAD/CAM.