

論文95-32B-11-9

컴퓨터 시각장치를 이용한 자동 캡슐 검사장치

(Automated Capsule Inspection System using Computer Vision)

姜賢哲*, 李炳來**, 金容奎***

(Hyunchul Kang, Byeong Rae Lee, and Yong Kyu Kim)

요 약

본 연구에서는 컴퓨터 시각 기법을 이용하여 캡슐의 외관결함을 검사하는 캡슐 외관검사장치를 개발하였다. 원료가 젤라틴인 약품이 충전되지 않은 공캡슐을 대상으로 하였다. 캡슐의 양면을 검사하기 위하여 2 STAGE 인식을 수행하였으며, 인식에 사용한 특징으로는 길이, 면적, 직선성, 헤드부 곡률 및 대칭성 등이 있다. 학습 시 정상 캡슐 20개로부터 계산한 특징량의 평균과 제조 현장에서 사용하는 허용 오차를 고려하여 양·불량의 판정을 한다. 검사 속도는 초당 20개 이상이며, 실시간 검사를 하기 위해 시간이 많이 소요되는 특징 추출에 사용되는 대부분의 연산을 하드웨어로 수행하였다. 연산 하드웨어는 학습이나 조명 조정 등을 위해 흑백영상을 취득하거나, 입력 영상을 2진화 하여 윤곽선 좌표를 추출하는 작업을 실시간에 처리한다. 제어와 연산부의 하드웨어는 설계의 변경을 용이하게 할 수 있고, 개발시간을 단축할 수 있는 EPLD를 이용하여 구현하였다. 20 종류의 불량용 요인별 검사 실험을 한 결과, 캡슐의 외형 윤곽의 변화가 발생하는 불량은 95% 이상 선별하여, 이를 효과적으로 검사해 낼 수 있었다. 반면 시각의 영향으로 인하여 bad joint, chip, speck 등의 불량에 대한 선별율이 50~85%로 저하되었다. 또한 2진 영상에 잘 드러나지 않는 불량인 collet pinch, mashed 등의 검출이 어려웠으며, 이를 해결하기 위해서는 부분적으로 흑백 영상을 직접 처리할 필요가 있다.

Abstract

In this study, we have developed a prototype of the automatic defects detection system for capsule inspection using the computer vision techniques. The subjects for inspection are empty hard capsules of various sizes which are made of gelatine. To inspect both sides of a capsule, 2-stage recognition is performed. Features we have used are various lengths of a capsule, area, linearity, symmetricity, head curvature and so on. Decision making is performed based on average value which is computed from 20 good capsules in training and permission bounds in factories. Most of time-consuming process for feature extraction is computed by hardware to meet the inspection speed of more than 20 capsules/sec. The main logic for control and arithmetic computation is implemented using EPLD for the sake of easy change of design and reduction in time for development. As a result of experiment, defects on size or contour of binary images are detected over 95%. Because of dead zone in imaging system, detection ratio of defects on surface, such as bad joint, chip, speck, etc. is lower than the former case. In this case, detection ratio is 50~85%. Defects such as collet pinch and mashed cap/body seldom appear in binary image, and detection ratio is very low. So we have to process the gray-level image directly in partial region.

* 正會員, 仁川大學校 情報通信工學科

(Dept. of Info. and Telecomm. Eng. Univ. of Incheon)

** 正會員, 韓國放送通信大學校 電子計算學科

(Dept. of Computer Science, Korea National Open Univ.)

*** 正會員, 延世大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng. Yonsei Univ.)

※ 이 연구는 산학협동재단('93년도 학술연구과제)의 부분적인 지원으로 이루어 졌음.

接受日字: 1994年8月11日, 수정완료일: 1995年11月13日

I. 서론

외관검사는 생산공정의 마지막 단계에서 수행되는 공정으로 외관검사의 자동화는 전 생산공정의 자동화 및 무인화를 위하여 필수적인 선결과제가 된다. 외관검사의 대부분은 인간의 시각에 의하여 수행되고 있으므로 검사의 결과는 검사요원의 수준과 상태에 따라 변하게 되어 일정한 수준의 질을 유지하기가 힘들며, 노동을 기피하는 사회 전반적인 인식으로 이직이 빈번하여 일정한 생산량을 유지하기도 어려운 실정이다.

컴퓨터 시각장치에 의한 외관검사는 인간의 시각에 의한 외관검사의 문제점을 해결할 수 있는 방법중에서 가장 유력한 방법으로, 검사의 질과 생산량을 일정하게 유지할 수 있을 뿐 아니라, 오염된 환경이나 열악한 환경에서도 검사를 수행할 수 있다^{1,2)}. 또한, 컴퓨터와 관련 기술의 급격한 발전에 따라 검사 속도와 질의 향상을 기할 수 있으며, 꾸준한 성능 개선의 여지가 있다.

의약품 캡슐의 경우, 외관상의 결함과 포장 단위당 세균의 양은 상품으로서 캡슐의 가치를 결정짓는 중요한 요인이 된다. 공캡슐(empty capsule)의 소비자인 제약회사의 제조공정에 치명적인 길이불량, 구멍불량(hole defect)이나, 캡슐의 소비자인 일반인에게 변질의 우려나 약품의 신뢰성을 떨어뜨리는 이물질(foreign matter defect)등의 불량을 비롯하여 캡슐에서 발생하는 대부분의 불량은 외관상의 결함(visual defect)으로, 시각검사로 판정할 수 있다.

국산 캡슐이 의약품에 관한 규정이 까다로운 선진국에의 수출이 어려운 주된 이유는 포장단위당 세균의 수가 많기 때문이며, 이는 대부분의 국내 캡슐 공장의 외관검사가 사람에 의하여 수행되어 쉽게 오염될 수 있는 환경때문이다. 포장단위당 세균의 수를 줄이기 위하여서는 높은 수준의 청정도를 유지하여야 하며, 이를 위하여서는 전 생산공정에 사람의 개입이 없는 무인화, 자동화가 이루어져야 한다. 따라서, 검사공정을 제외한 대부분의 생산공정이 기계화되어 있는 국내의 실정을 감안하면, 외관검사의 자동화가 캡슐의 생산자동화를 위한 선결과제가 되며, 상품으로서의 캡슐의 대외 경쟁력을 높이기 위한 필수적인 과제가 된다.

본 연구에서는 영상처리와 패턴인식기법을 이용하여 의약품 캡슐의 외관결함을 자동으로 검출하는 캡슐의 관검사장치의 프로토타입을 개발하였으며, 영상입력장







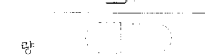



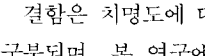
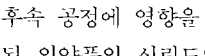
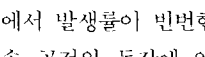
치, 특징추출장치, 연산부, 제어부를 전용의 하드웨어로 구현하여 초당 20캡슐 이상의 검사능력을 갖는 고속의 전용 검사장치를 실현하였다.

II. 외관결함의 종류 및 특징량 계산

1. 캡슐의 외관 결함

본 연구에서는 의약품 캡슐중 주성분이 젤라틴인 하드캡슐(hard capsule)을 검사 대상으로 하며, 의약품이 충전되지 않은 상태인 공캡슐(empty capsule) 상태에서 검사한다. 캡슐의 제조공정에서 발생하는 외관상 결함은 약 30종류로, 그 중 주요한 결함을 표 1에 나타내었다.

표 1. 캡슐에서 나타나는 중요 결함
Table 1. Issued defects of capsules.

분류	과 도	불량명	정 의
치명불량		STRAY CAPSULES	크기, 색상, 또는 인쇄가 다른 캡슐
		FOREIGN MATTERS	캡슐 또는 박스 내에 이물질 혼입
		OIL HOLES	오일에 의한 구멍
		STRIPPER HOLES	스트리퍼에 의한 구멍
중		DOUBLE CAPS	한 개의 바디에 두 개의 캡이 결합
		LOOSE CAP/BODY	캡과 바디가 결합되지 않은 것
불		BAD JOINT	캡과 바디의 결합이 불완전한 것
		CHIPPED CAP	캡의 절단면이 내측으로 심히 벌어진 것
망		DOUBLE DIPPED	캡슐이 이중으로 성형되어 두께가 두꺼운 것
		LONG/SHORT CAP/BODY	캡 또는 바디의 길이가 길거나 짧은 것
		DIRTY	캡슐의 몸체나 선단면이 오염된 것
		ROUGH CUT	캡 또는 바디의 절단면이 미려하지 못한 것
		PUNCHED END	캡슐의 선단부가 찢어진 것

결함은 치명도에 따라 치명불량, 중불량, 경불량으로 구분되며, 본 연구에서는 의약품의 충전 공정과 같은 후속 공정에 영향을 주는 치명불량과, 중불량 중 충전된 의약품의 신뢰도와 관계가 깊은 불량 및 생산공정에서 발생률이 빈번한 불량을 중점적으로 검출한다. 후속 공정의 동작에 영향을 주는 불량으로는 캡슐에 구

명이 난 oil hole, stripper hole 등의 불량과 cap과 body의 1차 결합이 잘못된 long/short body 또는 long/short cap 등의 불량이다. 또한 의약품의 신뢰도에 영향을 줄 수 있는 불량으로는 mash, bad joint, chip, punched end, dirty, collet pinch, bubble 등의 불량이다. 마지막으로 한 번 발생하게 되면 제조 기계의 성능 보완을 필요로 하게 되는 불량으로 빈번하게 발생하는 불량으로는 rough cut, uncut, chip 등의 불량이다.

2. 특징량 계산

30여 항목이 넘는 캡슐의 불량을 각각 개별적으로 검출하게 되면, 불량별로 다른 제어가 가능하며, 보다 다양한 통계처리가 가능하지만, 각 불량에 대하여 개별적으로 특징을 추출하는 데에는 계산 시간이 많이 소요되어 고속의 검사를 실현하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 캡슐에서 발생하는 개개의 불량에 대한 특징을 추출하는 방법을 지양하고, 여러가지의 불량을 종합적으로 판단할 수 있는 특징을 선정하였다.

특징량 추출은 입력 영상을 2진화 한 다음 윤곽선 좌표를 추출한 후 이를 이용하여 이후에 기술되는 특징량을 계산하는 과정으로 이루어진다. 2진화는 실시간 처리를 위해 고정된 임계치로 이진화하는 방법을 사용한다. 임계치는 캡슐영역을 배경으로부터 분리하기 위한 영역 분할 임계치와 캡슐의 캡과 바디의 경계부분을 검출하기 위한 에지(edge) 임계치가 사용된다. 캡슐은 영역 분할이 용이하도록 검정색으로 표면 처리된 드럼에 안착되어 이송되므로 어두운 부분을 제거하는 1개의 임계치로 쉽게 분리된다. 에지 임계치는 영상 내에서 수직으로 존재하는 에지를 계산하여, 그 값이 큰 부위를 검출하는 데 사용된다. 이 이진 에지 영상으로 영역 분할된 캡슐 이진 영상을 마스킹 해냄으로써 검사에 사용될 캡슐의 이진 영상을 얻어 낸다. 그림 1은 캡슐 영상의 이진화과정을 보여 주는 그림이다.

2진화된 캡슐영상으로부터 여러 가지 특징량을 계산하기 위해서는 전체 영상을 스캔해야 하므로 아직도 많은 시간을 소비하게 된다. 본 연구에서는 실시간의 처리를 위해서 2진 영상으로부터 각 행에서 값의 변화가 발생하는 부분(즉, 0 → 1 또는 1 → 0의 변화가 발생하는 부분)의 좌표값만을 추출한다. 이와 같이 하면 처리해야 할 데이터의 수가 크게 감소하므로 처리 시간을 단축할 수 있다. 그림 2는 2진화된 영상으로부터 추출된 좌표값들을 보여주고 있다.

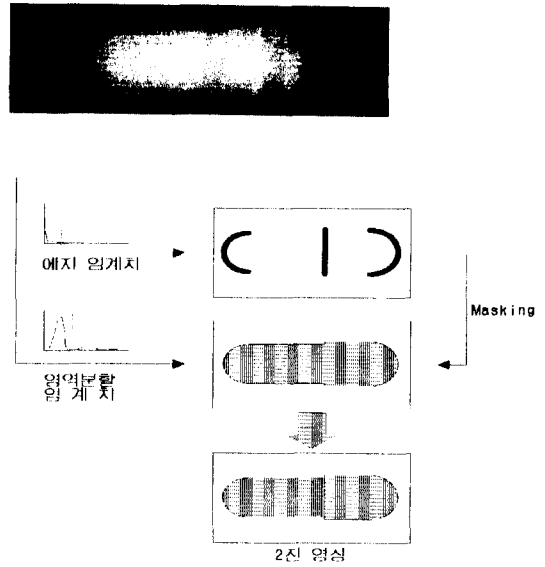


그림 1. 캡슐 영상의 2진화
Fig. 1. Obtaining binary image from original image.

좌측 선단부 좌표 $X_L(k)$, 우측 선단부 좌표 $X_R(k)$, 연결부 좌표 $X_M(k)$, ($k = 1, 2, \dots, N$)를 추출하고, 이들 좌표값을 이용하여 선성분을 계산하고, 이를 근거로 판정에 사용할 특징량을 계산한다. 본 연구에서 사용하는 주요한 특징량은 다음과 같다.

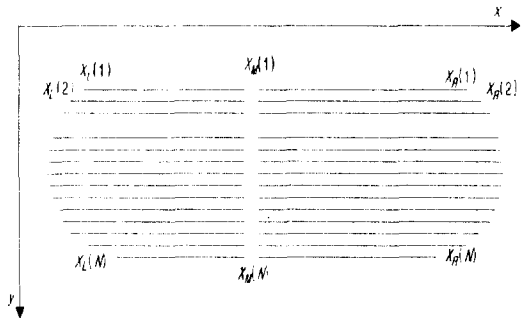


그림 2. 캡슐의 윤곽선 좌표
Fig. 2. Contour coordinates of a binary capsule image.

1) 면적

입력된 캡슐 영상의 면적으로 식 1과 같이 좌측 선단부와 우측 선단부의 거리의 누계를 계산한다¹¹⁾.

$$A = \sum_{k=1}^N (X_R(k) - X_L(k)) \quad (1)$$

이러한 면적 특징으로는 캡 또는 바디의 미결합, 정

도가 큰 이물질, 길이불량, mashed, hole, crack, 이물질, chip, split, punched end, scrapes, speck 등과 같은 불량과 계조도가 현저히 다른 이중 캡슐과 같은 불량을 검사할 수 있다.

2) 길이

길이 특징은 이진 영상에서의 캡슐의 길이로 정의하며, 이진화된 캡슐 영상에서 좌측 에지와 우측 에지를 근거로 판정한다. 영상에서의 좌측 에지 좌표를 $X_L(1), X_L(2), \dots, X_L(M)$ 이라 하고, 영상의 우측 에지 좌표를 $X_R(1), X_R(2), \dots, X_R(M)$ 이라 하면, 식 2와 같이 이로부터 X_{MAX} 과 X_{MIN} , 즉 좌측 에지 중 최소 좌표치를 갖는 화소와 우측 에지 중 최대 좌표치를 갖는 화소를 계산하여, 이 두 화소간의 거리를 캡슐의 길이로 계산한다¹¹⁾.

$$L = X_{MAX} - X_{MIN} \quad (2)$$

여기서 $X_{MAX} = \text{MAX}_k X_R(k)$, $X_{MIN} = \text{MAX}_k X_L(k)$ 이다.

이러한 길이 특징으로는 long/short cap, long/short body를 비롯한 길이불량과 double cap, double dip, 그리고 정도가 큰 헤드부의 눌림(mashed)등의 결함을 검출할 수 있다.

3) 캡 길이

Cap의 길이는 연결부 좌표 X_M 과 X_L 또는 X_R 을 이용하여 계산한다. 캡슐은 정렬되지 않은 상태로 이송되기 때문에 현재 입력된 영상에서 어느 쪽이 cap에 해당되는지를 먼저 알아야 한다. 캡슐의 크기별 규격을 살펴보면 cap의 길이는 전길이 L 의 반보다 작으므로 이를 이용하여 캡슐의 이송 방향을 판단한다.

다음 연결부 좌표의 대표값 M_J 를 구한다. 이는 화면 내의 캡슐 위치를 고려하여 왜곡을 최소화 하기 위해 식 3과 같이 연결부의 전체 영역중 1/4위치와 3/4위치에 해당하는 값들을 평균하여 사용한다.

$$M_J = \frac{X_M \left(\frac{N}{4} \right) + X_M \left(\frac{3N}{4} \right)}{2} \quad (3)$$

따라서 cap의 길이 L_C 는 식 4와 같다.

$$L_C = \text{MIN}(M_J - X_{MIN}, X_{MAX} - M_J) \quad (4)$$

4) 연결부의 길이 및 직선성

연결부의 위치는 원영상에서 수직 에지 연산자를 취하여 얻은 에지 영상을 다시 수평축으로 투영시킨 영

상으로부터 판정하며, 연결부의 길이 JL 은 연속성을 만족하는 최대 선분의 길이로 정의한다. 이 때 연속성 $C(y)$ 는 식 5와 같이 정의한다.

$$C(y) = D_1 < \epsilon \text{ and } D_2 < \epsilon \text{ and } D_3 < \epsilon \quad (5)$$

여기서 $D_1 = |X_M(y) - X_M(y-1)|$

$$D_2 = |X_M(y) - X_M(y-2)|$$

$$D_3 = |X_M(y) - X_M(y-3)|$$

연결부의 길이 및 직선성으로 판별할 수 있는 불량으로는 chip, split, rough cut, uncut 등이 있다.

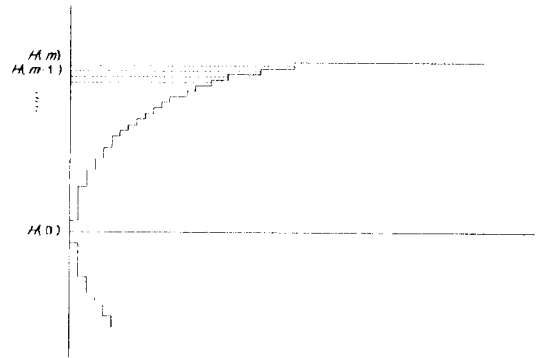


그림 3. 원주 정합을 위한 변위의 계산

Fig. 3. Displacement of head coordinate for periphery matching.

5) 헤드부 곡률

캡슐 헤드의 찌그러짐을 판단하기 위하여 헤드부 곡률을 검사하여야 하는데, 이를 위해 원주 정합(periphery matching) 및 대칭성 검사를 실시한다. 먼저 원주 정합을 위해 그림 3과 같이 헤드 선단부분부터의 변위를 검출한다. 검출된 변위값의 집합 $\{H(0), H(1), \dots, H(m)\}$ 과 정상캡슐로부터 학습된 표준반현 길이의 집합 $\{S(0), S(1), \dots, S(m)\}$ 을 각각 비교하는 template 정합 기법을 함으로써 판정한다. 대칭성은 그림 4에서와 같이 중심축으로부터의 이탈 정도를 조사하며, 식 6으로 근사한다.

$$\text{Sym} = \left| \frac{U+B}{2} - \frac{C_1+C_2}{2} \right| \quad (6)$$

이러한 헤드부의 곡률 특징으로 판별할 수 있는 불량으로는 chip, split, punched end, 이물질, hole, rough cut 등이 있다.

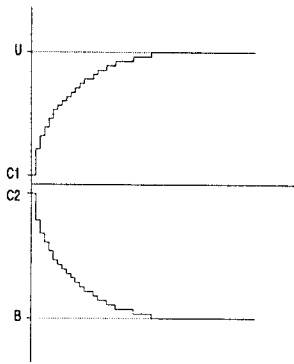


그림 4. 대칭성 계산
Fig. 4. Illustration of head chord symmetry.

III. 캡슐 외관검사 시스템

본 연구에서 개발한 캡슐 외관검사 시스템은 그림 5와 같으며, 크게 기계부와 영상처리부 그리고 판정 및 제어부로 구성된다. 기계부는 검사 대상 캡슐을 검사드럼으로 공급하고, 영상처리부는 영상을 취득하고, 이로부터 2진 영상을 구하고 2진 영상의 변화 부분 좌표값을 실시간으로 계산하여 저장하며, 판정 및 제어부는 특징량을 계산하여 양·불량을 판정하고, 전체 시스템을 제어한다.

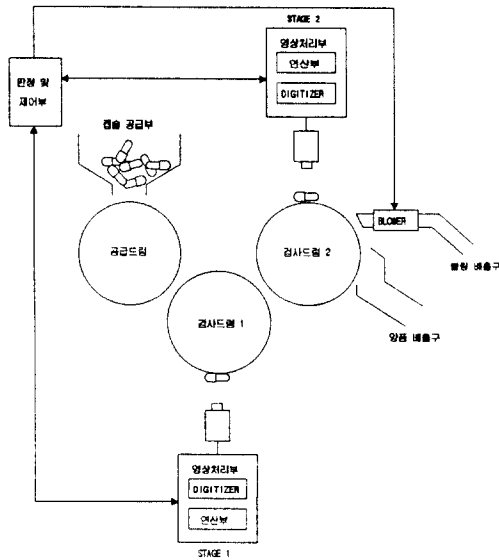


그림 5. 캡슐 외관검사 장치의 개요
Fig. 5. Overall view of visual defects inspection system.

캡슐의 양면을 검사하기 위하여 2대의 카메라에서

한쪽면을 검사하는 2 STAGE 인식기법을 사용한다. 검사 대상 캡슐이 STAGE1의 위치 감지 센서에 의하여 감지되면 제어부에서는 STAGE1의 카메라로부터 영상을 입력하고 특징량을 계산하여 양·불량을 판정한다. 불량으로 판정된 캡슐을 STAGE2에서의 검사를 생략한 채, 불량품 배출구로 배출된다. STAGE1을 통과한 정상 캡슐은 캡슐 회전부에서 180° 회전하여 검사되지 않은 면을 STAGE2에서 검사한다. STAGE1과 STAGE2에서 모두 양품으로 판정된 캡슐은 양품 배출구로 배출된다.

영상 인식부에서 수행되는 결함 검출 과정은 그림 6과 같다.

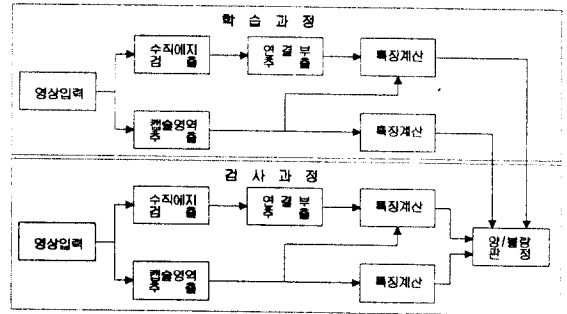


그림 6. 결함 검출 과정
Fig. 6. Logic flow of defects detection.

결함이 없는 표준 캡슐의 영상을 입력하여 히스토그램을 구하고, 영상의 계조도 분포를 분석한 후, 임계치를 설정하고 이를 이용하여 배경 부분을 제거한다. 이 임계치는 차후의 검사 과정에서 입력 영상의 이진화에 사용된다. 동시에 동일한 영상으로부터 에지 연산자를 적용하여 수직 에지를 검출한 후, 인식에서 사용할 특징을 추출하고, 특징량을 파라메타화하여 기억시킨다. 검사 과정은 검사 캡슐의 입력 영상에 학습과정에서 설정된 임계치를 적용하여 이진 영상을 만들고, 이와 동시에 하드웨어적으로 수직 에지를 검출하고, 윤곽선 좌표를 계산한다. 이 좌표로부터 앞에서 정의된 특징을 추출하고, 이를 학습된 파라메타와 비교하여 양·불량의 판정을 내리게 된다.

1. 영상 취득

영상 취득 장치(image grabber)는 카메라로부터의 NTSC 방식의 아날로그 복합 영상신호로부터 디지털

영상을 얻는 장치로서, 범용의 영상 취득장치의 경우 NTSC 신호로부터 2차원 농담영상(grey level image)을 최종적으로 얻게 되며, 디지털 영상을 버퍼 메모리에 저장하게 된다. 메모리에 저장된 영상을 처리하기 위하여서는 영상단위로의 연산을 수행하게 되어 본질적으로 화소의 액세스에 많은 시간을 소요하게 된다. 본 연구에서는 고속의 연산을 수행하기 위하여, 연산부와 연동할 수 있는 전용 영상 취득 장치를 개발하였으며, 최종적으로 농담영상을 취득하거나 이진영상(binary image)의 0 → 1 또는 1 → 0의 변화 부분 좌표를 실시간에 계산할 수 있다. A/D 변환기의 출력에 임계치를 갖는 비교기를 추가함으로써 쉽게 농담영상을 이진화할 수 있는데, 이 때 사용되는 임계치는 프로그램에 의해 주어질 수 있도록 설계하여, 샘플 패턴에 따라 적절한 임계치를 줄 수 있도록 설계하였으며, 그 블록도는 그림 7과 같다.

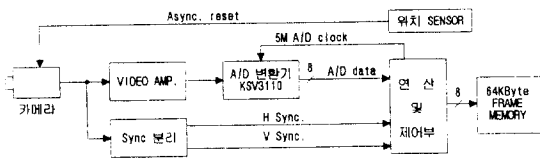


그림 7. 영상 취득 장치의 블록도
Fig. 7. Block diagram of image grabber.

카메라는 고속의 캡슐 흐름에서 발생하는 motion blur를 최소화 하기 위한 전자셔터(electronic shutter)의 기능과 임의의 시점에서 영상 포착을 할 수 있는 비동기 리셋(asynchronous reset)기능을 갖는 카메라를 선택하였다.

젤라틴이 주성분인 hard capsule은 거의 반투명이 가까운 특성을 가지고 있어, 후면 조명(back lighting)이 가장 이상적인 조명 방법으로 생각될 수 있으나, 캡슐의 고속 이송이 어려우며, 표면 전체를 검사하기가 어렵다. 이러한 후면 조명의 어려움 때문에 직접 조명 방식을 채택하였다. 직접 조명의 경우 조명 방향에 따라 그림자가 생기고, 조명이 직접 반사됨에 따라 캡슐 표면에 부분적인 반짝임이 발생하는 등의 문제가 발생하게 된다. 이를 극복하기 위하여 광량이 많은 할로겐 램프와 광섬유를 이용한 링 조명 방식에 편광 필터를 사용하였다.

2. 캡슐 영상의 추출

입력 영상으로부터 캡슐 영상을 분리하기 위하여 임

계치를 적용하여 캡슐의 에지 정보를 추출하며, 이를 위하여 2개의 임계치를 설정한다. 캡과 바디. 배경 색상의 조합에 따라 계조도의 히스토그램의 분포는 bimodal 또는 trimodal의 형태로 분포하게 되는데, 1개의 임계치는 배경과 캡슐을 분리하기 위하여 입력 영상에 적용하며, 또 다른 1개의 임계치는 연결부를 검출하기 위한 에지 영상의 임계치로 사용한다. 임계치 값은 입력 영상과 에지 영상의 히스토그램을 관찰한 후 설정한다.

3. 특징 연산

특징 계산시의 연산량을 줄이기 위하여 검사 대상 캡슐의 윤곽선을 추출한다. 먼저 캡슐 외관 검사에서 중요한 정보를 갖는 캡과 바디의 연결부의 좌표를 추출하기 위하여 에지 성분의 투영값(projection)을 구하여, 이 투영값의 최대치에 해당하는 부분을 캡슐의 연결부로 생각한다.

초당 20 캡슐 이상의 고속 검사를 위하여서는 연산 시간이 많이 소요되는 에지 검출, 이진화, 잡음처리, 좌표추출 등의 연산을 하드웨어로 처리한다. 본 연구에서는 하드웨어 개발 소요시간의 단축과 회로의 기능을 보강하기 위한 추가적인 설계의 변경이 용이한 EPLD를 이용하여 특징 연산부를 하드웨어화 하였다. EPLD로 설계한 하드웨어 부분은 크게 제어부(control logic)와 연산부(arithmetic logic)로 구성된다. 각 부분의 블록도를 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 그림 8에서 ADDR. MUX는 영상 취득 모드에서는 5MHz의 주기로 계수하는 주소 계수기의 값을, 연산 모드에서는 윤곽선 좌표가 발생하였음을 알리는 신호(EDGE SIGNAL)의 계수기 값을 주소로 선택한다. 이 때 프레임 메모리에 저장되는 값은 영상 취득 모드에서는 화소의 값, 연산 모드에서는 윤곽선 좌표의 수평값이 된다.

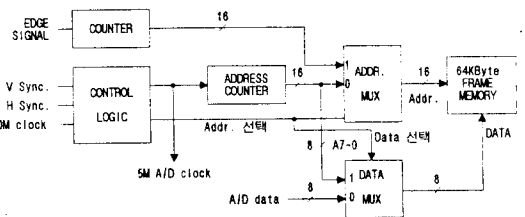


그림 8. 제어부의 블록도
Fig. 8. Block diagram of control unit.

그림 9는 연산 모드에서 2진화와 윤곽선 검출과정은

수행하는 과정을 보여주고 있다. 만일 2진 영상의 값이 0→1 또는 1→0의 변화가 발생하면 에지 신호(EDGE SIGNAL)이 1의 출력을 내게 되며, 이 때의 수평 좌표가 프레임 메모리에 저장된다.

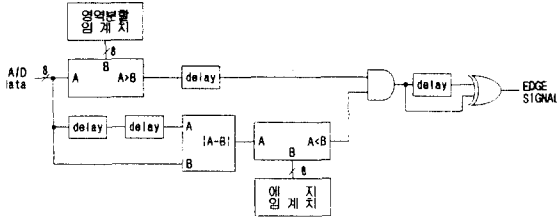


그림 9. 연산부의 블록도
Fig. 9. Block diagram of arithmetic unit.

4. 판정
본 연구에서 수행되는 인식 기법은 입력 패턴을 가장 유사한 패턴 클래스로 할당하는 일반적인 패턴 인식 기법과는 달리, 대상 캡슐의 양·불량을 판정하기 위하여 추출된 특징량이 허용 범위 내에 존재하는지의 여부만 판정하는 간단한 알고리즘으로 구현하였다. 허용 범위는 학습시 정상적인 20개의 캡슐로부터 취한 특징량의 평균과 공정에서 주어지는 공정 오차를 고려하여 설정한다. 각 특징의 양품 판정은 다음과 같이 결정한다.

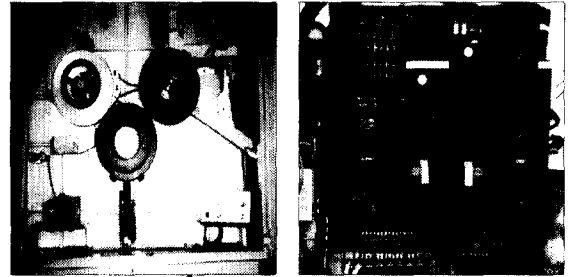
- ① 면적 판정 : $A_{min} < A < A_{max}$
- ② 길이 판정 : $L_{min} < L < L_{max}$
- ③ 캡 길이 판정 : $L_{Cmin} \leq L_C \leq L_{Cmax}$
- ④ 연결부 직선성 : $JL_{min} < JL < JL_{max}$ and $\max_j X_M(i) - \min_j X_M(i) < \delta$
- ⑤ 헤드부 곡률 판정 : $|H(i) - S(i)| < \beta$ and $H(i) > H(i-1)$
- ⑥ 헤드부 대칭성 판정 : $\left| \frac{U_1 + B}{2} - \frac{C_1 + C_2}{2} \right| < \gamma$

IV. 실험 및 결과 고찰

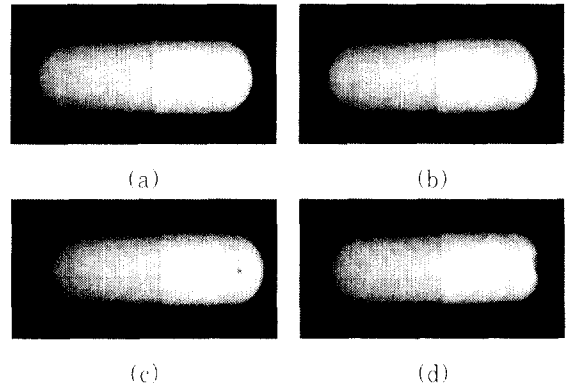
개발된 캡슐 외관검사 시스템의 성능 측정과 현장 적용의 가능성을 타진하기 위하여 두가지의 실험을 병행하였다. 실험 환경은 실제의 제조 공정과 같은 환경을 유지하도록 하였으며, 실험에 사용한 검사 대상 캡슐은 제조 공정 중의 캡슐을 임의로 선정하였다.

그림 10은 검사장치의 기계부와 개발된 제어 및 연산 하드웨어이다. 캡슐은 검사 드럼에 2열로 안착되어 이송되며, 2개의 카메라가 초당 10회씩 앞·뒷면 영상

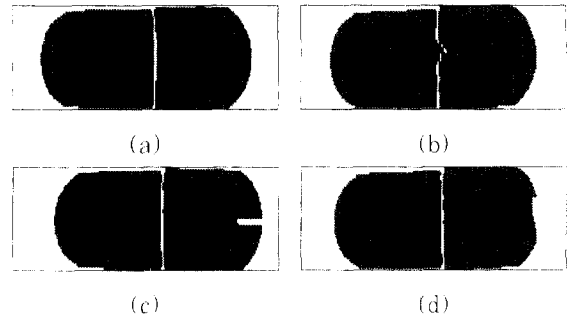
을 검사한다. 캡슐 영상은 드럼에 표시된 검사 위치를 센서를 통해 감지하여 발생하는 인터럽트 신호에 맞추어 취득한다.



(a) (b)
그림 10. 캡슐 검사 시스템 (a) 기계부, (b) 영상처리 하드웨어
Fig. 10. Capsule inspection system (a) Inspection mechanism, (b) Image processing system.



(a) (b) (c) (d)
그림 11. 원영상 (a) 정상 캡슐, (b) Chip cap, (c) Stripper hole, (d) Punched end
Fig. 11. Original images (a) Good capsule, (b) Chip cap, (c) Stripper hole, (d) Punched end.



(a) (b) (c) (d)
그림 12. 2진영상 (a) 정상 캡슐, (b) Chip cap, (c) Stripper hole, (d) Punched end
Fig. 12. Binary images (a) Good capsule, (b) Chip cap, (c) Stripper hole, (d) Punched end.

그림 11과 그림 12는 취득된 캡슐 영상과 이로부터 계산된 2진 영상을 보여주고 있다. 캡슐 영역은 연결 부위를 중심으로 좌·우측 선분만을 취하도록 하였기 때문에 그림 11(c)와 같은 영상에 대해 그림 12(c)와 같이 윤곽선 좌표가 구해진다.

표 2. 불량별 자동 선별 결과
Table 2. Result of automatic inspection for various defects.

불량항목	검출갯수/ 부입갯수	불량항목	검출갯수/ 부입갯수
Bad joint	17/20(85%)	Punched end (cap)	29/20(100%)
Collet pinch(cap)	2/20(10%)	Punched end (body)	20/20(100%)
Collet pinch(body)	3/20(15%)	Rough cut	10/20(50%)
Chip	11/20(55%)	Stripper hole (cap)	19/20(95%)
Double cap	20/20(100%)	Stripper hole (body)	20/20(100%)
Double body	20/20(100%)	Short cap	12/20(60%)
Final lock	20/20(100%)	Short body	9/20(45%)
Loose	20/20(100%)	Speck(cap)	16/20(80%)
Mashed(cap)	3/20(15%)	Speck(body)	15/20(75%)
Mashed(body)	4/20(20%)	Telescope	5/20(25%)

검사 시스템의 자동 선별 능력을 측정하기 위하여 양품 캡슐에 징해진 갯수의 불량품을 종류별로 투입한 뒤 자동선별기로 검사하였다. 전체 50,906개의 마씩 캡슐 내에 20종류의 불량을 각각 20개씩 섞어서 실험한 결과 표 2와 같은 결과를 얻었다. 이 결과에서 double cap/body, lock, punched end, stripper hole 등의 불량이 잘 검출되고 있음을 알 수 있다. Bad joint, speck과 같은 불량은 결함이 존재하는 위치에 따라 검사되지 않는 영역이 있음을 알 수 있다. Chip이나 rough cut 등의 불량은 그 정도에 따라 검출되기 어려운 영역이 더 넓거나 더 높은 해상도를 요구함을 보여준다. 반면 collet pinch, meshed, telescope의 경우 그림자가 예지로 검출되지 않음으로 인하여 검출율이 매우 저조하다.

표 3에는 100,000개 단위로 전수검사한 후, 현장에서 수행하고 있는 검사 방법과 동일하게 숙련된 QC 요원에 의한 1,000개 내지 2,000개 단위의 표본검사를 수행한 결과를 나타내었다.

표 3. 표본검사 결과
Table 3. Result of sampling test.

색상 (캡/바디)	캡슐수	자동 선별			표본 검사 (육안)		
		양품수	불량수	수율 (%)	검사 횟수	합격 횟수	불합격 횟수
임정색/담청색	76,575	76,012	563	99.27	5	4	1
주홍색/백색	104,527	104,228	299	99.71	5	4	1

불량품을 양품으로 오분류하게 되는 주된 요인으로는 영상처리 과정에서 감지가 되지 않는 불량이 존재하는 점, 영상처리부의 해상도, 사각 등이 있다.

첫번째의 경우에 해당되는 불량은 corrugation(캡슐 표면에 수분의 주름이 길이 방향으로 있는 것), collet pinches(collet에 의해 캡슐 표면에 길이 방향으로 주름이 진 것), scrapes(캡슐 표면에 긁힌 상처가 있는 것) 등으로, 이러한 결함이 있는 캡슐 영상을 영상 취득 장치를 통해 입력하였을 때 잘 드러나지 않거나 예지 연산 과정에서 예지로 검출되지 않기 때문에 선별이 되지 않는다.

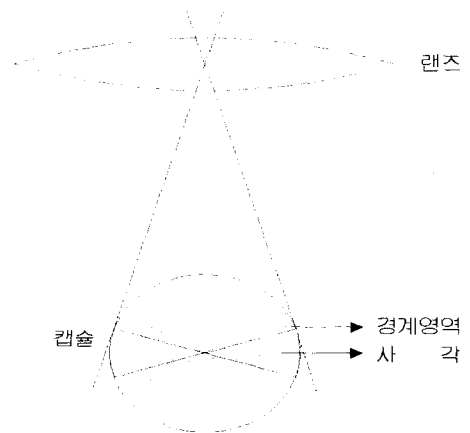


그림 13. 검사 시스템의 사각
Fig. 13. Dead zone of the inspection system.

두번째 경우에 해당되는 것은 미세한 chip, punched end, speck 등의 결함이다. 특히 chip의 경우에는 영상의 취득 환경에 따라 발생할 수 있는 잡음과 실제로 존재하는 미세한 결함이 구분되기 어려운 문제가 있다.

세번째 경우, 즉 사각은 그림 13과 같이 카메라와 캡슐의 거리에 따라 보이지 않는 부분이 존재함에 따른 것이다. 이것은 표면에 결함이 있는 모든 종류의

불량에서 발생할 수 있는 것으로 현재와 같이 앞·뒷면만을 검사하는 상황에서는 피할 수 없는 문제이다. 다만 조명과 같은 영상 취득 환경을 개선하여 사각을 줄일 수 있는 방법이 연구될 필요가 있다.

V. 결 론

본 연구는 생산 공정의 자동화에 직결되는 외관검사 시스템의 개발에 관한 연구로, 영상처리와 패턴 인식 기법을 이용하여 공정의 무인화가 절실하게 요구되는 캡슐의 외관검사를 수행하는 결합 검출 시스템의 프로토타입을 개발하였다.

초당 20 캡슐 이상의 고속 검사를 실현하기 위하여, 대부분의 연산을 하드웨어로 처리하였고, 개발시간과 설계의 변경이 용이하도록 EPLD를 이용하여 구현하였다.

개발된 검사 시스템의 선별 능력을 평가하기 위해 약 50,000개의 양품 캡슐에 20종류의 불량을 각각 20개씩 섞어서 선별 실험을 하였다. 그 결과 double cap/body, lock, punched end와 같이 캡슐 외형의 변화가 큰 불량이나 stripper hole은 대부분 선별해냈으나, bad joint, chip, speck 등의 불량은 사각의 영향으로 검사율이 떨어졌다. 반면 collet pinch, mashed, telescope 등의 불량은 제조도의 차이가 예지로 검출될 수 있을 정도로 뚜렷하게 나타나지 않아 검사에 어려움이 있었다. 종합적으로 판단할 때 C등급 이상의 검사 수준을 보이고 있지만, 제품의 수율에 있어서는 아직 현장의 요구 수준에 만족하지 못하고 있는 수준이다.

그러나, 육안에 의한 외관검사에 비하여 자동 외관검사가 갖는 일반적인 장점 이외에도 현재 표본검사에 의존하고 있는 제품 검사를 전수검사를 할 수 있으며, 길이불량을 포함한 대부분의 결함에 있어서는 육안에 의한 검사보다 더욱 정밀한 수준에서 검사를 수행할 수 있음을 확인하였다.

개발한 외관검사 시스템이 현장에 적용되기 위하여서는 오분류의 주된 요인인 조명문제, 사각문제, 기계 장치의 불완전함 등을 개선하여야 하는데, 조명과 사각 문제는 기계의 개선과 맞물려 있기 때문에 쉽지는 않지만 꾸준히 개선하여야 할 문제이다. 또한, 이중캡슐과 같은 문제를 해결하기 위하여서는 현재의 흑백 영상처리에서 칼라 영상처리로 전환하여야 하며, 인공 색

소에 대한 거부감으로 인하여 나날이 그 사용이 확산되어가고 있는 투명 캡슐의 검사에 대한 해결책을 마련할 수 있어야 국제경쟁력을 가질 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. Edmatsu and Y. Nitta, "Automated Capsule Inspection Method," Pattern Recognition, Vol. 14, No. 1-6, 1981, pp. 365~374.
- [2] K. Edamatsu, K. Muneki, T. Makabe, Y. Sugiyama and H. Maruyama, "Capsule Checker," 富士時報, 제52권, 제8호, 1979, pp. 17~22.
- [3] Y. N. Sun and C. T. Tsai, "A new model-based approach for industrial visual inspection," Pattern Recognition, Vol.25, No.11, 1992, pp. 1327~1336.
- [4] M. Yachida and S. Tsuji, "Industrial Computer Vision in Japan," IEEE Computer, May, 1980, pp. 50~63.
- [5] R. T. Chin and C. A. Harlow, "Automated Visual Inspection : A Survey," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-4, No. 6, Nov. 1982, pp. 557~573.
- [6] R. T. Chin, "Automated Visual Inspection Techniques and Applications : A Bibliography," Pattern Recognition, Vol. 15, No. 4, 1982, pp. 343~357.
- [7] Y. Hara, N. Akiyama, and K. Karasaki, "Automatic Inspection System for Printed Circuit Boards," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-5, No. 6, Nov. 1983, pp. 623~630.
- [8] B. R. Suresh, R. A. Fundakowski, T. S. Levitt and J. E. Overland, "A Real-Time Automated Visual Inspection System for Hot Steel Slabs," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. PAMI-5, No. 6, Nov. 1983, pp. 563~

572.

- [9] K. Edamatsu, Y. Kinoshita, M. Miyagawa, and S. Nishino. "A Process to Automation for Detecting defects." 富士時報, 제49권, 제4호, 1976. pp. 10~15.
- [10] J. S. Weszka. "A Survey of Threshold Selection Techniques." Computer Graphics and Image Processing, Vol. 7, 1978. pp. 259~265.
- [11] M. Ejiri, M. Mese, and S. Ikeda. "A Process for Detecting Defects in Complicated Patterns." Computer Graphics and Image Processing, Vol. 2, 1973. pp. 326~339.
- [12] T. Uno, M. Ejiri and T. Tokunaga. "A Method of Real-Time Recognition of Moving Objects and Its Application." Pattern Recognition, Vol. 8, 1976. pp. 201~208.
- [13] 한준희, "산업체 응용을 위한 자동 시각검사 기술 표면 검사," 한국정보과학회지, 제11권, 제5호, 1993. pp. 94~103

— 저 자 소 개 —



姜賢哲(正會員)

1959년 8월 21일생. 1982년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1984년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1989년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1990년 ~ 현재

인천대학교 공과대 정보통신공학과 부교수. 1994년 ~ 1995년 미네소타대학 객원교수. 주관심 분야는 영상처리, 영상통신, 패턴인식 등임



李炳來(正會員)

1963년 10월 29일생. 1985년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1992년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1992년 ~ 현재 한국방송통신대학교 전자계산학과 조교수. 주관심 분야는 Neu-

ral Network, 패턴인식, 영상처리등임.



金容奎(正會員)

1962년 5월 5일생. 1985년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 1995년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1987년 ~ 1995년

삼성전자 연구원. 현재 연세대학교 신호처리연구센터 연구원. 주관심 분야는 영상압축, 영상처리등임.