

접속케이블의 품질검사를 위한 자동시각검사 시스템

이문규*, 윤찬균**

An Automated Visual Inspection System for Wire Harnesses

Moon-Kyu Lee · Chan-Kyun Yun

〈Abstract〉

A wire harness is an assembly of cables and/or wires to transmit signals between electronic assemblies in automobiles and electronic appliances. Inspection of such a wire harness is to check the sequence of assembled cables each of which is identified by its own color. This paper presents an automated visual inspection system for wire harnesses incorporating a back-propagation neural network as a color identification device. The tests performed by using real test specimens show that the inspection system works well enough.

1. 서론

시각검사작업과 같이 인간의 오감을 이용한 검사작업의 경우, 단순반복적인 특성으로 인한 피로의 누적과 일에 대한 의욕상실로 생산성 향상 및 품질 개선이 쉽게 이루어지지 못하고 있다.

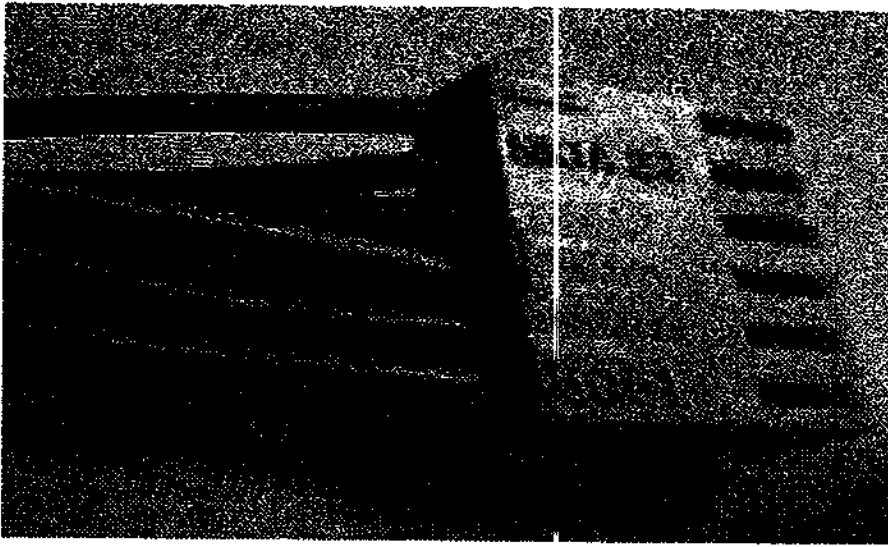
이를 극복하기 위하여 자동시각인식을 이용한 검사시스템을 활용하려는 요구가 급격히 늘고 있다. 특히 흑백화상의 시각인식분야에 있어서는 그동안 상당량의 연구가 수행되었고, 현장에 실용화된 예도 적지 않은데 예로서 전자 또는 자동차부품검사[1,2,3,6,7,13] 및 측정[10]과 공작기계부품마모검사[8] 등을 들 수 있다. 이에 반하여, 흑백화상이 아닌 칼라영상을 대상으로 한 기존의 검사시스템의 예는 극소수일 뿐만 아니라 대부분 최근에 발표된 것으로서 앞차추적시스템[5], 파일조각의 결점 분석[16], 캔(can)의 제품의 분

류[9], 도로, 차선 및 교통 표지판의 인식 시스템[15] 등이 있다.

본 연구의 목적은 아직까지 실용화 사례가 비교적 드문 색깔인식을 이용한 자동검사시스템을 구축하는 것이다. 구축하고자 하는 자동검사시스템의 검사대상은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 컴퓨터나 자동차 관련 기기의 주요부품으로 많이 사용되는 접속케이블(wire harness)이다. 이 접속케이블은 색깔이 다른 다수의 케이블로 조립되어 있는데, 그 조립순서가 사양에 맞는지를 검사하여 양/불량을 판정한다. 본 연구에서는 기 개발된 색깔인식 인공신경망(Artificial Neural Network) 모형[4]을 기반으로 하여 접속케이블 조립상태의 양/불량을 판단하는 과정을 정립한 후, 이를 이용하여 검사시스템을 구축하였다.

* 계명대학교 산업공학과 (moonkyu@kmucc.keimyung.ac.kr)

** 대우정보시스템 주식회사



(그림 1) 6가닥의 접속케이블

2. 화상정보 처리

시각인식에 의한 일반적인 검사과정은 우선 검사대상의 화상(image)을 카메라로부터 입력받아 화상정보화한 후, 이를 개선하기 위한 전처리(preprocessing)와 영상분할(segmentation) 과정을 거쳐 대상물의 특징을 추출하고, 추출된 특징정보를 이용하여 주어진 해법에 따라 판단하여 검사결과를 출력하는 것이다. 그러나, 본 검사시스템에서는 전처리와 영상분할과정을 각기 따로 수행하지 않고 한꺼번에 처리하여 인식속도를 높인 것이 큰 특징이다. 여기서는 이를 위한 화상자료 구조와 좌표계 변환에 대하여 기술한다.

2.1 화상자료 구조

카메라로부터 입력된 화상을 실시간으로 컴퓨터의 기억장치에 저장할 수 있는 것이 프레임 그래버(frame grabber)인데, 본 연구에서 사용한 비디오드럼(서두미디어社 제품)의 프레임 버퍼(frame buffer)는 확장 메모리의 E00000H 번지에 1 M바이트가 존재하며 1024(화소) * 512(줄) 형태로 구성되어 있다. 이러한 프레임 버퍼에 쓰여 있는 자료는 <그림 2>에서 주어진 바와 같이 4:1:1 YUV의 형식으로 되어 있다. 이 4:1:

1 YUV 형식에서 숫자는 4개의 입력화소에 대한 각 성분의 표본크기를 나타낸다. 특히, 밝기성분 Y는 각 화소에 대해 추출되며 색상성분 U, V는 4개의 화소에 대한 평균값이 추출된다. <그림 2>의 자료로부터 U와 V의 값을 계산하기 위해서는 C0-C3까지의 각 U와 V의 원소를 추출하여 Y성분처럼 1바이트를 구성하여 그 값을 십진수로 변환하면 된다. 결과적으로, 4개의 입력화소에 대하여 4개의 밝기성분(Y)과 각 한개씩의 색상성분(U, V)이 주어지므로 전체적으로 6성분의 자료가 하나의 그룹으로서 사용된다.

2.2 화상정보의 좌표계 변환

화상정보의 기본요소는 화소의 정보인데 칼라영상에서는 (R, G, B)가 기본적으로 추출된다(비디오드럼에서는 앞서 기술한 바와 같이 (Y, U, V)가 기본임). 이러한 각 화소의 (R, G, B) 정보로부터 직접 판단과정을 수행할 수도 있으나, 기존의 많은 연구에서는, 적용대상에 따라 이 (R, G, B) 값을 다른 3차원 좌표계로 적절히 변형하여 사용하는 것이 우수한 성능을 나타낸다고 보고되고 있다[11]. 본 논문에서는 변별력이 우수한 것으로 알려진 $(L^*a^*b^*)$ 좌표계를 사용하였는데 (Y, U, V)의 함수로서 다음과 같이 표현된다:

주소 : 0 1 2 3 4 5 6 7

Y_0	C_0	Y_1	C_1	Y_2	C_2	Y_3	C_3
b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

$Y_0 = y_6 \ y_5 \ y_4 \ y_3 \ y_2 \ y_1 \ y_0 \ xx$
 $Y_1 = y_6 \ y_5 \ y_4 \ y_3 \ y_2 \ y_1 \ y_0 \ xx$
 $Y_2 = y_6 \ y_5 \ y_4 \ y_3 \ y_2 \ y_1 \ y_0 \ xx$
 $Y_3 = y_6 \ y_5 \ y_4 \ y_3 \ y_2 \ y_1 \ y_0 \ xx$
 $C_0 = u_6 \ u_5 \ v_6 \ v_5 \ xx \ xx \ xx \ xx$
 $C_1 = u_4 \ u_3 \ v_4 \ v_3 \ xx \ xx \ xx \ xx$
 $C_2 = u_2 \ u_1 \ v_2 \ v_1 \ xx \ xx \ xx \ xx$
 $C_3 = u_0 \ xx \ v_0 \ xx \ xx \ xx \ xx \ xx$

〈그림 2〉 비디오드림의 화상자료 구조

$$L^* = 116[(Y/Y_0)]^{1/3} - 16,$$

$$a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}],$$

$$b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}].$$

여기서 $X_0 = Y_0 = Z_0 = 175.1748$,
 $X/X_0 > 0.01$, $Y/Y_0 > 0.01$, $Z/Z_0 > 0.01$,
 $X = 5.6508Y + 1.7352U + 1.5130V$,
 $Y = 0.4926U + 0.3279V$,
 $Z = 5.6508Y + 5.5748U - 0.0405V$

이다.

3. 접속케이블 자동검사시스템

본 자동검사시스템의 검사 대상은 컴퓨터 모니터의 내부에 설치되는 접속케이블로서 2 - 6 가닥의 전선이 연결되어 있다(〈그림 1〉 참조). 이 케이블은 시각 검사(전수검사)를 거쳐 출하되는데 시각검사시에는 주어진 순서에 맞도록 케이블들이 조립되어 있는가를 판단하게 된다. 이와 같은 작업자에 의한 시각검사방법은 단순반복작업으로 눈의 극심한 피로를 유발하여 현재 접속케이블 생산사인 사의 경우, 검사불량율이 0.5% - 2% 에 이르는 실정이다. 조립된 컴퓨터기가 제대로 작동하기 위하여는 단 하나의 불량 부품도

허용될 수 없으므로 이 정도의 불량율은 경제적으로 치명적이 될 수 있다. 따라서 이러한 불량율을 최소화하기 위하여 검사성능이 뛰어난 색깔인식에 의한 자동검사시스템이 요구된다.

3.1 시스템 구성

본 연구에서 구축된 자동검사시스템은

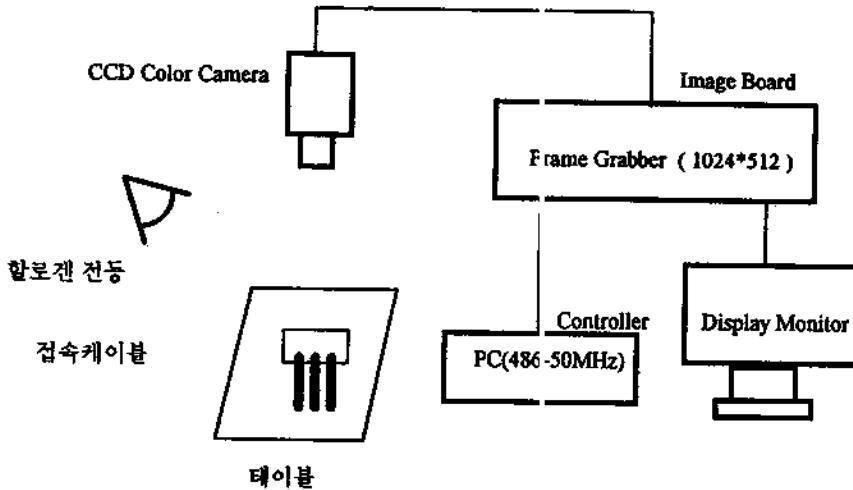
- 1) CCD Color Camera
- 2) Frame grabber - VideoDream(서두미디어社 제품)
- 3) 조명 장치 - 할로겐 전등
- 4) 개인용 컴퓨터 - PC 486DX(50MHz)
- 5) 인공지능경망 소프트웨어 - NeuralWorks Explorer (ver 4.05)
- 6) 시편 - 학습 및 시험용 접속케이블 set
- 7) 기타 - 전압조정기

등으로 구성되어 있고, 개략적인 구조가 〈그림 3〉에 도시되어 있다.

3.2 검사 과정

일반적인 화상처리 절차는 앞서 기술한 바와 같이 잡영 제거 등과 같은 일련의 전처리과정을 거쳐 화상 정보를 개선한 다음, 대상 부품을 분할하여 그 분할된 부분으로부터 특징정보를 추출하고 이를 이용하여 인식을 수행하게 되어 있다. 이러한 경우 전처리를 효과적으로 하기 위하여 화상정보를 다른 형태로 변환하여 사용하게 되는데 변환하는 과정에 많은 기억용량과 방대한 처리시간이 소요되는 문제가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 고속의 전용 프로세서를 사용하고 대용량의 기억장치를 갖추어야 하므로 시스템의 가격이 엄청나게 비싸게 된다.

본 연구에서는 이 점을 감안하여 적절한 비용으로 실시간 검사작업을 수행할 수 있는 시스템을 구축하는데 주력하여, 기존의 전처리나 분할과정을 대폭 생략한 본 검사작업에 맞는 전용해법을 개발하였다. 개발된 전용해법의 특징은 처리속도를 빠르게 하는 데에 초점을 두고 있는데 다음과 같이 요약된다: 첫째,



〈그림 3〉 검사시스템의 구성도

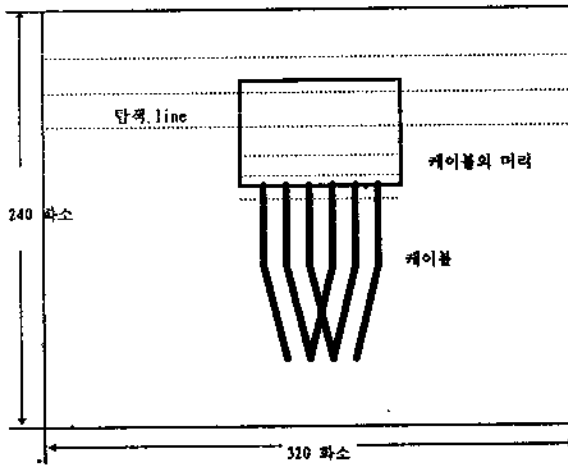
화상정보를 파일로 저장하여 저장된 파일의 화상정보를 이용하지 않고 메모리 버퍼의 화상정보를 직접 이용하는 것이다. 둘째, 변환과정이 복잡할 뿐더러 변환시간이 상대적으로 많이 걸리는 (L^* , a^* , b^*) 좌표계로 모든 화상정보를 변환시키지 않고, 1차적으로 얻어지는 (Y, U, V) 값에서 전선이 존재할 범위를 찾은 다음 그 영역에서만 (L^* , a^* , b^*) 좌표계로 변환하여 상세히 조사하는 방법을 취하였다. 셋째, 접속케이블의 색깔이 모두 밝은 것에 착안하여, 접속케이블의 영상에서 일정한 간격을 두고 수평방향으로 한 라인씩 명암의 변화를 조사하여 접속케이블의 머리 부분을 신속하게 찾아냄으로써 조사범위를 극대화하였다.

특히, 머리 부분을 찾은 다음에는 접속케이블의 머리 부분이 존재하는 영역중에 화소의 분산이 상대적으로 큰 곳이 있는지를 조사하여 앞뒤면을 구별한다. 접속케이블 자체의 경우에도 접속케이블의 머리가 있는 X축 영역사이에만 조사하면 되므로 조사 범위가 상당히 줄어들게 된다. 〈그림 4〉는 카메라로부터 연속적으로 입력받는 화상의 모습과 위의 과정을 거쳐 조사된 부분을 나타내고 있다. 여기서 조사영상의 크기가 320×240 인 이유는 해상도가 640×480 인 모니터에 편의상 1/4의 크기로 출력하기 때문이다.

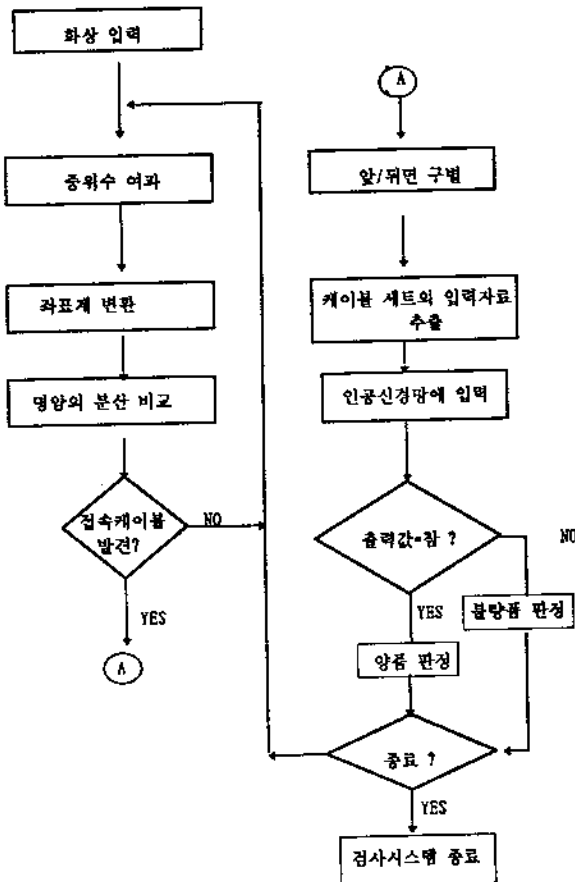
접속케이블의 머리 부분을 찾아낼 때 화상정보에 포함된 잡음을 제거하기 위하여 중위수 여과법(median

filtering) 을 사용한다. 케이블에 해당되는 화소는 배경과 다른 색깔을 가지므로, 연속되는 5개의 화소정보가 배경과 일정수준 이상 차이가 나고 바로 앞 케이블의 화소(첫번째 케이블인 경우는 배경이 됨)와 화소정보가 다를 경우 한가닥의 케이블로 판단한다. 여기서, 인식과정에 사용될 각 케이블의 대표값은 4개의 화소의 평균치를 취한다. 이와 같은 과정을 반복하여 규정된 수 만큼의 케이블을 찾으면 탐색작업을 종료하고 찾은 화상정보를 보다 변별력이 뛰어난 (L^* , a^* , b^*) 좌표계로 변환하여 다음 절에 기술된 인공신경망(역전파신경망: Back-Propagation Neural Network)의 입력자료로 사용한다. 결과적으로, 각각의 전선에 대한 (L^* , a^* , b^*) 값으로부터 얻어지는 역전파신경망(역전파신경망 구성은 상용소프트웨어인 NeuralWorks를 사용함)의 출력치를 이용, 추정된 색깔 순서와 프로그램 구동시에 입력한 옳은 값을 비교하여 양/불량을 판단하게 된다. 이와 같은 접속케이블의 검사과정 순서도가 〈그림 5〉에 주어져 있다.

참고로, 색깔인식을 응용한 최근의 연구는 인공신경망을 이용한 경우가 많은데 Cai & Chen[11], Fujimura[12], Kishida[14] 등이 그 예이다. 본 연구에서는 역시 이들의 연구결과를 참조하여 개발된 접속케이블 검사용 인공신경망을 검사시스템에 활용한 것이다.



(그림 4) 접속케이블의 탐색과정



(그림 5) 접속케이블의 검사시스템의 순서도

3.3 접속케이블 검사용 인공신경망

3.3.1 구조

접속케이블의 조립검사를 위해서는 위와 같은 과정을 거쳐 구한 각 케이블의 색깔 대표치와 기준되는 색깔값과 비교하여 해당 색깔을 인식하는 과정이 요구된다. 이를 위한 기초연구로서 본 연구진에서는 단일 케이블의 색깔인식을 위한 역전파신경망을 개발한 바가 있다[4]. 그러나, 케이블의 색깔을 한 개씩 인식하는 경우, 주어진 케이블들의 모든 색깔을 동시에 올바르게 인식해야 하기 때문에 케이블 색깔수가 증가하면 인식율이 크게 떨어지게 된다. 이런 단점을 보완하기 위하여 본 검사시스템에서는 같은 조건하에서 각 케이블의 화상정보를 얻어 이를 한꺼번에 학습시키는 방법을 사용하였다. 즉, 색깔 상호간의 상관관계를 신경망에 학습시킴으로써 보다 변별력을 높이고자 하는 것이다. 이러한 구조를 사용하면 접속케이블의 종류에 따라 신경망도 각각 다른 구조로 생성시켜야 하지만 이는 개발된 프로그램에서 자동으로 인식하여 신경망을 재구성하여 주므로 사용자는 신경 쓸 필요가 없다.

검사대상 접속케이블의 종류는 3색짜리(blue, red, black) 한 가지와 6색짜리(blue, red, green, white, pink, yellow) 한 가지이다. 2색짜리도 있으나 이 경우에는 육안으로도 쉽게 구별되고 거의 불량 발생하지 않기 때문에 대상에서 제외하였다.

(그림 6)은 본 연구에서 6색 케이블을 인식하기 위하여 사용한 신경망의 구조인데

입력층의 유니트수 : $6(\text{전선수}) \times 3(\text{케이블당 정보량}) = 18\text{개}$,

은닉층의 유니트수 : 30개,

출력층의 유니트수 : $6(\text{전선수}) \times 7(\text{인식가능한 색깔의 총수}) = 42\text{개}$

로 구성되어 있다. 한편, 3색케이블 검사를 위한 신경망구조는 입력층 유니트수 9개, 은닉층 유니트수 15개 그리고 출력층 유니트수 21개로 되어 있다. 이러한 구조들은 임의로 구축된 것들로서 최적구조와 크게 다를 수 있으나 실험결과 우수한 성능을 나타내었기에 그대로 채택하였다. 물론, 실제현장의 적용도와

성능을 제고하기 위해서는 최적구조로 구축하여야 하고 그러기 위해서는 많은 발견적 노력이 요구된다.

3.3.2 학습 과정

인공신경망의 학습을 위한 학습자료는 두가지 접속 케이블에서 각각 30조씩 채취하여 사용하였다. 그 중에 15조는 접속케이블 시편을 앞면으로 놓고 자료를 채취하여 정순서 자료로 하였고, 그 자료의 순서를 거꾸로 하여 역순서 자료를 생성하였다. 나머지 15조는 뒷면으로 놓고 자료를 채취하고, 동일한 방법으로 생성한 정순서 자료를 사용하였다. 3색케이블의 경우, ① 각 조마다 3가지 색이 나올 수 있는 순서쌍인 $3! = 6$ 가지 모두를 채취한 학습자료와 ② 정순서(앞쪽)와 역순서(뒤쪽) 두 가지 만으로 구성된 것을 학습용 자료로 사용하였다. 이와는 달리, 6색 케이블의 경우에는 정순서와 역순서 두 가지 만을 생성한 것을 학습용 자료로 하였다. 정순서에 의한 학습자료는 시편을 앞면으로 놓았을 때 얻은 케이블의 순서대로 각 케이블의 (L^*, a^*, b^*)의 화상정보와 목표출력값으로 이루어지고, 역순서에 의한 학습자료는 정순서의 자료에서 케이블의 순서를 반대로 바꾼 것이다.

3색케이블의 경우, 이와 같이 학습자료를 2종류(6색은한 종류)로 준비한 이유는 3색케이블의 경우 나올 수 있는 순서쌍인 $3! = 6$ 가지를 모두 학습시키는 것이 확실한 방법이지만, 정순서와 역순서 두가지만 학습시켰을 경우와 변별력의 차이를 비교해 보기 위함이다.

참고로, <표 1>은 청색, 녹색, 분홍색, 적색, 백색, 황색의 6가지 색으로 구성된 접속케이블의 학습에 사용된 자료의 일부를 보여준다. 여기서 흑색이 포함된 것은, 향후 흑색이 섞인 다른 유형의 접속케이블을 다룰 수 있도록 일반화하기 위함이다. 이 경우에는 흑색이 없기 때문에 그 출력값을 0으로 하였다.

3.3.3 성능 평가

검사시스템의 성능을 평가하기 위하여 두가지 접속 케이블에서 우선 각각 50개의 정순서 표본을 추가로 채취하였다. 다음, 그 표본의 색깔정보를 역순으로 한 역순서 자료와 임의로 1쌍의 케이블을 교환한 자료

(이 경우에는 검사결과가 불량으로 나와야 올바른 것임)를 비교하여 모두 3가지의 성능평가자료를 만들었다. 이러한 자료를 가지고 평가한 결과 <표 2> - <표 4>에 나타난 바와 같이 여러 종류의 학습자료를 학습시킨 것이 색깔인식의 변별력을 높이는 것으로 나타났다. 그런데 정순서와 역순서의 두가지만 학습시킬 경우에는 정확한 색깔은 구별하지 못하지만 본 검사시스템에서 요구하는 기능인 양/불량은 정확하게 구별하는 것을 알 수 있다.

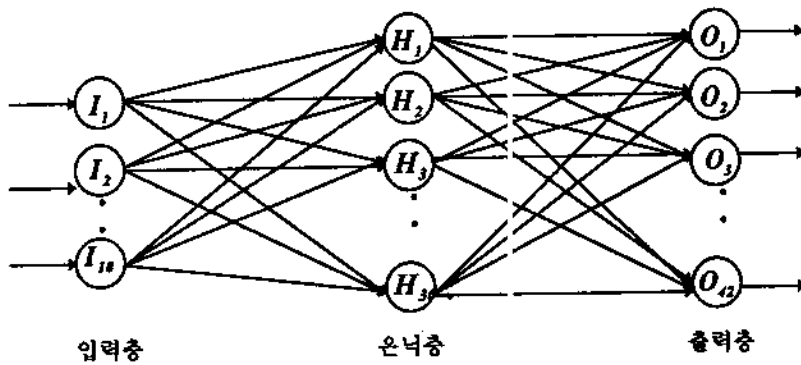
여러 색깔의 접속케이블의 경우 색깔끼리 순서가 바뀌는 것을 고려하여 많은 학습자료가 필요할 것으로 보이나 실험결과 정순서와 역순서만 고려해도 변별력은 전혀 떨어지지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 이 경우에도 추가로 많은 자료를 학습시킬 필요 없이 정순서와 역순서만 학습시켜도 양/불량을 판단하는 검사의 성능을 만족할만 하게 유지함을 알 수 있다.

색깔을 잘못 인식하는 경우에는 양품을 불량품으로 인식하는 제1종 과오(Type I Error)와 불량을 양품으로 인식하는 제2종 과오(Type II Error)가 있다. 본 검사시스템은 positive 형식(규정에 맞는 경우에만 합격시킴)을 취하고 있어서 제2종 과오의 발생이 문제될 수 있다.

그러나, 실제 실험결과, 한쌍의 순서를 바꾼 50개 불량 접속케이블의 경우 중 양품으로 처리한 경우가 한 건도 없었던 것으로 미루어 보아 제2종 과오는 무시하여도 무방할 것으로 판단된다. 또한, 제1종 과오는 검사과정에서 불량으로 판정되는 경우가 상당히 드물기 때문에 불량으로 판정되는 것만 작업자가 전수검사를 수행하면 인식율을 월등히 높일 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

본 논문에서는 실제 응용연구가 적은 칼라영상에서의 자동검사시스템 구축문제를 다루었다. 실험에서 사용한 프레임 그래픽이 전문용이 아니라 멀티 미디어 용이기 때문에 카메라의 해상도를 충족시킬 수가 없어서 화상이 덜 선명함에도 불구하고, 제안된 검사시스템은 이상 케이블의 화소가 적절히 선택될 경우 거



〈그림 6〉 6색케이블 검사용 신경망의 구조

〈표 1〉 6색 접속케이블의 회습자료 예.

L*	입 력 값		목 표 출 력 값						
	a*	b*	흑색	청색	녹색	분홍색	적색	백색	황색
76.28	-65.58	-1.43	0.0	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
90.61	185.76	183.82	0.0	0.1	0.1	0.1	0.9	0.1	0.1
81.99	-116.01	129.94	0.0	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1
102.84	40.46	164.26	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	0.1
76.13	134.16	139.07	0.0	0.1	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1
61.65	49.92	108.96	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9

〈표 2〉 3색 케이블에서 모든 경우(3!=6가지)를 학습한 경우.

평가 방법	테스트 데이터	정순서 데이터	역순서 데이터	무작위로 한쌍이 교환된 경우
모든 색깔이 인식된 표본수		50 (100%)	50 (100%)	50 (100%)
양/불량이 인식된 표본수		50 (100%)	50 (100%)	50 (100%)

〈표 3〉 3색 케이블에서 정순서와 역순서만 학습한 경우.

평가 방법	테스트 데이터	정순서 데이터	역순서 데이터	무작위로 한쌍이 교환된 경우
모든 색깔이 인식된 표본수		50 (100%)	50 (100%)	0 (0%)
양/불량이 인식된 표본수		50 (100%)	50 (100%)	50 (100%)

〈표 4〉 6색 케이블에서 정순서와 역순서만 학습한 경우.

평가 방법	테스트 데이터	정순서 데이터	역순서 데이터	무작위로 한쌍이 교환된 경우
모든 색깔이 인식된 표본수		50 (100%)	49 (98%)	0 (0%)
양/불량이 인식된 표본수		50 (100%)	50 (100%)	50 (100%)

의 완벽하게 양/불량을 구별할 수 있었다. 그러나 화상정보는 조명에 아주 민감하므로 본 검사시스템을 실제 작업현장에서 활용하기 위하여는 적절한 조명장치를 추가해야 할 것으로 보인다.

기존의 대부분 검사시스템들이 처리속도를 높이기 위하여 전용 프로세서 (DSP(Digital Signal Processor) 등)를 병렬로 연결하는 시스템을 구축하였던 것에 비하여, 본 검사시스템은 비교적 합리적인 비용과 장비(PC수준)로 구축된 실시간처리 검사시스템이라는 점에 그 의의가 있다.

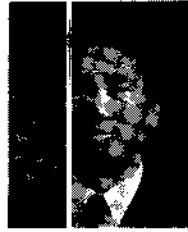
본 연구는 접촉케이블 검사작업을 위한 전용해법개발에 치중하여 자동검사시스템을 구축하였으므로 작성된 프로그램을 그대로 다른 검사작업에 응용하기 어렵다는 단점이 있다. 즉 실제현장 개개의 작업특징에 따른 적합한 해법의 개발이 필요하다. 이를 위해 다른 해법 개발에 도움이 될 만한 기능을 tool box로 제공하는 것 등에 관한 추가연구가 필요하리라 생각한다.

【참고문헌】

- [1] 박창문, 장동식, "실시간 자동차 유리마크 유무 및 불량도 자동인식시스템," 한국경영과학회/대한산업공학회 '93 춘계공동학술대회 발표논문집, 계명대학교, 1993.
- [2] 안상섭, 유영기, 노병욱, 조형석, "신경회로망을 이용한 인쇄회로기판의 결함검출과 분류 알고리즘," '94 한국자동제어학술회의논문집, pp.950-955, 1994.
- [3] 오영진, 김진현, 박귀태, "타이어 자동 선별을 위한 문자인식 알고리즘," 제1회 문자인식 워크샵, pp.121-126, 1993.
- [4] 이문규, 윤찬균, "역전파신경망을 이용한 케이블의 색깔인식," 산업공학, 제8권 제1호, pp. 5-13, 1995.
- [5] 정준영, 한민홍, "Vehicle-Following System using Color-Vision," 대한산업공학회/한국경영과학회 '94 춘계공동학술대회 발표논문집, 창원대학교, 1994, 536-542.
- [6] 정필, 정연구, 김용, 강대기, "전자부품 제조공정에서의 인라인 자동검사시스템," 대한산업공학회 춘계학술대회 발표논문집, pp.340-345, 1994.
- [7] 황은자, 김용경, 신정금, 김문현, "신경망 기반의 Bare PCB 검색," 한국정보처리응용과학회 '94 추계학술발표논문집, 제1권 제2호, pp.348-351, 1994.
- [8] Al-cindi, G. A., Baul, R. M., and Gill, K. F., "An Application of Machine Vision in the Automated Inspection of Engineering Surfaces," International Journal of Production Research, Vol. 30, No.2, pp. 241-253, 1992.
- [9] Aseasi, G. D., Sanchez, R. T., Balibrea, T. L. M., Lozano, M. J. L., "Automatic color identification system through computer vision techniques for its application in classification of canned vegetable tins according to product size and qualities," International Conference on Systems, Man, Color and Cybernetics, 1994, 868-872.
- [10] Asoudegi, E., "Computerized Dimensional Inspection," Computers and Industrial Engineering, Vol. 23, No. 1-4, pp.357-360, 1992.
- [11] Cai, Y., and Chen, C., "The Artificial Neural Network Method for Tea Classification," Proceeding of 1993 International Joint Conference on Neural Network, Nagoya, pp.975-978, 1993.
- [12] Fujimura, K., Tokutaka, H., Kishida, S., Nishimori, K., Ishihara, N., Yamane, K., and Ishihara, M., "Application of Kohonen's Self-Organizing Feature Maps into the Problem of Selecting the Buttons," Proceedings of 1993 International Joint Conference on Neural Networks, Nagoya, pp.2472-2475, 1993.
- [13] Griffin, P. M., Villalobos, J. R., Foster, J. W., and Meisimer, S. L., "Automated Visual Inspection of Bare Printed Circuit Board," Computers and Industrial Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 501-509, 1990.
- [14] Kisaida, S., Ishihara, M., Tokutaka, H., Fujimura, K., Nishimori, K., and Ishihara, N., "Problems of Selecting the Buttons in the Layered Neural

Network Application," Proceedings of 1993 International Joint Conference on Neural Networks, pp. 2528-2531, 1993.

- [15] Priese, L., and Rehrmann, V., "On Heierarchical Color Segmentation and Application," Koblentz University, IEEE, 1993.
- [16] Sanchez, T. R., Balibrea, T. L. M., Alcantud, L. J. A., Asensi, D. G., "Automatic vision inspection system for the analisys and detection of breakages and defects of satsuma slices," International Conference on Systems, Man, Color and Cypnetics, pp.853-858, 1994.



이문규(李文圭)

1979년 서울대학교 산업공학과
1981년 한국과학원 산업공학 석사
1989년 한국과학기술원 산업공학 박사
1992년 Rutgers대 Post-Doc.
현재 계명대학교 부교수이며 관심분야는 machine vision 응용, 지능형 생산시스템 및 물류시스템 등이다.



윤찬균(尹贊均)

1993년 계명대학교 산업공학과
1995년 계명대학교 산업공학과 석사
현재 대우정보시스템에 근무하고 있으며, 관심분야는 machine vision 응용, 시뮬레이션, 생산시스템 자동화 등이다.

96년 1월 최초 접수, 96년 3월 최종 수정