

시각센서를 이용한 차체 패널 자동검사 시스템 개발

Development Auto Inspection System for Body Panel Using Visual Sensor

이 용 중*, 이 형 우**, 권 석근***

*창원기능대학 생산자동화과, **창원기능대학 전기과, ***울산대학교 전기전자 및 자동화 공학부

Abstract

This study is to implement automatic inspection system of motor body panel by visual system. since it is inefficient to examine adhesion condition of components with the naked eye, image processing algorithm is presented to replace the existing manual inspection process with an automatic inspection process the developed automatic inspection system presents the examination method of the adhesion condition of components with a pixed camera, which leads to an increase of the productivity and a reduction of manufacturing cost

I. 서론

최근 자동차 생산설비에 대한 성능과 신뢰성 향상을 피하면서 생산단가도 인하할 수 있는 기술적 확보가 절실하다. 생산 자동화에 많은 제약성을 가지고 있는 자동차 차체 패널에 대한 검사를 자동으로 수행하는 검사 자동화 시스템을 요구되고 있다^[1]. 본 연구는 조명 조건이 불안정한 환경에서 자동차 차체 패널에 부착되는 볼트, 너트, 유닛(이하 부품)의 누락을 자동으로 검사하는 시스템을 개발하는 것이다. 검사대상물로 선정된 차체 패널은 리어 사이드 멤버(R/R SIDE MBR)로 압연 철판을 프레스로 절단한 4, 5개의 곡면형상 조각을 점 용접으로 연결한 것이다. 중량은 15kg, 길이는 1m, 넓은 면 폭 0.25m, 좁은 면 폭 0.03m로 곡면 형상이다. 차체 패널에 부착하는 부품 형상은 fig 1과 같고 볼트가 2-5개, 너트는 34개이며 유닛은 2-3개이다^[2, 3].

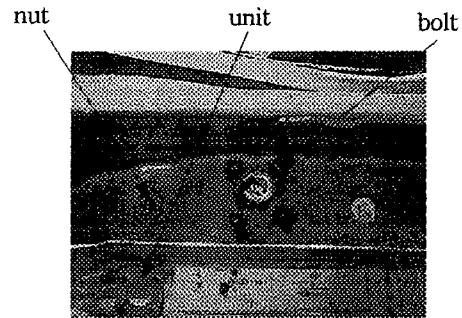


fig 1. Adhesion condition of components

이 수량은 생산하는 모델에 따라 다소 차이가 있다. 부품은 fig 1과 같이 노출되어 있지만, 이것을 먼 용접하면 매입된다. 따라서 외부에서 부착 상태를 육안으로 판단하는 것이 어렵게 된다. 이 차체 패널을 생산하는 공장은 1일 약 20시간 작업에 1,560대 이상을 생산해야 한다. 그러므로 모델이 단종 될 때까지 사이클 타임을 1초라도 줄이기 위해서 노력하고 있다^[2, 3]. 이렇게 사이클 타임을 중요하게 생각하는 환경에서 종래의 방법처럼 차체 패널에 용접된 부품을 작업자가 매직 펜으로 한 개씩 체크하면서 육안으로 부착 유무를 검사한다는 것은 매우 비효율적이다. 특히 야간 작업인 경우 이 문제는 더욱 심각하다. 만일, 부품이 누락된 차체 패널을 상위 공정에 그대로 투입하게 되면, 최종 차체 패널 결합 라인에서 작업자가 부품 누락을 발견하게 되더라도 재 부착하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 이런 결함이 발견된 완성품은 프레스로 압착하여 폐기하므로 경제적으로 타격을 입는다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 인덱스 지그에 접촉식 센서를 설치하여 부품의 부착 상태를 검사하는 방법을 적용하였다. 이것은 on/off 방식으로 검출하여 지그의 제어시스템과 인터록을 연결하는 방법이며,

실제 적용한 결과 다음과 같은 문제점이 도출되었다^[2, 3].

- 1) 설치하고 유지하는 경비는 많이 소요되지만 교체기간이 약 3개월 정도로 너무 짧다.
- 2) 패널에 용접할 때 접촉식 센서를 통한 고전류 통전으로 제어 시스템에 노이즈 유입이 우려된다. 이것이 제어시스템의 인터록 오동작에 원인이 될 수도 있다.
- 3) 모델이 변경되면 접촉식 센서의 위치도 변경해야 한다.

따라서 이러한 생산 현장의 문제점을 해결하기 위하여 비접촉식으로 운영되는 컴퓨터비전 시스템을 이용한 검사 자동화 시스템의 개발이 필요하였다. 컴퓨터비전 시스템을 현장에 설치하기 전에 검토한 결과 도출된 문제점은 다음과 같다. CCD카메라를 설치해야 하는 현장에 인덱스 지그의 회전 영역과 대형 점 용접 로봇의 작업 영역 때문에 완전하게 빛을 차광할 수 있는 장치를 설치하는 것은 불가능하다. 따라서 주변 조명에 완전히 노출되어 있으므로 빛 에너지가 균일하지 못하게 되어 입력 화상이 불안정하게 된다. 차체 패널은 특성상 여러 부품이 서로 인접되어 있다. 모든 부품에 1:1의 CCD카메라로 검사하기 위하여 여러 대의 카메라를 좁은 구역에 한꺼번에 설치하게 되면 상호 간섭이 되고 카메라 소요 금액이 상승한다. 또 1대의 카메라로 여러 부품을 동시에 검사하는 경우, 자동으로 초점을 조정하는 렌즈를 사용하거나 실린더 또는 인버터 등으로 구동하는 카메라 위치 이동 장치를 이용하여 검사 거리를 자유롭게 조절하는 방법을 검토할 수 있다. 그러나 이 공장의 경우 지그와 로봇에 의한 기구적인 간섭과 다양한 제어 인터록 조건 설정의 문제 때문에 시스템의 안전한 운전을 위하여 카메라를 고정한다. 이렇게 카메라가 고정된 상황에서 모든 조건을 수용할 수 있는 적합한 렌즈를 선택하여 초점과 검사 영역 모두를 확보하는 것도 사실상 불가능하다. 그러므로 초점이 어느 정도 만족하는 렌즈를 선택한 다음, 검사 영역을 많이 확보한다는 관점에서 검사 거리를 다소 멀리 하면서 패널에 매입된 부품을 검사하기

위하여 약간 기울게 설치하는 것이 보편적인 방법이다. 그러나 이 방법도 입력 화상이 왜곡되고 부정확하게 되므로 완벽한 방법이 아닌 것을 알 수 있다.

II. 적용 알고리즘 검토

자동 검사 시스템의 구성은 fig 2와 같이 인덱스 지그, 컴퓨터비전, 용접 로봇, 9개의 고정 CCD카메라와 그래픽 보드 및 16채널용 멀티플렉서로 구성한다.

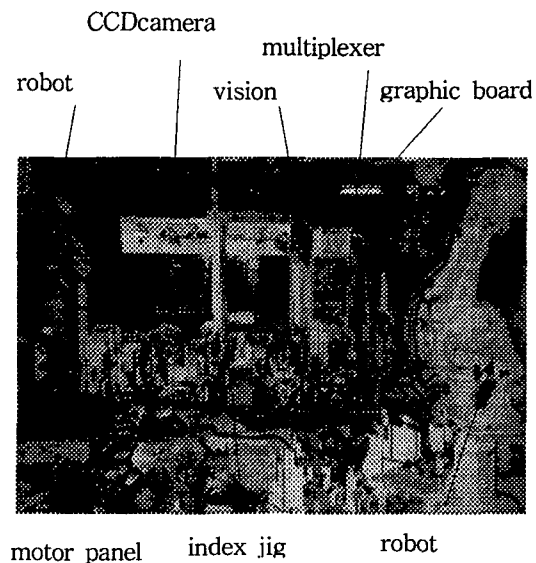


fig 2. Auto inspection system cfiguration

자동 검사 시스템의 운용 순서는 다음과 같다. 자동차 공장의 최상위 공정에서 그 날 생산해야 할 모델(차종)을 선택하여 모든 공정에 설치된 P.L.C를 경유하여 통보한다. 이 신호는 컴퓨터비전 시스템에 기억된 여러 모델의 그룹 데이터 중에서 그 날 검사해야 하는 한 개의 그룹 데이터를 선택하는 동기 신호로 적용된다. 생산이 시작되면, 앞 공정에서 자동으로 운반된 검사용 패널이 인덱스 지그에 안착된다. 그러면, 인덱스 지그의 리밋 스위치를 통하여 컴퓨터비전 시스템으로 부품 검사 신호가 입력된다. 순차로 입력되는 화상은 16채널용 멀티플렉서가 채널 교환 방식으로 컴퓨터비전 시스템에 입력한다. 그 다음 컴퓨터

비전이 데이터를 선형화하고 프레임 메모리에서 데이터를 분류한 다음, 비교 검사한 결과를 fig 3의 그래픽 보드로 출력한다^[2, 3].

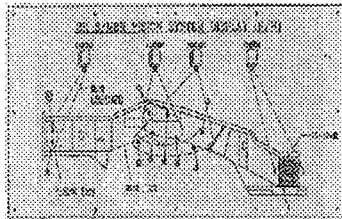


fig 3. Graphic board

그래픽 보드는 LED로 구성되어 누락이 발견되면 검사한 카메라 영역별로 적색 LED가 ON되고, 양호하면 청색 LED가 ON되어 현장 관리자가 식별을 쉽게 할 수 있도록 되어 있다. 모든 검사를 마친 후 등록된 패턴 데이터와 차이가 있을 때 컴퓨터비전 시스템은 생산라인을 정지시키는 디지털 신호를 출력하여 라인 자동 시스템에 제동을 건다. 문제가 없으면 인덱스 지그가 180도 회전하게 되어 지그 하부에 매입형으로 설치된 위치 고정 핀이 상승하여 인덱스 지그를 고정시킨다. 그 다음, 로봇이 용접하면 패널이 결합되어 상위 차체 조립공정으로 이송된다. 이 생산 공정 가운데 본 연구에서는 불규칙한 조명 환경을 극복할 수 있는 조명장치의 운영과 부품에 대한 부착 상태를 검사하는 방법을 중점적으로 연구하여 다음과 같은 알고리즘을 제시한다.

1. 전처리 알고리즘

fig 4는 9개의 입력화상 중에서 4번째 카메라의 입력화상으로 그레이레벨 데이터를 가지고 있다.

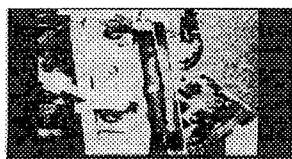


fig 4. Grey level image

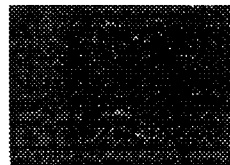
이 화상에 대한 특징 값을 구하는 방법으로 배경과 검사 부품을 분리하고 처리 시간의 단축을 위하여 문턱 값 결정 방법으로 이진화 한다^[4, 5]. 문턱 값 결정 방법은 전역 결정 방법과 국부 결정 방법으로 나눌 수 있다^[6]. 전역 문턱 값을 이용한 방법은 전체 화상에 대하여 한 개의 최적 문턱 값을 찾는 것이다. 전역 문턱 값을 이용한 이진화를 확인하기 위하여 fig 4를 fig 5(a), 5(b), 5(c)와 같이 각각 1차 미분, 소벨, 라플라시안 연산자를 적용하여 부품에 대한 원과 선을 예지로 검출하였다^[7].



(a) difference



(b) sobel



(c) laplacian

fig 5. Filtered image

fig 5(a)의 그레이레벨 데이터의 변화에 상대적으로 예민한 1차 미분 필터와 fig 5(b)의 에지 강조에 탁월한 소벨 필터를 적용한 결과를 보면, 검출되는 원과 직선 성분이 불규칙하다. 라플라시안 필터를 적용하면 fig 5(c)과 같이 부품 자체가 거의 사라져 버리는 문제가 있다. 이것은 노출된 조명 환경 때문에 부품의 돌출 부분은 밝은 반사광이 존재하고 클램프로 가려진 부분은 어두운 값이 되어 검사 영역의 빛 에너지가 복잡하게 형성되기 때문이다. 따라서 본 연구를 적용한 자동차 생산 공장과 같이 조명 환경이 불균등한 환경에서는 전역 결정 방법이 적합하지 못한 것을 알 수 있다.

또한, 국부 문턱 값을 이용하는 방법은 전체

화상을 다수의 국부적인 영역으로 나누고, 그 국부영역에서 명암도 분포에 대한 특성을 이용하여 최적의 문턱 값을 구하는 방법이다. 이 방법은 패턴 인식에 탁월한 전처리로 알려져 있지만, 검사 부품과 배경이 완전히 분리될 수 있는 조명 조건이 선결되어야 하는 문제점이 있다. 그러므로 이러한 전처리 문제점을 고려하여 전체 부품을 동시에 검사하는 방법은 배제한다. 각 부품에 특성과 조건을 개별적으로 분석하여 검사하는 방법을 선택한다.

2. 검사 알고리즘

부품 중에서 유닛은 다음 fig 6과 같이 배경보다 밝고 변동율이 많다. 따라서 fig 5와 같이 입력화상에서 유닛 부분만 사각 윈도우를 이용하여 국부영역으로 분리하고 문턱 값을 설정한다[4].

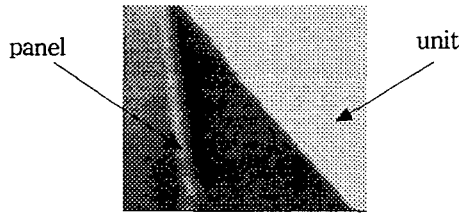


fig 6. Unit

문턱 값 설정 방법을 보면, 어둡게 입력되는 유닛은 사각 윈도우의 가장 어두운 화소의 그레이 레벨 값을 I_{\min} , 보정 값을 I_n (플러스 값)으로 할 때, 최소 값 기준 문턱 값 L_s 는 식 (1)과 같다.

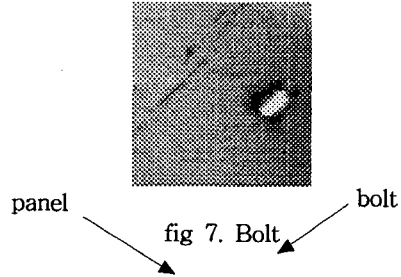
$$L_s = I_{\min} + I_n \quad (1)$$

밝게 입력되는 유닛은 윈도우내의 가장 밝은 화소의 명암 값을 I_{\max} , 보정 값을 I_x (마이너스 값)으로 할 때 최대 값 기준 문턱 값 L_s 는 식 (2)과 같다.

$$L_s = I_{\max} + I_x \quad (2)$$

이렇게 설정하면 조명 환경이 변화하더라도 유닛을 양호하게 검사할 수 있다.

부품 중에서 볼트는 다음 fig 7과 같이 그레이 레벨 데이터 빈도 수가 고르게 분포된 화상임을 알 수 있다.



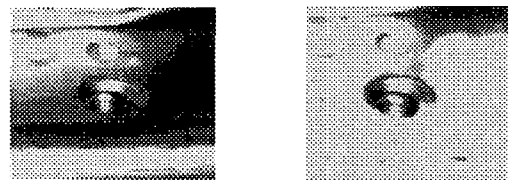
그러므로 컴퓨터비전 시스템의 프레임 메모리에 기억된 그레이레벨 데이터가 i 인 화소와 입력 화상의 그레이레벨 데이터가 j 인 화소 사이의 인접성은 식 (3)과 같은 벡터로 나타낼 수 있다[8].

$$[P(i, 1), P(i, 2), P(i, 3) \dots P(i, j)] \quad (3)$$

(3)의 관계를 이용하면 식 (4)와 같이 교차 상관을 갖는 상관 계수 a_{ij} 의 값을 설정하여 볼트를 검사할 수 있다[8].

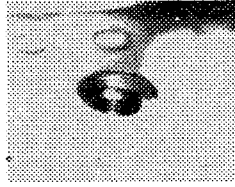
$$a_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k P(i, k) \cdot P(j, k)}{\left[\sum_{k=1}^k P(i, k)^2 \cdot \sum_{k=1}^k P(j, k)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

fig 8(a), 8(b), 8(c)는 차체 패널에 매입된 너트로 25mm렌즈로 동일 거리와 동일 조명 조건에서 3차례 입력한 화상이다.



(a)

(b)



(c)

fig 8. Nut

그러나 fig 8(a), 8(b), 8(c)는 육안으로 봐도 서로 다른 것처럼 보인다. 특히 매입된 너트를 보면 조명에 반사되어 나사가 하얀 흰 덩어리 모양으로 되어 있다. 즉, 검사해야 할 이 부분의 그레이 레벨 데이터 빈도 수가 매우 불규칙함을 알 수 있다. 볼트를 검사할 때와 같이 교차 상관 계수를 fig 8(a), 8(b), 8(c)에 적용하면 α_{ij} 가 +0.10 이하로 되어 일치 비율 데이터를 신뢰할 수 없다. 또 α_{ij} 을 낮은 값으로 설정하면 fig 9와 같이 들어오는 빛이 차체 패널 배면에 반사되어 너트가 누락되어도 마치 너트가 있는 것처럼 인식하는 문제도 있다.

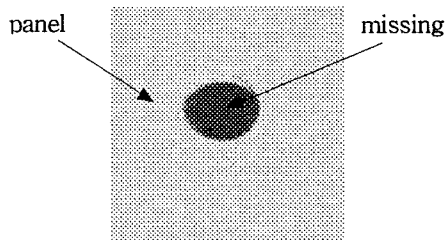


fig 9. Missing nut

이러한 문제점을 현장에서 분석한 것을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 아연 도금된 너트를 점 용접할 때 고전류가 통전된다. 따라서 통전 조건에 따라 너트의 나사 부분이 흰색에서 주황색 또는 다갈색 등으로 다양하게 변색된다.
- 2) 상위 공정에 필요한 수량보다 여유로 조금 더 만들어 이 여유 분량은 한번에 모아 상위 공정으로 보낸다. 그러므로 적재기간 동안 용접된 너트가 빨강계 녹색 상태에서 검사 공정에 들어오게

된다.

그러므로 매입된 너트 검사는 국부 문턱 값을 이용할 수 있는 조명 환경이 되어야 상관 계수를 적용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

III. 현장 적용과 고찰

볼트를 검사할 때 식 (3)의 i 와 j 가 공간적으로 서로 인접하여 동일한 속성을 갖는 명암 값이면 α_{ij} 는 1에 근접하였다. 완전히 노출된 볼트는 α_{ij} 을 +0.95에서 +0.9로 하였다. 클램프에 가려진 볼트는 α_{ij} 을 -0.9에서 -0.75로 설정한 결과 양호하게 패턴을 인식할 수 있었다.

또한, 너트를 검사할 때의 문제점은 다음과 같은 방법으로 해결하였다.

- 1) 조명 장치는 기존의 마름모형으로 설치한 형광등 대신 20w~50w 집광형 할로겐 램프를 사용하였다.
 - 2) 초점 조절과 집광이 용이한 별도의 원형 글라스를 제작하여 할로겐 램프 조명이 너트 내부로 정확하게 투사하게 하였다.
 - 2) 기존의 25mm렌즈 대신 50mm렌즈로 교체하여 입력 화상을 2배로 확대하였다.
- 이렇게 개선된 조건에서 입력 화상은 fig 10과 같다.

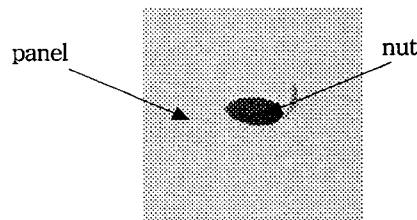


fig 10. Improved nut image

fig 10는 국부영역의 문턱 값으로 이진화한 화상처럼 입력되므로 전처리 문제점이 완전히 해결된 것을 알 수 있다. 따라서 α_{ij} 를 작게 설정하더라도 fig 9의 너트 누락 화상과 확연히 차이가

있는 것을 알 수 있다. 이렇게 입력화상에 대한 문제점이 완전히 개선된 상황에서 fig 10과 같은 순서로 화상 제측 기법을 적용하였다[9, 10, 11].

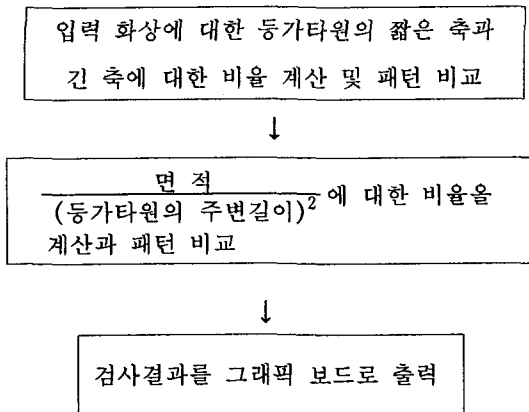


fig 10. Image processing flow

개발한 자동 검사 시스템을 현장에 적용한 결과, 컴퓨터비전 시스템과 CCD카메라 및 멀티플렉서가 처리하는 시간은 표 1과 같이 소요되었다.

table 1. Processing time

항목	CCD카메라 화상 입력 시간	멀티플렉서 채널 교환 간격	컴퓨터비전 시스템의 패턴 비교 시간
소요 시간	120 mm sec	340 mm sec	18 mm sec

IV. 결론

본 연구에서 개발한 자동 검사 시스템이 9대의 카메라에 입력된 화상에 대한 전체 검사 소요 시간은 5초 이내였다. 전체 생산 공정에서 패널 검사에 배정된 사이클타임이 35초인 것에 비하여 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

또한, 자동 검사 시스템을 실험실에서 현장으로 이동 설치한 다음, 신뢰성을 확인하기 위하여 생산기술, 보전, 생산담당자가 여러 가지 실험을 하였다. 즉, 주야 교대로 종이와 테이프로 검사 부품 위를 막거나 다른 부품을 부착하는 방법으

로 오차를 유도하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 자동 검사 시스템이 자동차 차체 생산 공장의 생산성 향상과 원가절감에 크게 기여할 수 있는 설비임을 입증할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 加藤敏夫, "자동차 부품 제조라인의 화상처리 기술", 월간자동인식기술 vol.1 no.5. pp. 64-67. 1996.9.
- [2] 이 용 중, 이 양 범, 시각장치를 이용한 자동차 차체(RR S/MBR)자동 검사 시스템 구현, 울산대학교 · 연구보고서. 1998.
- [3] 이 용 중, 이 양 범, "불균등조명환경에서 자동차 차체 자동검사 알고리즘," 제어·자동화·시스템 공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 1469 ~ 1471. 1998.
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, pp. 580-586, 1992.
- [5] 이 용 중, 신 현 우, 이 양 범, "히스토그램 및 이치화 정보를 이용한 자동차 램프의 광축 검출 알고리즘," 추계 전자 통신 합동 학술 논문집, pp. 69-72, 1993.
- [6] 이 용 중, 이 양 범, "로봇시각장치를 이용한 압연코일의 라벨링 자동화 구현," 제어·자동화·시스템 공학회 논문지. 제 3 권 제 5 호, pp. 497- 502. 1997.
- [7] 이 용 중, 강 경 일, 이 양 범, *화상처리응용 기술*, 도서출판 기문사, pp. 108-212. 1995.
- [8] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*, Prentice Hall Inc. 1982
- [9] 컴퓨터 VISION 및 인공지능기법을 활용한 자동검사시스템 개발(I), 한국과학기술연구원. 1990.
- [10] 컴퓨터 VISION 및 인공지능기법을 활용한 자동검사시스템 개발(II), 한국과학기술연구원. 1991.
- [11] 컴퓨터 VISION 및 인공지능기법을 활용한 자동검사시스템 개발(III), 한국과학기술연구원. 1992.