

논문 2011-48SC-4-2

초음파 센서를 사용한 캐비닛 형상 인식

(Shape Recognition of a Cabinet by using Ultrasonic Sensors)

박 상 신*, 성 영 휘**, 김 동 현***

(Sang-Sin Park, Young Whee Sung, and Dong-Hyeon Kim)

요 약

TV 본체를 둘러싸고 있는 외곽의 판을 캐비닛이라 하며 다양한 디자인이 가능하도록 하기 위하여 폴리카보네이트와 같은 재질을 사용하여 만든다. 이러한 캐비닛은 사출 성형, 자외선 접합 등의 공정을 거치는 동안 열 변형을 일으키기 쉽다. 심하게 변형이 일어난 불량 캐비닛은 제품의 품질을 저하시키기 때문에 공정에서 제거되어야 한다. 본 논문에서는 TV 캐비닛의 형상 인식을 자동화하기 위하여 개발된 초음파 센서를 사용한 형상인식 시스템에 대하여 소개한다. 즉, 캐비닛 형상 인식을 위한 실험 시스템 구성과 캐비닛의 형상을 판별할 수 있는 평가 지수의 제안 그리고 초음파 거리 측정 시 발생할 수 있는 바이어스치 제거 알고리즘, 캐비닛의 양·불량품 판정을 위한 검사 알고리즘 등의 개발 및 검증 결과에 관하여 소개한다.

Abstract

A cabinet is an outer frame of a TV, which is usually made of poly-carbonate. Cabinets are apt to be deformed because of applied heat during injection molding process and UV joining process. Severely deformed cabinets cause a falling-off in quality of the final product. Therefore cabinets should be inspected and only the good ones should be delivered to the following process. We implemented an experimental system for shape recognition of a cabinet and proposed several indices to characterize the shape of a cabinet. We also proposed algorithms to eliminate the possible bias present in measured data and to check the goodness of a cabinet. Experimental results show the feasibility of the propose algorithms.

Keywords: Automated shape recognition, TV cabinet, Ultrasonic sensor, XY type robot.

I. 서 론

그림 1과 같이 TV 제조에 있어서 TV 전면의 디스플레이부에 부착되는 외곽의 판을 캐비닛이라 통칭한다.

근래에는 TV 외곽의 다양한 디자인이 가능하도록

하기 위해서 캐비닛을 폴리카보네이트(Poly-Carbonate)와 같은 재질로 만들고 있다. 캐비닛은 사출 성형 과정이나 자외선을 사용한 픽서의 접합^[1~2]과정에서 열 변형에 의해서 의도했던 형상과는 다르게 변형이 발생할 수 있다. 이런 형상 변형은 TV제조 단계에서는 조립의 정밀도를 떨어뜨리고 나아가 화면의 왜곡 등 전체 TV 제품의 품질을 저하시키게 된다. 따라서 캐비닛의 휨 등과 같은 형상을 판별하여 양품의 캐비닛만이 다음 공정으로 이송되도록 해 주어야 한다.

한편, 작은 물리적 힘에도 쉽게 변형될 수 있는 캐비닛의 특성상 인력을 통한 수작업으로는 정확한 형상을 알아내기가 쉽지 않으며, 또한 물리적 접촉은 투명한 캐비닛을 손상시킬 수 있기 때문에 캐비닛의 손상을 막

* 정회원, 금오공과대학교 제어·임베디드공학과 (Kumoh National Institute of Technology)

** 정회원-교신저자, 금오공과대학교 전자공학부 (School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

*** 정회원, (주)프리즘테크놀로지 (PRISM Technology)

※ 본 논문은 지식경제부, 한국산업기술진흥원, 대경광역시경제권선도산업지원단에서 시행한 광역경제권 선도산업 육성사업(기술개발)의 결과임.

접수일자: 2011년4월22일, 수정완료일: 2011년7월5일



그림 1. TV 캐비닛
Fig. 1. A TV cabinet.

으면서 빠르고 정밀하게 캐비닛의 형상을 인식 할 수 있는 자동화된 형상 인식 시스템이 필요하다.

본 논문에서는 직각좌표 로봇과 초음파 센서를 이용하여 캐비닛 형상을 자동으로 인식할 수 있는 시스템에 대하여 소개한다. 이 시스템은 기본적으로 초음파 센서를 사용해서 측정된 거리 데이터를 기반으로 형상을 판별한다. 또한 측정된 데이터를 분석하여 그 형상을 수치적으로 기술할 수 있는 각종 형상 인식 지수, 거리 측정 시 발생할 수 있는 바이어스치를 제거 할 수 있는 알고리즘과 캐비닛의 양 불량 판정을 할 수 있는 알고리즘 등에 대하여 기술하고 실험을 통해 유용성을 검증한다.

II. 본 론

2.1 초음파 형상 인식 실험 시스템

캐비닛 형상을 인식하기 위한 계측 센서로서 여러 군의 접촉식 및 비 접촉식의 센서들을 조사 및 평가 한 결과 초음파센서를 이용하여 변위를 측정하는 방식을

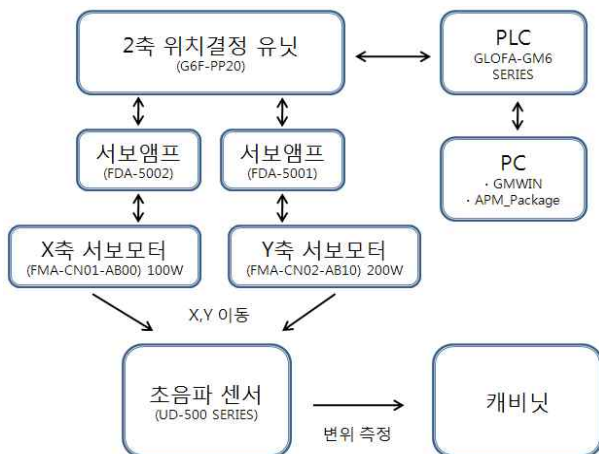


그림 2. 형상 인식 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 2. Block diagram of the shape recognition system.



그림 3. 캐비닛 형상 인식 시스템
Fig. 3. Shape recognition system for a cabinet.

선택하였으며, 캐비닛 형상을 측정하기 위한 실험 시스템으로서 1조의 Keyence社 초음파 센서^[3]와 2축의 직각좌표 로봇을 이용하여 그림 2와 같은 형상 인식 시스템을 구성하였다.

이 시스템은 Y축의 끝단에 초음파 센서를 부착하고, 직각좌표 로봇을 X축과 Y축으로 이동시키면서 초음파 센서 헤드를 미리 정해진 측정 포인트들에 위치시킨 후 변위를 측정해 나가는 방식이다. 그림 3은 구현된 실험 시스템과 캐비닛의 실물을 보이고 있다.

2.2 검사 알고리즘 및 형상 인식 알고리즘

변위 측정을 완료한 캐비닛의 형상 인식을 위하여 측정된 데이터를 해석할 필요가 있으며, 다음의 조건을 고려하여야 한다.

가. 캐비닛의 불량품 판정 기준

- ① 첫 측정 포인트와 끝 측정 포인트 간의 컨벡스(Convex)성질을 만족 하여야 한다. 컨벡스 성질을 만족 하지 않을 시 캐비닛이 우는 현상이 발생한다.
- ② 캐비닛 중앙 위치의 값을 기준으로 상대적인 변위 데이터가 기준점과 -5mm이상 차이가 난다면 불량으로 판정한다.

그림 4는 중앙 위치 값을 기준으로 -5mm이상 차이를 보이지 않는 범위 내에서 양품 캐비닛 형상이 가지

-2mm		-1mm		-2mm
-1mm		Center(0mm)		-1mm
-2mm		-1mm		-2mm

그림 4. 양품 캐비닛의 전형적인 패턴

Fig. 4. A typical pattern of a good cabinet

는 대략적인 현장 경험적 수치 패턴을 나타낸다.

나. 변위 측정 시 발생된 바이어스치 고려

위의 가 ②번에서 중앙점에 대한 상대적인 거리가 -5mm 이상이 되면 불량으로 판정한다고 하였다. 하지만 이는 캐비닛 변위 측정이 이상적인 상태에서 수행되었을 경우 즉, 캐비닛이 지면과 수평 및 수직을 이룬 상태에서 측정을 하였을 경우에 한한다. 실제로는 형상 인식 시스템의 기구부 구성 시 지면과의 수직 수평 조건을 만족하지 못하여 측정치에 바이어스가 생길 수 있다. 따라서 이를 보정해줄 수 있는 알고리즘이 필요하다.

2.2.1 검사 알고리즘

캐비닛의 변위 측정이 완료된 후 1차적으로 캐비닛의 양 불량률 예비 판정하기 위해 적용하는 알고리즘으로서 두 가지를 검사한다. 즉, 처음에는 캐비닛의 컨벡스 성질을 검사한다. 컨벡스 성질을 만족하지 못하면 불량품으로 판정하고, 만족하면 다음 검사인 최소치 검사를 수행한다. 최소치 검사는 기준점인 캐비닛 중앙점

표 1. 검사 알고리즘

Table 1. Inspection Algorithm.

검사 명	설 명
컨벡스 검사	측정된 m×n 데이터들의 모든 행 데이터와 열 데이터에서 첫 변위 측정 포인트에서 끝 측정 포인트까지 값의 상승 및 하강의 변화는 1회이하여야 한다.
최소치 검사	기준 값에 대한 상대 변위가 -5mm이상이 되는 측정 포인트가 있는지를 검사한다. 만일 -5mm이상 되는 포인트가 검출된다면 불량일 가능성이 있으므로, 2차적으로 바이어스제거 알고리즘을 적용시킨 후 재검사한다. 바이어스제거 알고리즘 적용 후에도 기준 값과 -5mm이상 차이가 나는 지점이 발생할 경우 불량품으로 판정한다.

에 대한 상대적인 거리가 -5mm이상 되는 값이 있는지를 판별해 내는 알고리즘으로서, 별도로 개발된 UI프로그램 내에서 판별 가능하다.

2.2.2 바이어스 제거 알고리즘

캐비닛의 변위 측정 시 캐비닛이 지면과 수직 및 수평을 이루지 못하고 틀어져 있을 경우를 대비하여 검사 알고리즘 단계의 최소치 검사에서 1차적으로 통과하지 못한 캐비닛 데이터에 대해서 적용하는 알고리즘이다.

캐비닛의 변위 측정 시 수직 조건을 만족하지 못한 경우 즉, Z축에 대한 회전만 있는 경우와 수직 수평 모두를 만족하지 못하여 X,Y,Z축에 대해서 모든 회전이 있는 일반적인 경우로 나누어 살펴본다. 여기에서 좌표계는 그림 6에서 정의된 좌표계를 기준으로 기술한다.

가. 회전된 각도 추정

그림 5에서는 캐비닛이 수직으로 놓이지 않은 경우이고 그림에서와 같이 측정 데이터에는 바이어스치가 존재하게 된다. 이 경우에 바이어스치를 제거하기 위해서는 캐비닛을 각도 θ 만큼 회전 시킬 필요가 있다. 캐비닛의 중심점을 기준으로 한 양 끝단의 측정값 $d1$, $d2$ 를 알고 있고, 캐비닛의 길이 L 를 알고 있으므로 이를 이용하여 캐비닛이 회전한 양인 θ 를 식 (1)과 같이 구할 수 있다($atan2$ 는 인자의 역 탄젠트 결과 값을 $-\pi \sim \pi$ 범위로 반환한다).

$$\theta = atan2(d1 + d2, L) \tag{1}$$

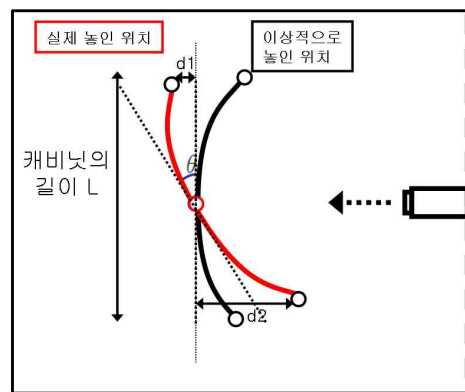


그림 5. 회전된 각도 추정

Fig. 5. Estimation of the angle θ .

나. Z축에 대한 회전만 존재하는 경우

그림 6은 그림 5와 같은 상황에서 월드좌표계(w 좌표

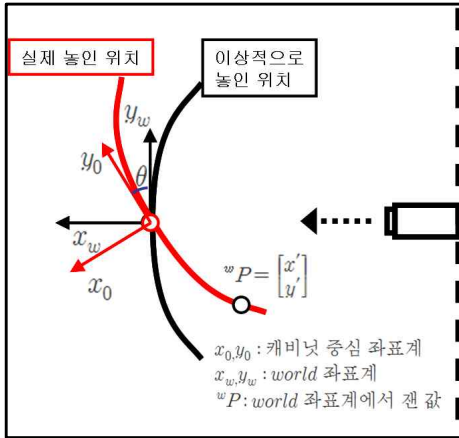


그림 6. 수직 조건이 만족되지 못한 경우
Fig. 6. The case that verticality is not satisfied.

계)와 캐비닛 중심 좌표계(0좌표계)를 설정한 것을 나타낸다.

이 때, 월드 좌표계를 기준으로 측정된 위치 값인 wP 를 식 (2)와 같이 표현하자.

$${}^wP = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (2)$$

w 좌표계를 0좌표계에 대해 표현하면 z_0 축에 대해 θ 만큼 회전한 것이므로 회전 행렬은 식 (3)과 같다.

$${}^0_wR = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \simeq \begin{bmatrix} 1-\theta & 0 \\ \theta & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 두 번째 행렬 표현은 회전한 각 θ 가 작을 경우에 $\cos\theta \simeq 1$, $\sin\theta \simeq \theta$ 로 근사화된 것을 나타낸다. 이 때, 0좌표계에서 나타낸 점 P는 다음과 같이 구할 수 있다.

$${}^0P = {}^0_wR {}^wP \simeq \begin{bmatrix} x' - y'\theta \\ x'\theta + y' \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

다. X,Y,Z축에 대한 회전이 모두 존재하는 경우

이 경우는 수직 수평 조건이 모두 만족하지 못하는 경우로서 각 축에 대한 회전 행렬은 다음과 같이 표현할 수 있다($c\theta = \cos\theta$, $s\theta = \sin\theta$).

$$R(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta \\ 0 & s\theta & c\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$R(y, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta \\ 0 & 1 & \theta \\ -s\theta & 0 & c\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R(z, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

일반적인 경우 회전변환 행렬은 교환법칙이 성립하지 않는다. 그러므로 X,Y,Z축 중 어느 축에 대한 회전이 먼저 이루어지는가에 따라 결과적으로 나타나는 회전 행렬이 달라지게 된다.

캐비닛의 회전이 미소 변화량이라 가정했을 시 위의 각 축에 대한 회전 행렬들은 X축에 대한 미소 회전각을 δ_x , Y축에 대한 미소 회전각을 δ_y , Z축에 대한 미소 회전각을 δ_z 라 하면 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

$$Rot(x, \delta_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\delta_x \\ 0 & \delta_x & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Rot(y, \delta_y) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \delta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\delta_y & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Rot(z, \delta_z) = \begin{bmatrix} 1 - \delta_z & 0 \\ \delta_z & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

이제 다음과 같은 세 개의 미소 회전 행렬들의 곱에서, 2차 이상의 항을 무시한다면 식 (11)과 같이 근사화가 되고, 이 회전 행렬들은 X,Y,Z축에 대한 회전의 순서에 관계없이 성립한다^[4].

$$Rot(x, \delta_x)Rot(y, \delta_y)Rot(z, \delta_z) \simeq \begin{bmatrix} 1 & -\delta_z & \delta_y \\ \delta_z & 1 & -\delta_x \\ -\delta_y & \delta_x & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

따라서 X,Y,Z축에 대한 회전이 모두 존재할 경우에 w 좌표계에서 측정된 점 wP 를 0좌표계에서 나타내면 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^wP = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (12)$$

$${}^0P = {}^0_wR {}^wP = \begin{bmatrix} x' - y'\delta_z + z'\delta_y \\ x'\delta_z + y' - y'\delta_x \\ -x\delta_y + y'\delta_x + z' \end{bmatrix} \quad (13)$$

위에 기술한 바와 같은 방식으로 캐비닛의 중앙점을

기준으로 변위 측정 값 들이 -5mm이상 차이가 난 지점이 발생 될 시 캐비닛을 이상적인 상태의 측정조건과 같은 상태로 만들기 위해 데이터를 회전 변환한 후, 다시 최소치 검사를 하여 캐비닛의 양 불량품 판정을 최종적으로 수행한다.

2.2.3 형상 인식 알고리즘

검사 알고리즘을 만족하여 양품 캐비닛으로 판정된 캐비닛에 대하여 캐비닛의 형상 인식을 위한 다양한 정량적 지수를 제공함으로써 보다 쉽게 캐비닛의 형상을 파악할 수 있도록 하였다. 제안된 지수들은 다음과 같다.

가. 표준지수

$$\text{표준지수} = \sqrt{\frac{\sum(\text{표준값} - \text{실제값})^2}{9}} \quad (14)$$

양품 캐비닛의 표준 형태와의 닮음 정도를 나타내는 지수로서 0에 가까울수록 표준형에 가까움을 나타낸다.

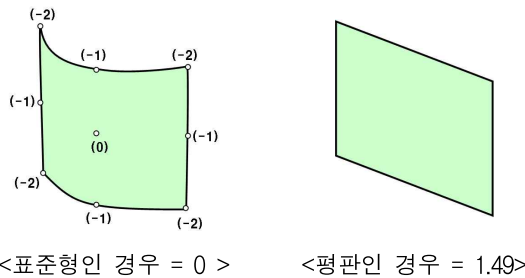


그림 7. 표준지수
Fig. 7. Standard index.

나. 꼭지점 위치

꼭지점 위치는 측정 포인트 중 최대거리인 꼭지점의

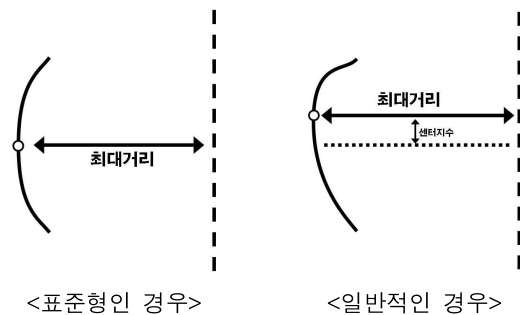


그림 8. 꼭지점 위치
Fig. 8. Vertex position.

좌표를 나타내며, 캐비닛의 정 중앙점에서 얼마나 치우쳐 있는지를 알 수 있게 해준다.

다. 최대값, 최소값, 최대값 - 최소값

최대값 및 최소값은 캐비닛의 측정 포인트들 중에서 변위가 최대인 값과 최소인 값을 나타낸다. 최대값-최소값은 이 두 값 사이의 간격을 나타낸다. 최대값-최소값은 캐비닛 형상의 변형이 많이 일어난 경우 또는 캐비닛 형상은 정상에 가까우나 측정상태에서 캐비닛의 위치나 방향에 오차가 있는 경우 큰 값을 갖게 된다.

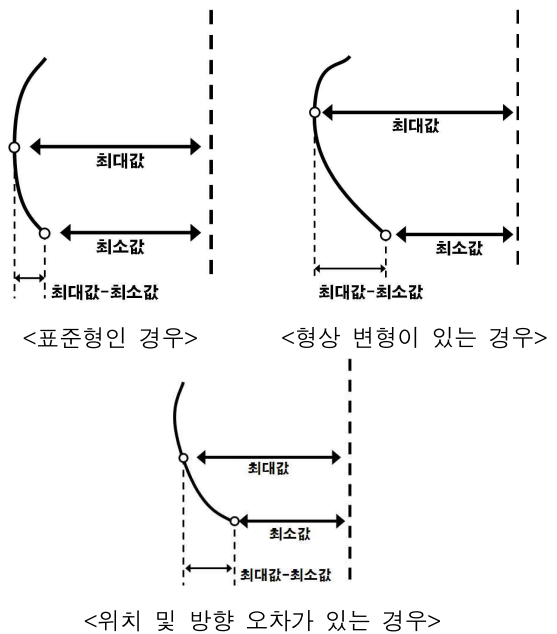


그림 9. 최대값, 최소값, 최대값-최소값
Fig. 9. Maximum value, Minimum value, Max. - Min.

라. 평균값, 중앙값, 최빈값

평균값은 변위 측정 데이터들의 평균을 의미하며, 중앙값은 최대값과 최소값의 중간 크기의 값을 의미한다. 최빈값은 변위 측정 데이터들 중 가장 빈도수가 많이

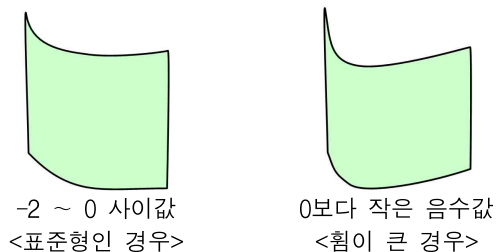


그림 10. 평균값, 중앙값, 최빈값
Fig. 10. Average value, Median value, Mode.

나온 값을 나타낸다.

위 3개의 지수는 형상의 개형을 알아볼 수 있는 보조적인 지수로서 캐비닛의 휨 정도가 클수록 이 값들은 절대치가 큰 음수 값을 갖는다.

2.2.4 알고리즘 검증

형상 인식을 위해 제안한 알고리즘의 검증을 위하여 42인치 양품인 캐비닛의 5x5개의 변위 측정 데이터와 불량품 42인치 캐비닛의 28x48의 변위 측정 데이터에 적용한 후 결과를 분석해 보았다.

42인치 양품 캐비닛의 5x5개 데이터에 미소 회전을 임의로 주었을 경우에 데이터는 그림 11과 그림 12에서 실선으로 나타내어져 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 캐비닛이 수직 수평 조건이 만족되지 못함을 알 수 있다. 이 경우의 지수들은 표 2에서와 같이 표준지수가 2.528로 양품과 거리가 멀고, 최소값도 -5.45로 최소치 검사를 통과하지 못한다. 반면 바이어스 제거 알고리즘을 적용한 후의 데이터는 그림 11과 그림 12에 점선으로 표시된 바와 같이 컨벡스 검사와 최소치 검사를 모두 통과하여 양품 캐비닛으로 판정이 된다. 표 2에서도 표준지수, 최소값, 최대값-최소값 등 모든 지수들이 캐

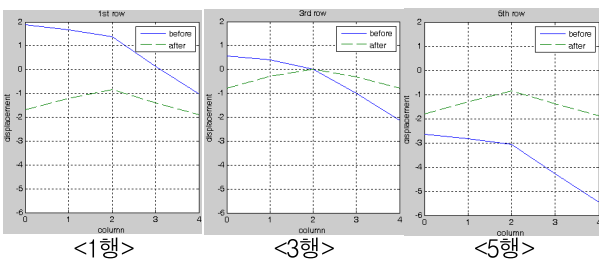


그림 11. 바이어스 제거 알고리즘 적용 전과 후의 행 데이터

Fig. 11. Row data before and after applying the bias eliminating algorithm.

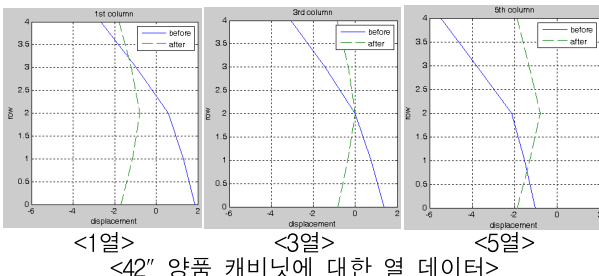


그림 12. 바이어스 제거 알고리즘 적용 전과 후의 열 데이터

Fig. 12. Column data before and after applying the bias eliminating algorithm.

비닛의 형상이 양품임을 보여주고 있다.

42인치 불량품 캐비닛의 28x48개 데이터는 그림 13과 그림 14에서 실선으로 나타내어져 있다. 캐비닛이 수직 수평 조건이 만족되지 못하며 표 3에서와 같이 대부분의 지수가 양품과 거리가 멀고, 최소값도 -14.9로 최소치 검사를 통과하지 못한다. 한편 바이어스 제거 알고리즘을 적용한 후의 데이터 역시 약간의 지수 향상은 있지만 기본적으로 불량품임을 보이고 있다.

위에서와 같이 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 살

표 2. 42" 양품 캐비닛에 대한 알고리즘 적용 전후의 지수

Table 2. Indices for a 42" good cabinet before and after the algorithm is applied.

	바이어스 제거 전	바이어스 제거 후
표준지수	2.528	0.343
센터지수	최대값1개, x:0, y:0	최대값1개, x:2, y:2
평균값	-1.014	-1.014
최대값	1.88	0
최소값	-5.45	-1.89
중앙값	-0.845	-0.945
최빈값	1.88	-1.69
최대값-최소값	7.33	1.89

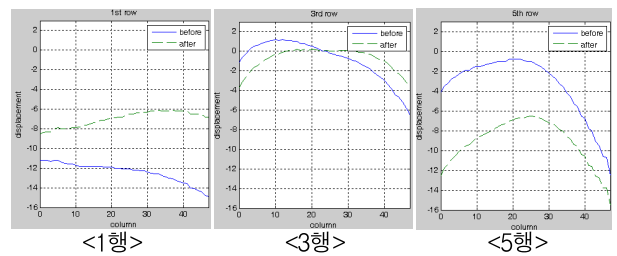


그림 13. 바이어스 제거 알고리즘 적용 전과 후의 행 데이터

Fig. 13. Row data before and after applying the bias eliminating algorithm.

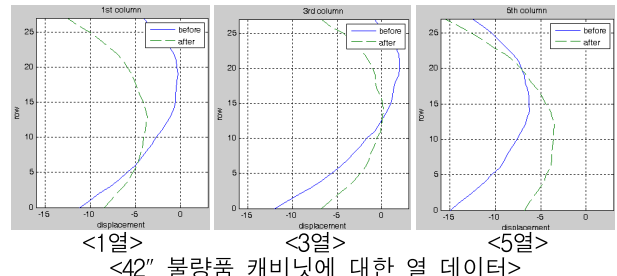


그림 14. 바이어스 제거 알고리즘 적용 전과 후의 열 데이터

Fig. 14. Column data before and after applying the bias eliminating algorithm.

표 3. 42" 불량품 캐비닛에 대한 알고리즘 적용 전후의 지수

Table 3. Indices for a 42" bad cabinet before and after the algorithm is applied.

	바이어스 제거 전	바이어스 제거 후
표준지수	8.508	8.273
센터지수	최대값3개, x:19, y:14	최대값1개, x:14, y:19
평균값	-3.197	-3.345
최대값	2.4	0.329
최소값	-14.9	-15.497
중앙값	-6.25	-7.584
최빈값	-0.8	-8.499
최대값-최소값	17.3	15.826

펴보면 임의 회전을 한 양품 캐비닛에 대해서는 불량이었던 데이터가 양품의 데이터로 변환되어 나타났으며, 불량인 캐비닛의 데이터에 대해서는 알고리즘을 적용시켜도 약간의 시각적 및 수치적 향상을 보이지만 불량품으로 판정을 함을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 초음파 센서를 이용하여 $m \times n$ 개의 캐비닛 측정 포인트의 변위를 측정하고 캐비닛의 형상 변형 정도를 쉽게 알 수 있도록 다양한 형상 인식 지수를 제안하였으며, 양·불량품 판정을 위한 검사 알고리즘 및 바이어스치를 제거할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 양품 캐비닛에 대해서 캐비닛이 놓인 위치 오류 등을 보상하는데 우수한 성능을 보였으며, 불량품인 캐비닛에 대해서는 양품으로의 판정 변화를 보이지 않는 결과를 나타내었다. 향후 형상 인식 시스템을 통하여 TV제조공정에서 조립 정밀도 향상 및 품질 증대 등 생산효과를 높일 것이라 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 박상신, 성영휘, 김동현, “픽서 집합 로봇시스템의 개발”, 전기학회논문지, 제59권, 제11호, 2093-2102쪽, 2010년 11월
- [2] 김동현, 박상신, 성영휘, “이형제품 간 집합공정 로봇시스템”, 한국로봇학회논문지, 제6권 제2호, 2011년 6월
- [3] 키엔스코리아, <http://www.ikeyence.com/>
- [4] Richard P.Paul, “Robot manipulators”, The MIT Press, 279p.

저 자 소 개



박 상 신(정회원)
2009년 금오공과대학교
전자공학부 공학사.
2009년~금오공과대학교
제어·임베디드 공학과
석사과정.

<주관심분야 : 로봇 시스템, 자동화 시스템>



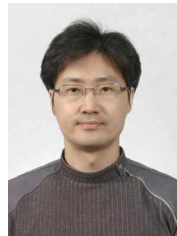
성 영 휘(정회원)-교신저자
1998년 고려대학교 전자공학과
공학사
1991년 KAIST 전기 및 전자
공학과 공학석사.
1996년 KAIST 전기 및 전자
공학과 공학박사.

1995년~1996년 영국 Oxford University 박사 후
연구원.

1996년~1998년 LG산전 선임 연구원.

1998년~금오공과대학교 전자공학부 교수.

<주관심분야 : Humanoid robot, Redundant
manipulator>



김 동 현(정회원)
1995년 경북대학교 전자공학과
공학사.
1997년 경북대학교 대학원
전자공학과 공학석사.
1997년~2003년 LG전자 선임
연구원.

2007년~2008년 INDTEK 개발팀장.

2008년~프리즘테크놀로지 기술이사.

<주관심분야 : 지능제어, Fuzzy control, Optimal
control, Neural network, Digital Image
preprocessing>