

논문 2004-41CI-1-3

1대의 카메라를 이용한 3차원 비전 검사 방법

(A 3D Vision Inspection Method using One Camera)

정 철 진*, 허 경 무**

(Cheol-Jin Jung and Kyung Moo Huh)

요 약

본 논문에서 우리는 기존의 2차원 비전검사 시스템에 적용시킬 수 있는 1대의 카메라를 이용한 3차원 비전검사 알고리즘을 제안한다. 부품의 패턴 데이터베이스를 보유하여 이를 토대로 회전되어진 물체의 형태를 예측 가능하다면 충분히 하나의 이미지로 3차원 비전검사가 가능하다. 우리는 제안된 알고리즘에 3차원 데이터베이스, 2차원 기하학적 패턴매칭 그리고 회전 변환 이론을 사용하였으며, 그 결과 물체의 회전각도를 예측함으로써, 각도가 틀어진 물체의 검사 가능성이나 전반적인 물체의 인식 등을 해결하였다. 또한 우리는 알고리즘을 전형적인 IC와 커패시터에 적용시켰으며 기존의 2차원 비전검사 및 3차원 비전 알고리즘인 특징공간궤적 방법과 비교하였다.

Abstract

In this paper, we suggest a 3D vision inspection method which use only one camera. If we have the database of pattern and can recognize the object, and also estimate the rotated shape of the parts, we can inspect the parts using only one image. We used the 3D database and the 2D geometrical pattern matching, and the rotation transition theory about the algorithm. As the results, we could have the capability of the recognition and inspection of the rotated object through the estimation of rotation angle. We applied our suggested algorithm to the inspection of typical IC and capacitor, and compared our suggested algorithm with the conventional 2D inspection method and the feature space trajectory method.

Keywords : 3D Vision Inspection, Image Processing, Pattern Matching

I. 서 론

고도의 산업화와 점점 더 밀도집약형의 산업이 발전이 주를 이루고 있는 현대 사회에서 자동검사 분야는 계속 발전되어져 왔고 앞으로도 많은 발전을 요구하는 분야이다. 그 중 3차원 비전 검사는 점점 더 그 입지를 굳혀가고 있는 추세로, 그 동안 여러 가지 광원을 이용하여 3차원 형상을 인식하는 기술이 개발되

었다. 대표적으로 서로 다른 조명 조건하에서 획득한 여러 영상으로부터 형상을 구현하거나 레이저광을 이용하여 물체에 대한 표면법선을 측정하여 물체의 형상을 인식하는 방법 등이 있다^[1-2]. 더욱이 최근에는 물체의 연장선을 추측하여 여러 물체의 경계를 추정하거나^[3] 특징 공간 궤적을 이용한 3차원 물체의 회전 각도 추정^[4], 임의의 초점거리에서의 이미지로부터 선형적인 물체의 재구성^[5] 등 많은 방면으로의 시도가 이루어지고 있다.

그러나 아직까지 3차원 비전 검사는 그 목적에 따라 몇몇 한정된 분야에서만 사용되고 있다. CT 촬영이나 MRI, X-ray 의료 장비에서의 많은 이미지를 나열하여 3차원 투시 검사를 하는 분야와 PCB기판에서의 레이저를 이용한 납땀 검사 분야^[6] 등으로써, 그

* 학생회원, 단국대학교 전자컴퓨터학부
(Dankook Univ., Cheonan Campus, Dept. of Electronics & Computer Eng.)

** 정회원, 단국대학교 전자컴퓨터학부
(Dankook Univ., Cheonan Campus, Dept. of Electronics & Computer Eng.)

접수일자 : 2003년8월11일, 수정완료일 : 2003년12월27일

의 제품 내부의 투시가 필요하지 않은 분야에서는 아직까지도 2차원 검사를 기반으로 검사하고자 하는 곳이 많을수록 카메라의 대수를 늘리거나 이동식 카메라 시스템을 도입하여 제품을 검사하고 있다. 이는 2차원 검사의 한계상 고정된 각도의 한 면만을 검사할 수 있고, 또한 여러 각도에서의 이미지를 합성해야만 비로소 3차원적인 물체의 정확한 인식이 가능하기 때문이다. 이 방법은 이미지로부터 3차원 정보를 추출하는 어려움을 피하고 카메라 초점에 따른 이미지의 선명도 문제와 그림자 문제를 없앨 수 있다는 장점이 있는 반면, 장비면으로도 많은 투자가 필요하거나와 많은 공간을 차지한다는 단점이 있다. 더 나아가 3차원적인 검사를 하기 위해서는 여러 대의 카메라로부터 동시에 이미지를 받아들여 합성해야 하므로 카메라의 동기화나 이미지 합성시의 여러 가지 문제가 추가로 발생될 수 있다. 본 연구는 기존의 2차원 비전 검사처럼 물체의 외형적인 성질에 기반을 두면서도, 한계적인 고정된 각도와 추가 장비의 필요성을 보완한 1대의 카메라를 이용한 3차원 비전검사 알고리즘을 제안한다. 부품들의 형태를 미리 데이터베이스화하여 그 패턴을 이용, 소프트웨어적인 내부 알고리즘을 통하여 변형되어진 형태를 인식, 검사함으로써 부가 장비나 장소의 절약과 동시에 기존 장비의 재사용을 가능케 함으로써 검사 자동화 분야에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

II. 검사 방법

본 연구에서 제시하는 3차원 비전검사 알고리즘은 다음과 같은 흐름을 갖는다.

일련의 3차원 물체로부터 각 방향의 2차원적 패턴 및 그 패턴간의 상관관계를 먼저 정립하여 데이터베이스화 시킨후, 우리가 검사하려는 대상 이미지와 2차원 기하학적 패턴 매칭을 이용하여 베이스 이미지를 검출한 후 상관관계 데이터베이스를 토대로 대상이미지와 비교를 통하여 동일물체임을 판정하게 된다. 여기에는 기존의 2차원 기하학적 패턴 매칭 기법을 응용하였으며 이미지의 각 면의 2차원 패턴 정보와 각 면 사이의 정합점 관계로부터 3차원적 패턴 정보를 수집하여 데이터베이스화하였다. 또한 검사 항목으로는 검사 대상 이미지의 2차원 패턴과 정합점을 검사하여 3차원 물체의 보이는 면과 인접면간 관계들을 인식하고 그것을

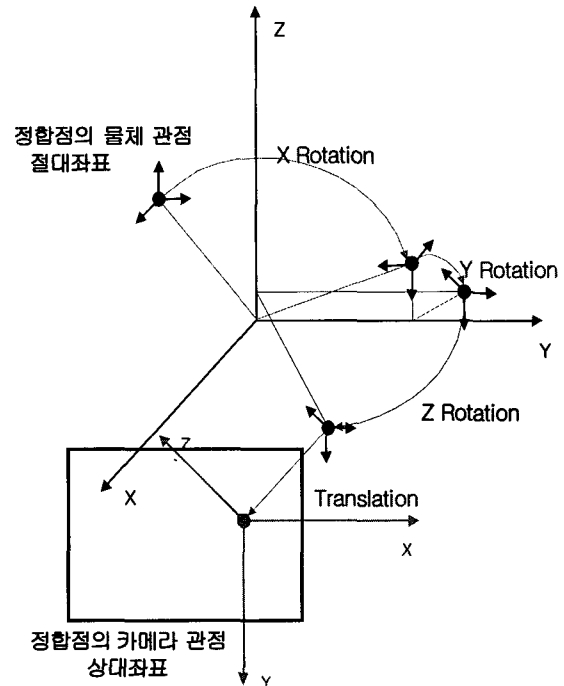


그림 1. 좌표변환 개념도
Fig. 1. Coordinate transformation diagram

토대로 추출된 회전각도 정보로부터 동일물체를 판단할 수 있다.

그림 1은 물체의 좌표로부터 카메라에 투영된 영상까지의 좌표 변환에 관한 개념도이다. 검사 대상 이미지내의 정합점 Q의 좌표는 P점으로부터 식 (1)과 같은 변환을 거쳐 카메라에 투영된 것이다.

$$[Q]=[C][T][Z][Y][X][P] \tag{1}$$

여기서 [T]는 평행이동 변환 매트릭스, [X], [Y], [Z]는 각 x, y, z축에 대한 회전 매트릭스, [C]는 투영에 대한 매트릭스이다.

물체의 절대좌표계를 기준으로 카메라에 투영된 이미지를 3차원 좌표계로 변환하기 위해선 카메라 렌즈로부터 물체까지의 거리, 즉 Z축에 해당하는 성분들이 X축, Y축에 대하여 어떠한 영향을 끼치는지를 알아야 한다. 하지만, 카메라의 상대좌표계로 보면, 카메라에 잡힌 이미지의 가로축이 바로 X축에 대응되고 세로축은 Y축에 대응된다. 그리고 Z축은 카메라로부터의 거리에 해당되므로 2차원적으로 투영된 이미지에 대하여 Z축이 X, Y축에 주는 영향이 없어짐으로서 2차원 이미지로부터 단순한 3차원 좌표로 확대시킬 수 있다.

위에서 투영은 직교투영을 사용하였다. 직교투영은 원

근에 의한 왜곡이 발생하지 않는 투영으로, 평행투영이라고도 한다. 그림 2에서 보듯이, 카메라 공간 점들은 항상 카메라가 바라보는 방향과 평행인 방향의 반직선들을 통해서 투영평면에 사상된다. 여기에서 물체는 카메라 상에서 $x=l$ 부터 $x=r$ 과 $y=b$ 부터 $y=t$ 까지의 크기를 가지고 카메라로부터의 거리 f 와 n 사이에 존재한다.

직교투영의 조망입체(view volume)는 x - y 평면에 놓인 직사각형과 가까운 평면, 먼 평면까지의 거리들로 규정되는 직육면체이다. 직교투영에서는 원근 왜곡이 없으므로, 한 삼각형의 깊이 값들은 그대로 선형적으로 보간될 수 있다. 따라서 동차절단공간으로의 사상은 그냥 세 축들에 대해 선형적으로 수행하면 된다^[7].

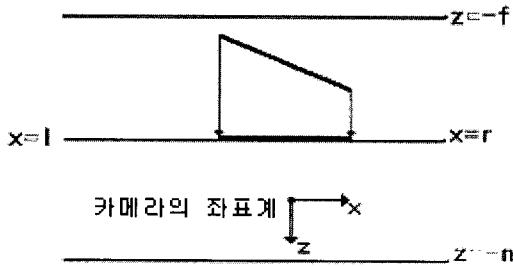


그림 2. 직교투영
Fig. 2. Orthographic projection

x, y 좌표들을 범위 $[l, r]$ 과 $[b, t]$ 에서 $[-1, 1]$ 로 사상하는 함수들은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} x' &= \frac{2}{r-l}x - \frac{r+l}{r-l} \\ y' &= \frac{2}{t-b}y - \frac{t+b}{t-b} \end{aligned} \quad (2)$$

z 좌표 역시 비슷한 방식으로 처리하면 된다. 단 z 의 경우에는 부호를 바꿔서 $-n \rightarrow -1, -f \rightarrow 1$ 이 되는 식이다. 다음은 범위 $[-f, -n]$ 을 $[-1, 1]$ 로 사상하는 함수이다.

$$z' = \frac{-2}{f-n}z - \frac{f+n}{f-n} \quad (3)$$

이 세 함수들을 행렬 형태로 쓰면

$$[C] = \begin{pmatrix} \frac{2}{r-l} & 0 & 0 & \frac{r+l}{r-l} \\ 0 & \frac{2}{t-b} & 0 & \frac{t+b}{t-b} \\ 0 & 0 & \frac{-2}{f-n} & \frac{f+n}{f-n} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (4)의 행렬은 직교투영행렬이다. 변환이 수행되어 도 w 좌표는 그대로 1로 남으며, 따라서 원근에 의한

왜곡은 전혀 일어나지 않는다.

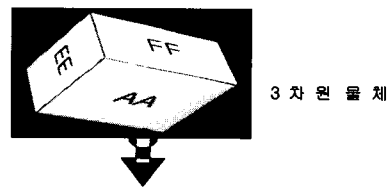
본 연구에서 제시한 3차원 비전 검사 알고리즘은 크게 3가지 단계로 분류된다. 첫 번째 단계는 III장의 각 면의 검출 단계이고 두 번째 단계는 IV장의 정합점 검사와 좌표 변환 단계이다. 그리고 마지막으로 V장의 회전각도 추정과 동일물체 판정 단계가 있다.

III. 각 면의 검출 방법

1. 3차원 데이터베이스의 구성

3차원 물체를 검사하기 위해서는 3차원적인 데이터가 필요하다. 일반적으로 물체를 이루는 요소는 점, 선, 면 그리고 면들이 이루는 체적이다. 이런 단순한 기본 개념을 바탕으로 우리는 다음의 특징들을 가지고 2차원 패턴들의 집합으로 3차원 물체 데이터베이스를 만들기로 한다.

- 1) 물체는 몇 개의 면을 가지고 있으며 면마다의 크기와 모양이 있다.
- 2) 물체는 면과 면이 마주 닿아서 둘러싸여진 체적을 형성하여야 하며 따라서 마주 닿는 선분이나 점을 가지고 있다.
- 3) 물체의 면들은 마주 닿는 면과 반드시 사잇각을 가지고 있다.



3차원 물체에 대한 패턴 데이터베이스

면	패턴	X scale	Y scale	정합점	인접면간 상관 관계
A	AA	220	180	A1-E2-F4 A2-C1-F3 A3-B2-C4 A4-B1-E3	A-F:Y90 A-C:X90 A-B:Y90 A-E:X90
B	BB	220	120	A4-B1-E3 A3-B2-C4 B3-C3-D4 B4-D3-E4	B-A:Y90 B-C:Z90 B-D:Y90 B-E:Z90
C	CC	120	180	A2-C1-F3 C2-D1-F2 B3-C3-D4 A3-B2-C4	C-A:Y90 C-D:Z90 C-E:Y90 C-B:Z90
D	DD	220	180	C2-D1-F2 D2-E1-F1 B4-D3-E4 B3-C3-D4	D-B:Y90 D-E:X90 D-F:Y90 D-C:Y90
E	EE	120	180	D2-E1-F1 A1-E2-F4 A4-B1-E3 B4-D3-E4	E-A:X90 E-F:Z90 E-D:Y90 E-B:Z90
F	FF	220	120	D2-E1-F1 C2-D1-F2 A1-C1-F3 A1-E2-F4	F-A:Y90 F-C:Z90 F-D:Y90 F-E:Z90

그림 3. 3차원 물체에 대한 패턴 데이터베이스
Fig. 3. Pattern database of 3D objects

그림 3에서 보이는 데이터베이스가 물체에 대한 데이터베이스를 작성한 것이다. 이러한 데이터베이스는 꼭 직육면체나 정육면체에만 해당하는 것이 아니며, 곡면을 포함하지 않은 물체라면 어떠한 것이든 구현이 가능하다.

검사 대상 이미지로부터 패턴을 검사하고 정합점을 추출하여 그 좌표로부터 회전되어진 각도를 추정하기 위해선 조금이라도 더 정확한 값을 얻어내는 게 중요하다. 이를 위해 이미지의 전처리는 필수불가결하며, 다음과 같은 전처리 기법들이 쓰인다.

화상처리에 있어서, 배경과 물체의 구분은 중요한 과정이다. 전체의 화상영역에 대하여 1개의 문턱값을 결정하는 고정 문턱값 결정방법으로서 P 타일법, 판별 분석법, Kittler의 방법 등^[8]이 있으며, 본 논문에서는 검사 대상 이미지의 배경이 물체와 거의 확연히 드러나는 흑백이미지를 대상으로 실험하였으므로, 가장 간단한 방법인 P 타일법을 이용하였다.

P 타일법이란 화상 내에서 대상물체의 대략의 면적 비율을 p정도가 된다고 알고 있을 때, 2차 화상 중 물체를 표현하고 있는 화소값(예로서 1, True)의 화소의 비율이 p가 되도록 문턱값 T를 정하는 것이다.

$$p = \left\lfloor \frac{\text{numbers of object's pixel}}{640 * 480 \text{ pixels}} * 256 \right\rfloor \quad (5)$$

에지 강조처리를 하기 위해서는 2차 미분필터를 사용하는 것이 좋다. 이는 흐려진 에지에 대하여 에지 영역의 중앙에 근사하는 에지 성분을 얻을 수 있기 때문이며, 2차 미분 필터의 종류로는 Sobel이나 Laplacian을 비롯하여 몇 가지가 있다^[9]. 이중 가장 섬세한 에지 정보를 얻기에는 Sobel이 좋으나 본 논문에서는 자잘한 에지 정보가 오히려 정합점을 선택하는데 많은 오류를 줄 수 있으므로 3x3 Laplacian 필터를 채택하였다.

$$\frac{\partial^2(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(x, y)}{\partial y^2} \quad (6)$$

$$= f_{i,j+1} + f_{i+1,j} + f_{i+1,j+1} + f_{i-1,j+1} - 8f_{i,j} + f_{i,j-1} + f_{i-1,j} + f_{i-1,j-1} + f_{i+1,j-1}$$

식 (6)은 8근방 차분 Laplacian 필터를 나타낸 식이며, 이는 그림 4와 같이 항등 변환필터를 더하여 8근방 에지 강조필터로 사용되어진다.

식 (7)은 2차원 기하학적 패턴 매칭에 쓰이는 공식이다. 여기서 Sx와 Sy는 각각 x방향과 y방향의 크기이며



그림 4. Laplacian 차분 근사 필터
Fig. 4. Laplacian differential filter

2. 기하학적 패턴 매칭

기하학적 패턴 매칭이란 물체를 음영에 독립적이며 이산적인 그리드에 구속되지 않는 기하학적 형태로 표현하는 것으로서 이미지가 픽셀 그리드로 제한되지 않으며 각도 및 크기에서의 변화들을 허용하고 측정 가능한 장점을 가지고 있다. 이는 기하학적 패턴 매칭이 많은 자유도를 가지고 있기 때문이다^[10].

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} s_x \cos \theta & -s_y \sin \theta \\ s_x \sin \theta & s_y \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \\ I_x &= P_x s_x \cos \theta - P_y s_y \sin \theta + t_x \\ I_y &= P_x s_x \sin \theta + P_y s_y \cos \theta + t_y \end{aligned} \quad (7)$$

θ는 회전, tx, ty는 x변환, y변환을 나타낸다. 이미지상의 x,y 좌표 값들은 이미지 중심으로부터의 회전각과 각 방향에서의 크기, 그리고 원점으로부터의 평행이동 등의 값에 의해 결정되어진 값이라 볼 수 있다. 따라서 역으로 공식에서와 같이 2차원 기하학적 패턴 매칭에는 회전, 크기 변화 등이 가능하며 이는 어느 정도 기울어지거나 회전되어진 면에 대하여도 그 검출이 가능하도록 해주는 자유도이다.

2차원적 기하학적 패턴 매칭을 사용하여 검사대상 이미지로부터 각 면을 검출, 확인 할 수 있다. 그림 5는 기하학적 패턴 매칭을 이용하여 검사대상 이미지의 각 면을 검출한 예이다.

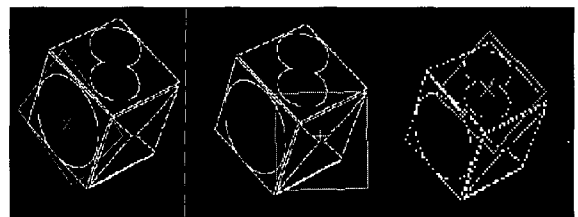


그림 5. 기하학적 패턴 매칭을 이용한 면 추출
Fig. 5. Plane extraction using the geometrical pattern matching

IV. 정합점 검사와 좌표 변환

1. 정합점 추출 및 검사

검사 대상 이미지로부터 2차원 기하학적 패턴매칭으로 각 면을 확인하게 되면 3차원 데이터베이스에 저장된 정보로부터 정합점을 추출할 수 있다. 만약 물체를 이루는 각 면의 정합 관계가 우리가 가지고 있는 데이터와 일치하지 않는다면 이는 당연히 동일한 물체가 아님을 알 수 있으며 이 경우, 정합점 데이터를 추출할 수가 없게 된다. 그리고 면 사이의 정합점에 해당되는 각 면의 정합점 좌표가 우리가 정해놓은 한계 영역 내일 때 우리는 그 정합점이 서로 일치하는 것이며 면들은 서로 붙어있는 것이란 결론을 내릴 수 있다. 그림 6은 앞에서 기하학적 패턴 매칭으로 얻어진 세 면에 대한 데이터베이스로부터 정합점의 정보를 추출하는 그림이다.

면	패턴	X scale	Y scale	정합점	인접면간 상관 관계
A	AA	220	180	A1-E2-F4 A2-C1-F3 A3-E2-C4 A4-B1-E3	A-F:Y90 A-C:X90 A-B:Y90 A-E:X90
B	BB	220	120	A4-B1-E3 A3-E2-C4 B3-C3-D4 B4-D3-E4	B-A:Y90 B-C:Z90 B-D:Y90 B-E:Z90
E	F=	120	180	D2-E1-F1 A1-E2-F4 A4-B1-E3 B4-D3-E4	E-A:X90 E-F:Z90 E-D:X90 E-B:Z90

데이터베이스로부터 정합점 추출: A4-B1-E3

그림 6. 정합점 추출
Fig. 6. Matching point extraction

2. 베이스면의 결정과 3차원 좌표변환

가상적 3차원 물체의 외부 형태를 구성하기 위해서는 3차원 좌표가 필요하다. 이를 위해 3차원 패턴 데이터베이스로부터 정합점과 인접면간 상관관계를 이용하여 3차원 좌표를 구성한다. 우선 정합점 중에서 평행이동변환 배열의 핵심적인 값이 될 중심정합점을 결정한다. 중심정합점이란 검사 대상 이미지에서 여러 개의 면이 인식되었을 경우, 가장 많은 면들에 포함되어진 정합점으로서 카메라의 상대좌표계의 원점에 대응되는 역할을 한다.

중심 정합점의 좌표로부터 식 (8, 9)와 같이 평행이동 변환 매트릭스를 결정할 수 있다.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ T_x & T_y & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T_x = \text{abs} \{ (A4.x + B1.x + E2.x) / 3 \}$$

$$T_y = \text{abs} \{ (A4.y + B1.y + E2.y) / 3 \} \quad (9)$$

2차원 기하학적 패턴으로 A, B, E면이 검출되어지고 그 중심정합점으로 A4-B1-E2가 데이터베이스로부터 결정되어졌을 때 우리는 식 (9)와 같은 방법으로 중심 정합점의 정확한 좌표를 결정하게 된다.

다음으로 인식되어진 패턴면 중에서 베이스 면을 결정한다. 베이스 면이란 카메라의 상대좌표계인 XY면상에 위치하게 될 가상적인 면을 설정하는 것이다. 베이스면을 결정하게 되면 인접면간 상관관계에 의하여 인식되어진 다른 면들의 좌표점들의 값이 정해진다. 그림 7에서 베이스면이 결정됨에 따라 yz상의 옆면은 xy상에 존재하는 패턴 1의 좌표로부터 2의 좌표로 좌표변환을 하게 된다.

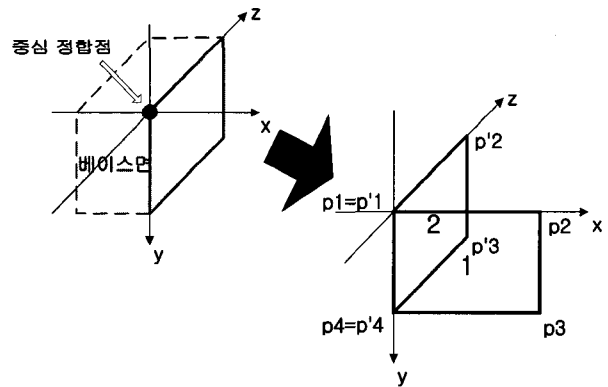


그림 7. 가상의 3차원 물체 좌표변환
Fig. 7. Coordinate transformation of virtual 3D objects

가령 A면을 Base로 했을 경우

$$B1' = [\text{RotY}(-90)] [B1]$$

$$= \begin{bmatrix} \cos(-90) & 0 & \sin(-90) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-90) & 0 & \cos(-90) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1.x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B1.y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$E1' = [RotX(-90)] [E1]$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \cos(-90) & -\sin(-90) & 0 & 0 \\ \sin(-90) & \cos(-90) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E1.x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E1.y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

와 같이 가상적인 면의 3차원 좌표가 결정되어진다.

V. 회전각도 추정과 동일물체 판정

1. 각 면의 회전각도 추정

앞에서 구하여진 가상 3차원 물체의 좌표로 우리는 검사 대상 이미지로부터 대응되는 점의 좌표값 변화로부터 회전되어진 각의 정보를 추정할 수 있다. P가 가상의 3차원 물체의 좌표이고 Q가 검사 대상 이미지의 대응되는 면이라 할 때 우리는 중심 정합점 p1 또는 q1을 중심으로 나머지 정합점들의 좌표변화를 구했다. 그리고 각 정합점들의 변화로부터 다음과 같은 회전 각도를 추정하는 데이터를 얻을 수 있다. Q는 2차원 면상에 투영되어진 이미지이므로 X좌표, Y좌표만 존재할 뿐 Z좌표는 존재하지 않으므로 당연히 좌표 변환을 만족하는 각도는 한 정합점당 다수의 추정 각도가 나올 수 있는 것이다. 그러나 3개의 정합점에 대하여 추정되어진 각도 데이터 중에서 모두를 만족시키는 회전 각도를 검색하면 다음과 같이 하나 내지 두개의 각도로 그 추정데이터는 줄어들게 된다. 이 각도가 바로 면이 회전한 각도이며, 차후 동일 물체 판정의 요소 중의 하나가 된다.

2. 동일 물체 판정

검사 대상 이미지에서 검출된 세 면으로부터 얻어진 회전 각도가 모두 동일하다면 이는 우리가 3차원 데이터베이스로부터 만들어낸 가상의 3차원 물체와 동일한 물체가 회전된 것이라고 추정할 수 있다. 우선 그들은 같은 2차원 패턴을 가진 면을 가지고 있으며, 면과 면들의 정합 관계가 동일하고 더 나아가 그들 사이의 사잇각이 같음을 추측할 수 있으며, 또한 전체적인 크기가 같아야만 동일한 회전된 정보를 얻을 수 있기 때문이다. 그림 8은 각 면의 회전각도와 동일물체 판정의 개념도이다.

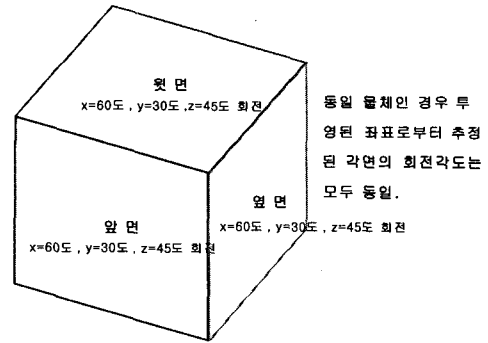


그림 8. 각 면의 회전각도와 동일물체 판정
Fig. 8. Rotation degree and decision of the same object

VI. 실험 결과

1. 실험 결과

본 알고리즘을 PCB 기판의 IC와 커패시터에 적용시켜 본 결과이다. 그림 9에서의 IC는 윗면을 기준으로 x=-20도, y=-15도, z=35도의 결과를 얻었다. 이 결과는 윗면의 정합점으로부터 추출된 것으로 앞의 실험과는 달리 옆면의 정합점 좌표와 패턴을 제대로 인식하기 힘들었기 때문이다. 따라서 결과의 정확도는 앞의 실험 데이터들보다 떨어진다 할 수 있다.

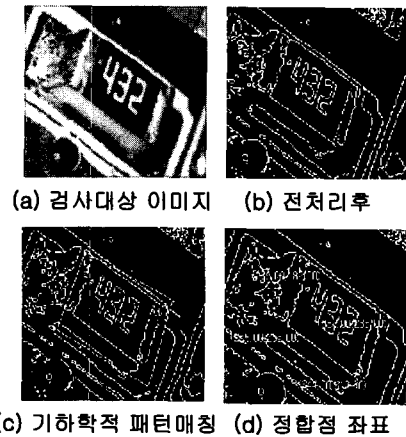


그림 9. IC에 대한 실제적용 예
Fig. 9. Example of IC

그림 10은 커패시터에 대한 적용의 예이다. 알고리즘에 적용시키기 위해 커패시터를 12각형으로 보았으며 결과는 옆면을 기준으로 x=15도, y=-10도, z=-5도를 추정할 수 있었다. 이는 패턴이 인식되어진 면만을 기준으로 한 것이기에 정확도가 떨어지며 정합점을 패턴의 에지점이 아닌 특정한 점을 선택함으로써 추정 가능하였다.

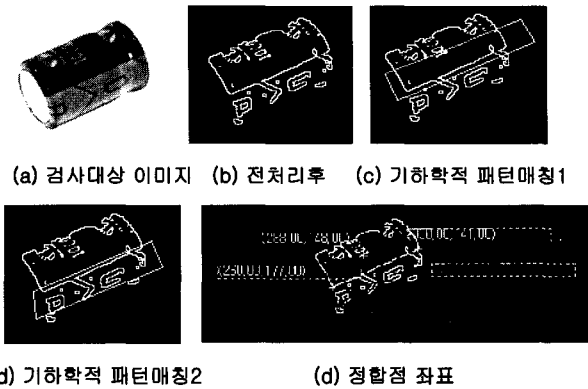


그림 10. 커패시터에 대한 실제적용 예
Fig. 10. Example of capacitor

2. 기존 시스템과의 비교

2.1 기존의 2차원 비전검사 시스템과의 비교

기존의 2차원·비전검사 시스템과 제안한 3차원 알고리즘 시스템의 차이를 다음 표로 간단하게 작성하여 보았다.

표 1. 기존 비전 검사 시스템과의 비교
Table 1. The comparative table about the existing 2D inspection system

	기존의 2차원 비전검사 시스템	제안한 비전검사 알고리즘
필요 장비	카메라 3대 이상 또는 레이저와 같은 특수한 센서 광원 필요	카메라 1대, 특수한 광원 필요치 않음.
2차원 패턴 매칭	특정한 면에 대한 인식률 높음	특정한 면에 대한 인식률은 중간.
3차원 물체 검사	고정된 물체와 고정된 카메라의 상태에서만 가능하며 특수한 광원 필요	물체와 카메라와의 거리는 고정되어야 하나 각도는 상관없으므로 덜 고정적으로 검사 가능
필요패턴수	육면체의 경우 6개의 패턴 필요	육면체의 경우 6개의 패턴 필요
획득 데이터	패턴 인식, 특수광 사용 시 물체 인식	패턴 인식, 물체 인식, 회전 각도 인식

표에서 알 수 있듯이 기존의 비전 검사 시스템은 굳이 3차원 물체를 검사하기 위해서는 적어도 3대의 카메라나 레이저와 같은 특수한 광원을 이용해야 만이 가능하며 이는 고가의 비용과 위치를 소비한다. 또한 이는 고정된

위치에 고정된 각도에서의 물체만이 가능하다. 이에 비하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 특수한 광원의 추가 없이 기존의 2차원 비전 검사시스템으로부터 약간의 수정으로 가능하므로, 비용 절감이나 검사 설비에 필요한 공간상의 제약을 획기적으로 줄일 수 있다. 더욱이, 거리를 제외한 카메라와 물체의 회전각도에 대한 제약사항을 없앴으로서 보다 유동적인 시스템의 구성이 가능하다. 또한 3차원 데이터베이스의 구현에 다소 어려운 점이 있으나 구성된 물체에 대해서는 어느 각도로든지 그 물체를 인식 가능하다.

2.2 특징 공간 궤적 방법과의 비교

앞에서 언급했듯이 최근 들어서 다양한 방향으로의 3차원 물체 인식에 대한 접근이 시도되고 있으며 이 중 본 연구와 가장 근접한 능동 컴퓨터 비전을 위한 특징 공간 궤적 방법^[4]과 비교를 하여 보았다. 특징 공간 궤적 방법(feature space trajectory method)이란 몇 개의 각도로 회전되어진 이미지로부터 각도에 따른 특징 공간 궤적을 추정함으로써 임의의 회전되어진 이미지의 회전 각도를 추정하는 것으로서 본 논문과 유사하지만, 보다 복잡한 평면 기하학적 물체에 대해서도 비교적 확률에 근거한 정확성을 가지고 있는 대신에 어느 한 방향으로 만의 회전각을 추정할 수 있다는 단점이 있다. 그림 11은 특징 공간 궤적을 이용한 회전각도 추정 방법의 결과물이다.

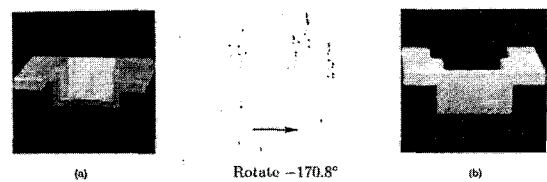


그림 11. 특징 공간 궤적을 이용한 회전각도 추정
Fig. 11. Rotation angle estimation using feature space trajectory

이에 반해 본 연구는 그 추정할 수 있는 물체가 보다 단순한 물체로 한계성을 가지고 있으나 반대로 세 방향에 대한 회전각을 추정해 낼 수 있다. 따라서, 특징공간 궤적방법과 비교하여 본 논문의 방법과 어느 것이 더 정확도와 신뢰성을 가지고 있다 정확히 판단 할 수는 없으나 일반적으로 보다 복잡한 물체에 대하여는 특징 공간궤적 방법이 비교적 그 추정 데이터를 얻기

쉬우나 보다 단순한 물체일수록 본 연구의 방법이 더 많은 데이터를 검출 가능함으로써 적용 가능성이 높다. 원래, 기존의 특징 공간 궤적을 이용한 방법은 능동 컴퓨터 비전 시스템을 위하여 제안되었던 것이며 이는 로봇과 연계하여 검사 시스템의 guidance 역할을 하기 위한 것이다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 기존의 방법보다 많은 세 방향으로 회전 각도를 추정함으로써 그 적용 가능한 범위를 넓혔으며 더욱이 기하학적 패턴 매칭을 이용, 사전에 검사 대상 물체를 판별, 분류 가능하다는 장점을 가지고 있다.

VII. 결 론

본 연구에서는 1대의 카메라를 이용하여 기존의 비전 검사 시스템에 적용이 가능한 3차원 외형 검사의 가능성을 제시하였다. 미리 3차원적인 데이터베이스를 구성, 사용함으로써 물체의 회전 각도에 관계없이 그 동일 물체임을 인식할 뿐만 아니라 그 회전된 각도마저 추정이 가능함으로써 기존의 2차원적인 검사 시스템에서 불가능하였던 각도가 광장하 틀어진 물체의 검사 가능성이나 전반적인 물체의 인식 등을 해결하였으며 더욱이 기존의 특징 공간 궤적 방법보다 더 나은 guidance 시스템으로서의 가능성도 제기하였다. 무엇보다도 특수한 센서 광원인 레이저나 여타의 추가적인 장비의 도입 없이도 기존의 2차원 비전 검사 시스템으로부터 보완하여 3차원적인 물체로 그 범위를 확장시켰다. 하지만, 여기에서 적용된 2차원적인 기하학적 패턴 매칭이 한계점을 가지고 있고, 접근 가능한 추정 데이터의 조밀성과 연산량과의 관계가 기하급수적이기 때문에 많은 시간을 필요로 하고 있으므로 이에 대하여 더 나은 매칭 기법과 보다 효율적인 연산 알고리즘에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] G. Healey and T. O. Binford, "Local Shape from Specularity," Proc. Image Understanding Workshop, pp 874-887, 1987.
- [2] S. K. Nayar, "Shape Recovery using Physical Models of Reflection and Interreflection, CMU, 1991.
- [3] Luis Ros and Federico Thomas "Overcoming Superstrictness in Line Drawing Interpretation", IEEE Trans.(PAMI), pp. 456-466, APRIL 2002.
- [4] Michael A. Sipe, "Feature Space Trajectory Methods for Active Computer Vision", IEEE Trans(PAMI), pp. 1634-1643, DECEMBER 2002.
- [5] David Jelinek and Camillo J. Taylor, "Reconstruction of Linearly Parameterized Models from Single Images with a Camera of Unknown Focal Length", IEEE Trans(PAMI), pp. 767-773, JULY 2001.
- [6] P. J. Bsel, "Active, Optical Range Imaging Sensor," Machine Vision and Application, pp 127-152, 1998.
- [7] Eric Lengyel, "3D 게임 프로그래밍 & 컴퓨터 그래픽을 위한 수학", 정보문화사, pp110-137, 2002.
- [8] Louis J. Galbiati, Jr., "Machine Vision and Digital Image Processing Fundamentals", Prentice-Hall, 1990.
- [9] 장동혁, "디지털 영상처리의 구현", 정보게이트, pp. 162-190, 1997.
- [10] Bill Silver, "New Developments in PC-based Vision for Locating and Inspecting Parts", CTO, Cognex Coporation.

저 자 소 개



정 철 진(학생회원)

1999년 단국대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(2003). <주관심분야 : 머신 비전, 영상처리>



허 경 무(정회원)

1979년 서울대학교 전자공학과 졸업, 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사(1981), 동대학원 박사(1989). 현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학 전공 부교수. <주관심분야 : 3차원 디스플레이, 로봇트 제어, 검사 자동화, 시스템 제어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털 제어기 설계 및 시뮬레이션>