

기하학적 패턴 매칭을 이용한 3차원 비전 검사 알고리즘

3D Vision Inspection Algorithm using Geometrical Pattern Matching Method

정철진, 허경무, 김장기*
(Cheol-Jin Jung, Kyung Moo Huh, and Jang Ki Kim)

Abstract : We suggest a 3D vision inspection algorithm which is based on the external shape feature. Because many electronic parts have the regular shape, if we have the database of pattern and can recognize the object using the database of the object's pattern, we can inspect many types of electronic parts. Our proposed algorithm uses the geometrical pattern matching method and 3D database on the electronic parts. We applied our suggested algorithm for inspecting several objects including typical IC and capacitor. Through the experiments, we could find that our suggested algorithm is more effective and more robust to the inspection environment(rotation angle, light source, etc.) than conventional 2D inspection methods. We also compared our suggested algorithm with the feature space trajectory method.

Keywords : 3D vision inspection, external shape feature, geometrical pattern matching

I. 서론

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 납땜 검사 분야 등이데[1]. 그 외 제품 내부의 투시가 필요하지 않은 분야에서는 2차원 검사를 기반으로 검사하고자 하는 곳이 많을수록 카메라의 대수를 늘리거나 이동식 카메라 시스템을 도입하여 제품을 검사하고 있다. 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 필요하거나 많은 공간을 차지한다는 단점이 있다. 더 나아가 3차원적인 검사를 하기 위해서는 여러대의 카메라로부터 동시에 이미지를 받아들이 합성해야 하므로 카메라의 동기화나 이미지 합성시의 여러 가지 문제가 추가로 발생될 수 있다.

이러한 문제들로 인해, 제품의 다양화와 더불어 점점 더 복잡하고 정밀한 검사를 필요로 함에 따라 3차원 비전 검사는 점점 더 그 입지를 굳혀가고 있는 추세이다. 그중 3차원 물체에 대한 형상인식 기술은 공학 분야에서 중요한 주제로서 연구가 진행되고 있다. 그 동안 여러 가지 광원을 이용하여 3차원 형상을 인식하는 기술이 개발되었다. 대표적으로 서로 다른 조명 조건하에서 획득한 여러 영상으로부터 형

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 8. 11., 채택확정 : 2003. 11. 7.

정철진, 허경무 : 단국대학교 전자공학과

(saseng@hanmail.net/huhkm@dku.edu)

김장기 : 단국대학교 전자컴퓨터학부(jkkim@dku.edu)

※ 이 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

상을 구현하거나 레이저광을 이용하여 물체에 대한 표면법선을 측정하여 물체의 형상을 인식하는 방법 등이 있다 [2-3]. 더욱이 최근에는 물체의 연장선을 추측하여 여러 물체의 경계를 추정하거나[4] 특징 공간 궤적을 이용한 3차원 물체의 회전각도 추정[5], 임의의 초점거리에서의 이미지로부터 선형적인 물체의 재구성[6]등 많은 방면으로의 시도가 이루어지고 있다.

본 연구는 기존의 2차원 비전 검사처럼 물체의 외형적인 성질에 기반을 두면서도 특별한 여타의 조명광원의 필요 없이 전체적인 물체를 인식할 수 있는 3차원 비전 검사 알고

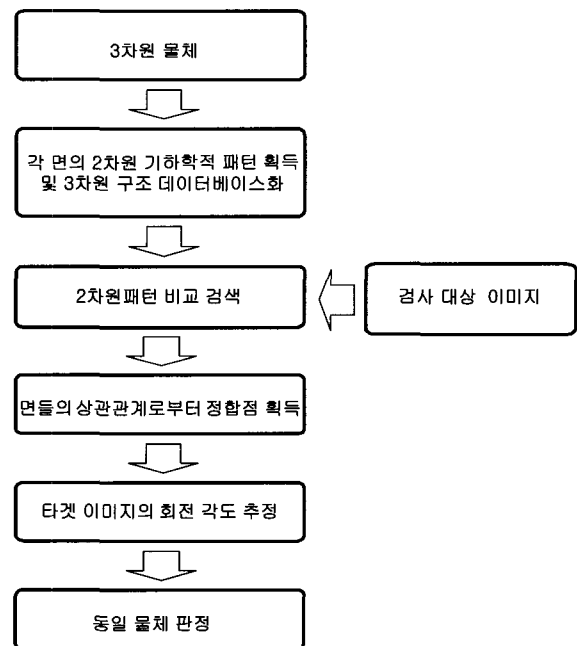


그림 1. 3차원 비전검사 알고리즘 블록도.

Fig. 1. 3D vision inspection algorithm block diagram.

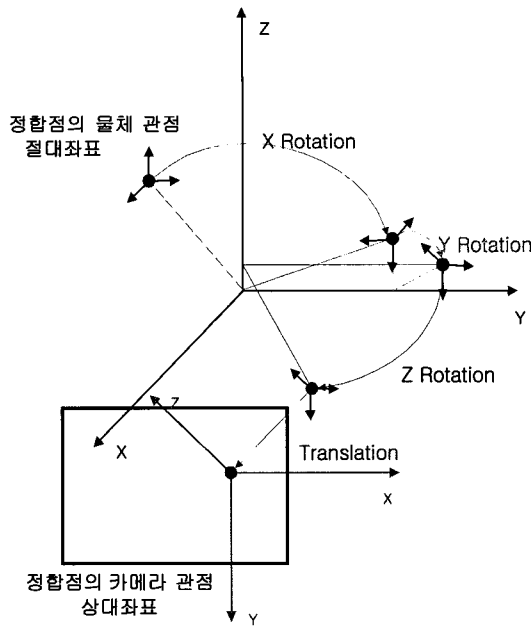
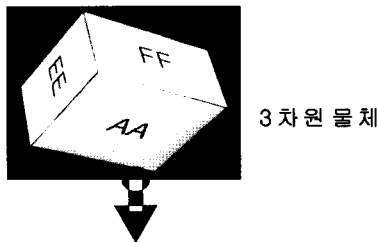


그림 2. 좌표변환 개념도.

Fig. 2. Coordinate transformation diagram.



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:-X90 C-F:-Z90 C-D:X90 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:-X90
E	EE	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
F	FF	220	120	D2-E1-F1 C2-D1-F2 A2-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.

리즘을 제안한다. 본 논문에서는 물체에 대한 3차원 데이터 베이스를 구축하여 검사 대상 이미지에 대하여 기하학적 패

턴 매칭을 기반으로 그 물체를 인식, 검사할 수 있는 알고 리즘을 제안한다.

II. 3차원 비전 검사 알고리즘

본 연구에서 제시하는 3차원 비전검사 알고리즘은 다음 과 같은 흐름을 갖는다.

블록도로부터 알 수 있듯이 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 항목으로 는 검사 대상 이미지의 2차원 패턴과 정합점을 검사하여 3 차원 물체의 보이는 면과 인접면간 관계들을 인식하고 그 것을 토대로 추출된 회전각도 정보로부터 동일물체를 판단 할 수 있다.

그림 2는 물체의 좌표로부터 카메라에 투영된 영상까지 의 좌표 변환에 관한 개념도이다. 검사 대상 이미지내의 정합 점 Q의 좌표는 P점으로부터 (1)과 같은 변환을 거쳐 카메라에 투영된 것이다.

$$Q=C[T][Z][Y][X]P \quad (1)$$

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 물 체까지의 거리, 즉 Z축에 해당하는 성분들이 X축, Y축에 대 하여 어떠한 영향을 끼치는지를 알아야 한다. 하지만, 카메 라의 상대좌표계로 보면, 카메라에 잡힌 이미지의 가로축이 바로 X축에 대응되고 세로축은 Y축에 대응된다. 그리고 Z 축은 카메라로부터의 거리에 해당되므로 2차원적으로 투영 된 이미지에 대하여 Z축이 X, Y축에 주는 영향이 없어짐으 로서 2차원 이미지로부터 단순한 3차원 좌표로 확대시킬 수 있다.

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

III. 기하학적 패턴 매칭을 이용한 각 면의 검출

1. 3차원 데이터베이스의 구성

그림 3에서 보이는 데이터베이스가 물체에 대한 데이터 베이스를 작성한 것이다. 이러한 데이터베이스는 꼭 직육면 체나 정육면체에만 해당하는 것이 아니며, 곡면을 포함하지 않은 물체라면 어떠한 것이든 구현이 가능하다. 곡면을 포 함하지 않은 까닭은 추후 알고리즘의 연산 과정에서 정합점 에 의한 물체의 회전각도 추정과정에서 상당히 어려운 난점 을 가지고 있기 때문이다.

검사 대상 이미지로부터 패턴을 검사하고 정합점을 추출 하여 그 좌표로부터 회전되어진 각도를 추정하기 위해선 조 급이라도 더 정확한 값을 얻어내는 게 중요하다.

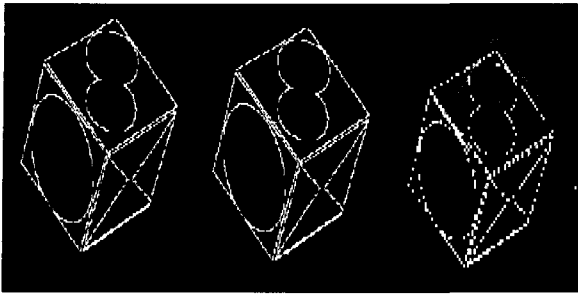


그림 4. 기하학적 패턴 매칭을 이용한 면 추출.
Fig. 4. Plane extraction using the geometrical pattern matching.

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[7].

2차원적 기하학적 패턴 매칭을 사용하여 검사대상 이미지로부터 각 면을 검출, 확인 할 수 있다. 그림 4는 기하학적 패턴 매칭을 이용하여 검사대상 이미지의 각 면을 검출한 예이다. 스케일은 기준패턴이미지의 0.5배에서 2배 사이이며 회전각도는 -180도에서 180도까지의 범위를 가지고 이미지의 전 영역에 걸쳐서 탐색하였다. 아래의 이미지에서 사각형으로 검색되어진 면이 찾고자 하는 면이며 2차원적 기하학적 패턴 매칭의 한계상 그 회전각도는 정확히 검출되지 못하였다.

IV. 면간 정합점 검사와 3차원 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 내일때 우리는 그 정합점이 서로 일치하는 것이며 면들은 서로 붙어있는 것이란 결론을 내릴 수 있다.

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 (2, 3)과 같이 평행이동변환 매트릭스를 결정할 수 있다.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ T_x & T_y & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} T_x &= \text{abs} \{ (A4.x + B1.x + E2.x) / 3 \} \\ T_y &= \text{abs} \{ (A4.y + B1.y + E2.y) / 3 \} \end{aligned} \tag{3}$$

2차원 기하학적 패턴으로 A, B, E면이 검출되어지고 그 중심정합점으로 A4-B1-E2가 데이터베이스로부터 결정되었을 때 우리는 (3)과 같은 방법으로 중심정합점의 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.

V. 각 면의 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 이미지가므로 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 공통된 회전각도를 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.

그림 5는 좌표와 회전의 변환 관계이다. 그림 5에서 검사대상 이미지의 q의 좌표로부터 가상의 좌표 p1을 기준으로 E면의 회전각도 데이터를 추정하였으며, 중복되는 회전각도를 찾아낸 결과, x=60, y=30, z=45 와 x=60, y=30, x=45 의 두가지 회전각도를 얻어내었다. 그런데 이 경우에 있어서는 이 두가지 회전각도가 3차원 공간상의 같은 면을 가리키므로 우리는 x=60, y=30, z=45로 선택하였다.

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 패

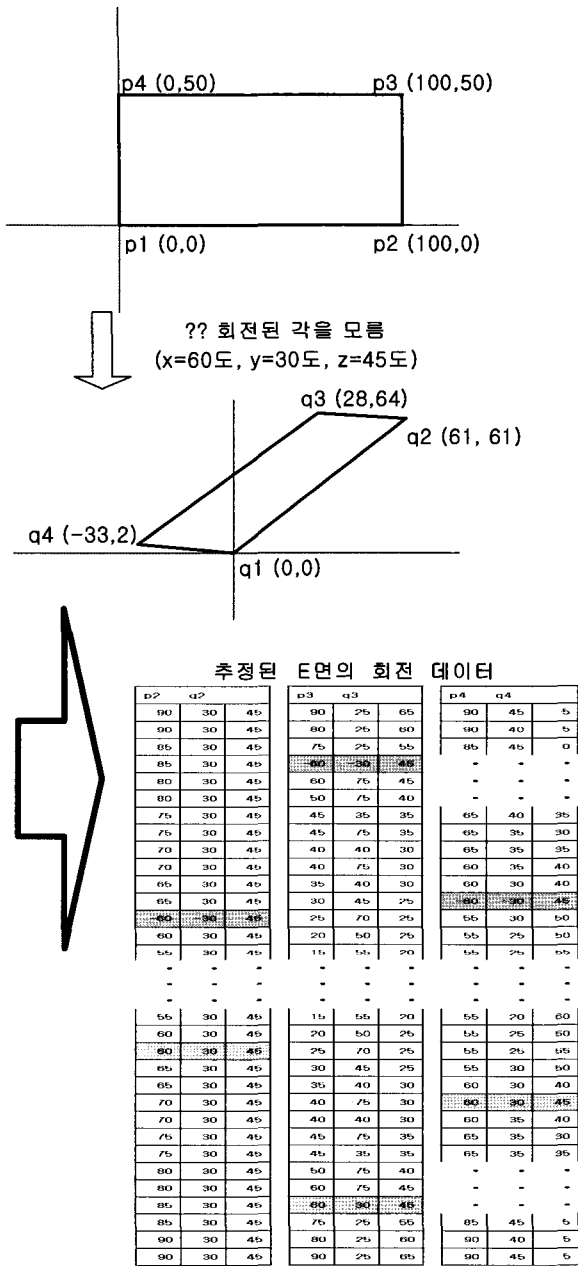


그림 5. 좌표와 회전의 변환 관계.

Fig. 5. Relation of coordinate and rotation.

턴을 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.

VI. 실험 결과

1. 다각형 물체에 대한 실험 결과

직육면체, 정육면체, 사다리꼴, 팔각형 물체에 대하여 실험을 하였으며 그 결과이다.

실험 결과에 대하여 간단히 표로 작성하여 보았다. 여기서 패턴 인식률은 각 물체당 5개씩의 이미지로부터 정확히 패턴이 검색되어지고 검사되어진 이미지의 숫자를 토대로

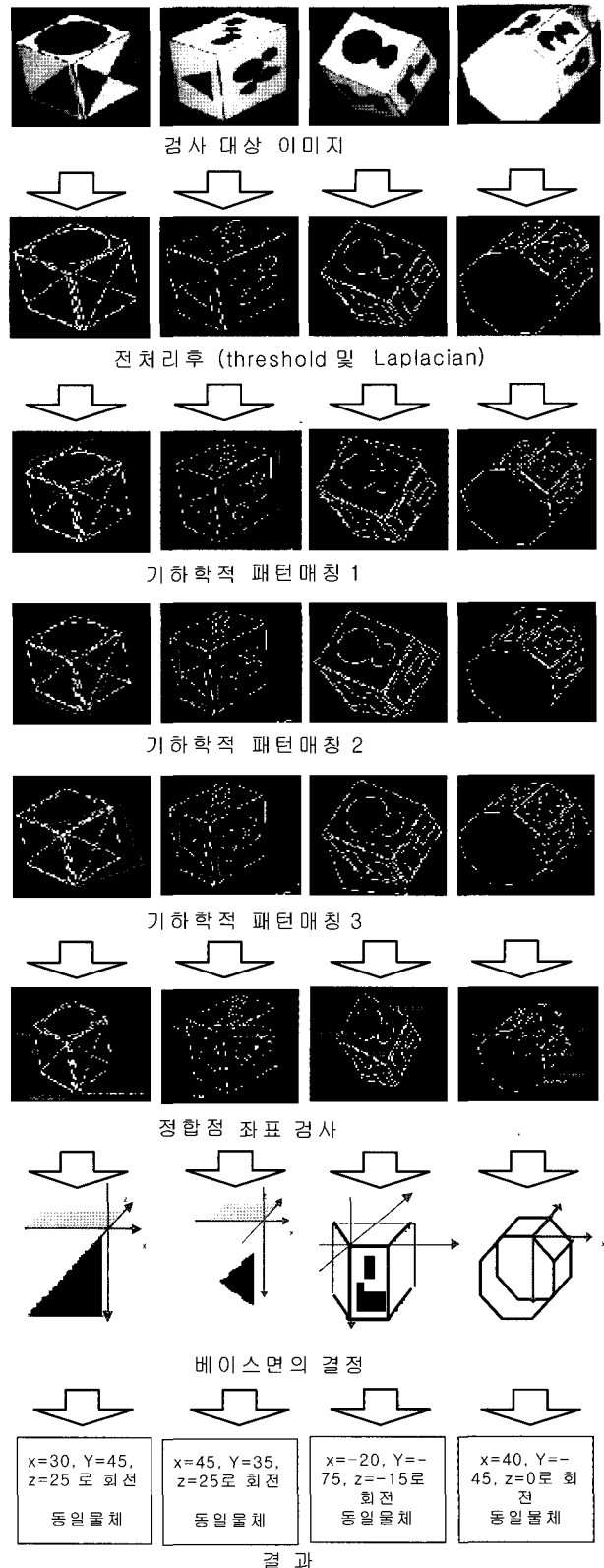


그림 6. 실험 결과.

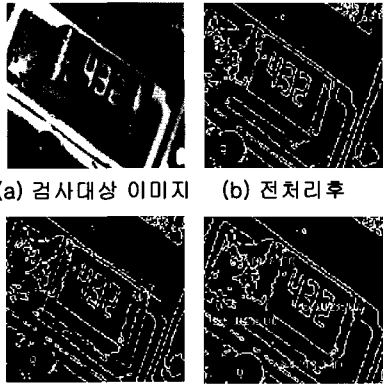
Fig. 6. Experiment results.

만들어진 것이다. 정합점 좌표오차는 이미지내에서 물체가 차지하는 가장 작은 변의 크기에 비해 정합점이 가지는 가장 큰 오차의 상대적인 크기를 말한다. 회전각도 추정은 물

표 1. 실험 결과 비교표.

Table 1. Experiment results table.

	정육면체	직육면체	사다리꼴 물체	팔각형 물체
카메라와의 거리 (단위: mm)	218	170	134	235
물체의 실제 크기 (단위: mm)	24 x 24 x 24	55 x 45 x 30	15 x 22 x 27 x 25	11 x 28 x 8(패턴)
이미지상의 크기 (단위: pixel)	115 x 115 x 115	296 x 242 x 162	60 x 87 x 110 x 100	88 x 224 x 8(패턴)
패턴 인식률 (단위: 백분율)	60%	40%	60%	60%
정합점 좌표 오차 (단위: pixel, 백분율)	10/115 (8.7%)	41/162 (25.3%)	17/60 (28.3%)	16/88(18.2 %)
회전각도 추정 (단위: 각도)	75	70	60	60



(c) 기하학적 패턴매칭 (d) 정합점 좌표

그림 7. IC에 대한 실제적용 예.

Fig. 7. Example of IC.

체의 이미지를 어느 한 좌표 방향으로만 회전시켰을 경우 2차원 기하학적 패턴매칭에서 검출되어지는 최대 각도를 말한다. 패턴 인식률로부터 카메라와의 거리가 짧고 물체의 크기가 클수록 그 인식률이 떨어짐을 알 수 있다. 이는 카메라에 의한 곡면 오차가 존재하기 때문이라 사료된다. 또한 단순한 물체로부터 조금 복잡한 물체로 갈수록 정합점의 좌표 오차가 떨어지는데 그 이유는 물체의 이미지의 길이에 따라 비례적으로 오차도 커지는 데 비해 복잡한 물체로 갈수록 물체의 각 선분의 길이의 차가 커짐으로써 요구되는 오차 범위는 더 작아져야 한다는 데 있다. 인접면간 사잇각이 직각으로부터 멀어짐에 따라 추정할 수 있는 회전각도가 줄어드는 것은 예상되었던 결과이다.

2. 실제적용 예

본 알고리즘을 PCB기판의 IC와 커패시터에 적용시켜 본 결과이다.

그림 7에서의 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 실험데이터들보다 떨어진다고 할 수 있다.

그림 8은 커패시터에 대한 적용의 예이다. 알고리즘에 적용시키기 위해 커패시터를 12각형으로 보았으며 결과는 앞

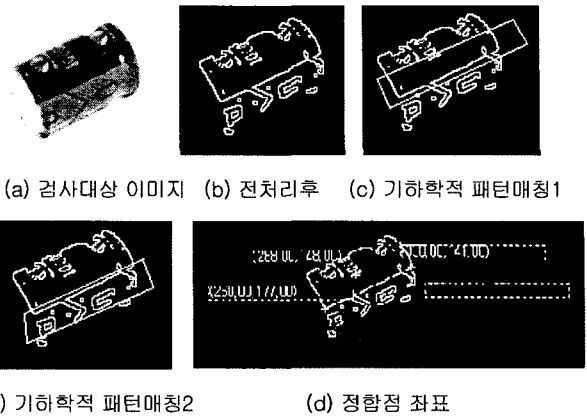


그림 8. 커패시터에 대한 실제적용 예.

Fig. 8. Example of capacitor.

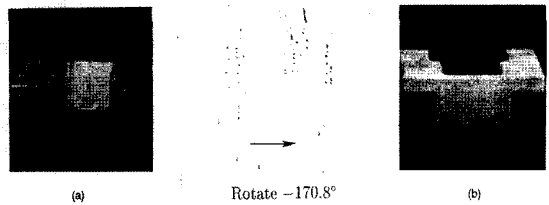


그림 9. 특징 공간 궤적을 이용한 회전각도 추정.

Fig. 9. Rotation angle estimation using feature space trajectory.

면을 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.

3. 기존 비전검사 시스템과의 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[5]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 9은 특징 공간 궤적을 이용한 회전각도 추정 방법의 결과물이다.

이에 반해 본 연구는 그 추정할 수 있는 물체가 보다 단순한 물체로 한계성을 가지고 있으나 반대로 세 방향에 대한 회전각을 추정해 낼 수 있다. 다음은 본 연구에서 제시한 알고리즘과의 비교표이다.

기존의 특징 공간 궤적을 이용한 방법은 능동 컴퓨터 비전 시스템을 위하여 제안되어진 것이며 이는 로봇과 연계하여 검사 시스템의 guidance 역할을 하기 위한 것이다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 방법보다 많은 세 방향으로 회전 각도를 추정함으로써 그 적용 가능한 범위를

표 2. 기존 특징 공간 궤적 방법 시스템과의 비교.

Table 2. Comparison with the feature space trajectory method method.

	기존의 특징 공간 궤적 시스템	제안한 비전검사 알고리즘
필요패턴 수	전후좌우의 각에 따른 4개 이상의 패턴 필요	물체의 형에 따라 다름. 육면체의 경우 6개의 패턴 필요
추정 각도	특징 공간 궤적 추정에 의한 추정으로 몇도 단위까지 가능	정확도는 5도 단위까지 추정 가능
획득 데이터	물체의 한 방향 회전각도	패턴 인식, 물체의 세 방향 회전각도
검사 가능 물체	평면 기하학적 물체	정합점의 추출이 가능한 보다 단순한 기하학적 물체

넓혔으며 더욱이 기하학적 패턴 매칭을 이용, 사전에 검사 대상 물체를 판별, 분류 가능하다는 장점을 가지고 있다.

VII. 결론

본 연구에서는 기하학적 패턴 매칭을 이용하여 기존의 비전 검사 시스템으로 검사하기가 어려운 물체의 3차원 외형 검사 방법에 새로운 하나의 방안을 제시하였다. 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 굉장히 틀어진 물체의 검사 가능성이나 전반적인 물체의 인식 등을 해결하였으며 더욱이 기존의 특징 공간 궤적 방법보다 더 나은 guidance 시스템으로서의 가능성도 제기하였다. 또한 특수한 센서 광원인 레이저나 여타의 추가적인 장비의 도입 없이도 기존의 2차원 비전 검사 시스템으로부터 보완하여 3차원적인 물체로 그 범위를 확장시켰다.

하지만, 아직 기존의 2차원적인 기하학적 패턴 매칭은 75도 이상의 회전 각도에 대하여 그 패턴을 제대로 인식하지 못하는 문제점을 안고 있고, 5도 단위인 추정 각도의 폭을 더 좁게 제한하였을 때 그 연산량은 기하급수적으로 늘어나게 됨으로서 현재의 프로세서 속도로도 많은 시간을 소모하게 됨을 알 수 있었다. 또한 평면으로 구성된 물체에 대하여서는 접근 기능하나, 곡면이 추가된 물체에 대해서는 여기서 제안된 정합점을 제대로 인식할 수 없으므로 그 부분에 대해서는 새로운 접근법이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] P. J. Bsel, "Active, Optical Range Imaging Sensor," *Machine Vision and Application*, pp 127-152, 1998.
- [2] G. Healey and T. O. Binford, "Local Shape from Specularity," *Proc. Image Understanding Workshop*, pp. 874-887, 1987.
- [3] S. K. Nayar, "Shape Recovery using Physical Models of Reflection and Interreflection," CMU, 1991.
- [4] Liuis Ros and Federico Thomas "Overcoming Superstrictness in Line Drawing Interpretation", *IEEE Trans.(PAMI)*, pp. 456-466, APRIL 2002.
- [5] M. A. Sipe, "Feature Space Trajectory Methods for Active Computer Vision", *IEEE Trans(PAMI)*, pp. 1634-1643, DECEMBER 2002.
- [6] D. Jelinek and C. J. Taylor, "Reconstruction of Linearly Parameterized Models form Single Images with a Camera of Unknown Focal Length", *IEEE Trans(PAMI)*, pp. 767-773, JULY 2001.
- [7] B. Silver, "New Developments in PC-based Vision for Locating and Inspecting Parts", CTO, Cognex Coporation.



정철진

1975년 3월 27일생. 1999년 단국대 전자공학과 졸업. 동대학원 석사(2003). 관심분야는 머신비전, 영상처리.



허경무

1956년 9월 1일생. 1979년 서울대학교 전자공학과 졸업, 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사(1981), 동대학원 박사(1989). 현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공 부교수. 주요 연구 분야는 3차원 디스플레이, 로봇트 제어, 검사 자동화, 시스템 제어, 학습 제어, Servo Motor 제어, 디지털제어기 설계 및 시뮬레이션.



김장기

1949년 12월 22일생. 1972년 단국대학교 전자공학과 졸업, 동대학 석사(1976), 현재 단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공 교수.