

기하학적 패턴 매칭을 이용한 3차원 비전 검사 알고리즘

정 철 진, *허 경 무

단국대학교 전자.컴퓨터공학과, *단국대학교 전자공학과
전화 : 041-550-3548 / 핸드폰 : 011-9817-9103

3D Vision Inspection Algorithm Using the Geometrical Pattern Matching

Abstract

In this paper, we suggest the 3D Vision Inspection Algorithm which is based on the external shape feature, and is able to recognize the object. Because many objects made by human have the regular shape, if we possess the database of pattern and we recognize the object using the database of the object's pattern, we could inspect the objects of many fields. Thus, this paper suggest the 3D Vision inspection Algorithm using the Geometrical Pattern Matching by making the 3D database.

I. 서론

3차원 물체에 대한 형상인식 기술은 공학분야에서 중요한 주제로서 연구가 진행되고 있다. 그 동안 여러 가지 광원을 이용하여 3차원 형상을 인식하는 기술이 개발되었다. 대표적으로 서로 다른 조명 조건하에서 획득한 여러 영상으로부터 형상을 구현하거나 레이저 광을 이용하여 물체에 대한 표면법선을 측정하여 물체의 형상을 인식하는 방법 등이 있다[1-2].

아직까지 3차원 비전 검사는 그 목적에 따라 몇몇 한정된 분야에서만 사용되고 있다. CT(computer

tomography) 촬영이나 MRI(Magnetic Rsonnance Imaging), X-ray 의료 장비에서의 많은 이미지를 나열하여 3차원 투시 검사를 하는 분야와 PCB기판에서의 레이저를 이용한 납땜 검사 분야등이다[3]. 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. 이는 이미지로부터 3차원 정보를 추출하는 어려움을 피하고 카메라 초점에 따른 이미지의 선명도 문제와 그림자 문제를 없앨 수 있다는 장점이 있는 반면, 장비면으로도 많은 투사가 필요하거나와 많은 공간을 차지한다는 단점이 있다.

본 논문은 기존의 2차원 비전 검사처럼 물체의 외형적인 성질에 기반하면서도 특별한 여타의 조명광원의 필요없이 전체적인 물체를 인식할 수 있는 3차원 비전 검사 알고리즘을 제안한다. 인간이 생산하는 많은 부품들이 일정한 형태를 가지고 있고 그 형태를 데이터베이스화된 패턴으로 보유, 인식할 수 있다면 많은 분야에 있어서 검사가 가능할 것이다. 따라서 본 논문에서는 물체에 대한 3차원 데이터베이스를 구축하여 검사 대상 이미지에 대하여 기하학적 패턴 매칭을 기반으로 그 물체를 인식할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

II. 3차원 비전 검사 알고리즘

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

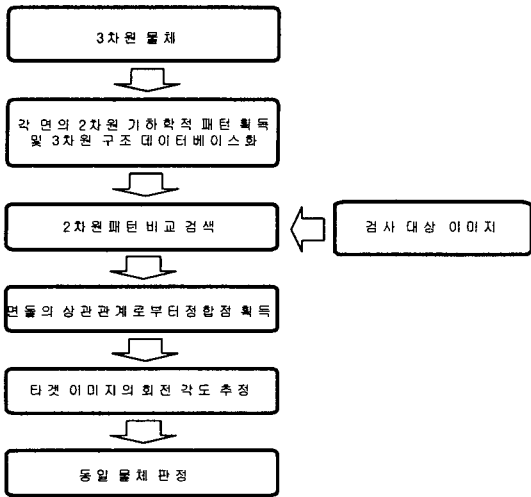


그림 1 3차원 비전검사 알고리즘 블록도
Fig. 1 3D Vision Inspection Algorithm Block Diagram

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 항목으로는 검사 대상 이미지의 2차원 패턴과 정합점을 검사하여 3차원 물체의 보이는 면과 인접면간 관계들을 인식하고 그것을 토대로 추출된 회전 각도 정보로부터 동일물체를 판단할 수 있다.

본 논문에서 제시한 3차원 비전 검사 알고리즘은 크게 3가지 단계로 분류된다. 첫 번째 단계는 2차원 기하학적 패턴 매칭을 이용한 각 면의 검출 단계이고 두 번째 단계는 면간 정합점의 검사와 3차원 좌표 변환 단계이다. 그리고 마지막으로 각 면의 회전 각도 추정과 동일물체 판정 단계가 있다.

3차원 데이터베이스의 구성

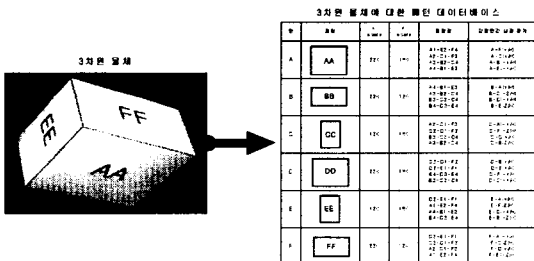


그림 2 3차원 물체에 대한 패턴 데이터베이스
Fig. 2 Pattern Database of 3D objects

그림 2에서 보이는 데이터베이스가 왼쪽 물체에 대

한 데이터베이스를 작성한 것이다. 이러한 데이터 베이스는 꼭 직육면체나 정육면체에만 해당하는 것이 아니며, 곡면을 포함하지 않은 물체라면 어떠한 것이든 구현이 가능하다. 곡면을 포함하지 않은 까닭은 추후 알고리즘의 연산 과정에서 정합점에 의한 물체의 회전 각도 추정과정에서 상당히 어려운 난점을 가지고 있기 때문이다.

기하학적 패턴 매칭이란

기하학적 패턴 매칭이란 물체를 음영에 독립적이며 이산적인 그리드에 구축되지 않는 기하학적 형태로 표현하는 것으로서 이미지가 픽셀 그리드로 제한되지 않으며 각도 및 크기에서의 변화들을 허용하고 측정가능한 장점을 가지고 있다. 이는 기하학적 패턴 매칭이 많은 자유도를 가지고 있기 때문이다.[4]

2차원적 기하학적 패턴 매칭을 사용하여 검사 대상 이미지로부터 각 면을 검출, 확인 할 수 있다.

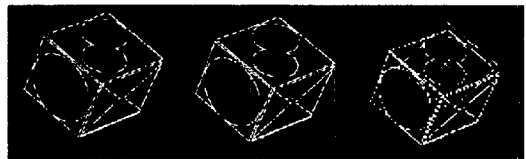


그림 3 기하학적 패턴 매칭을 이용한 면 추출
Fig. 3 Plane extraction using the Geometrical Pattern matching

정합점 추출 및 검사

면	패턴	X	Y	정합점	인접면간 상관 관계
A	AA	220	180	A1-A3, A4-A6, A7-A9	A-E-Y90, A-C-Y90, A-B-Y90, A-E-Z90
B	BB	220	120	B1-B3, B4-B6, B7-B9	B-A-Y90, B-C-Y90, B-E-Z90
C	CC	120	180	C1-C3, C4-C6, C7-C9	C-A-Y90, C-B-Y90, C-E-Z90
D	DD	120	120	D1-D3, D4-D6, D7-D9	D-A-Y90, D-B-Y90, D-E-Z90
E	EE	120	180	E1-E3, E4-E6, E7-E9	E-A-X90, E-F-Z90, E-B-Z90
F	FF	120	120	F1-F3, F4-F6, F7-F9	F-A-X90, F-B-Z90, F-E-Z90

데이터베이스로부터 정합점 추출: A4-B1-E3

그림 4 정합점 추출
Fig. 4 Matching point extraction

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 내 일때 우리는 그 정합점이 서로 일치하는 것이며 면들

은 서로 붙어있는 것이란 결론을 내릴 수 있다.

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. 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.

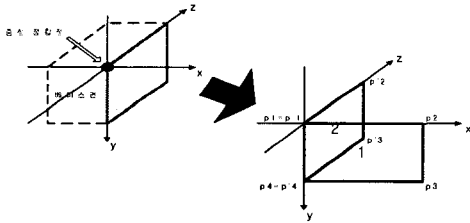


그림 5 가상의 3차원 물체 좌표변환
Fig.5 coordinate transformation of virtual 3D objects

각 면의 회전각도 추정

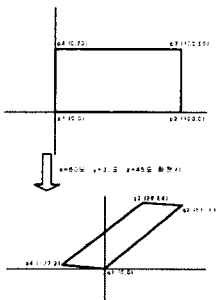


그림 6 좌표와 회전의 변환 관계
Fig. 6 Relation of coordinate and rotation

앞에서 구하여진 가상 3차원 물체의 좌표로 우리는 검사 대상 이미지로부터 대응되는 점의 좌표값 변화로부터 회전되어진 각의 정보를 추정할 수 있다[5]. P가 가상의 3차원 물체의 좌표이고 Q가 검사 대상 이미지의 대응되는 면이라 할 때 우리는 중심 정합점 p1 또는 q1

을 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 추정 데이터는 줄어들게 된다. 이 각도가 바로 면이 회전한 각도이며, 차후 동일 물체 판정의 요소중의 하나가 된다.

표 1 면의 추정된 회전 각도 테이블

Table 1 The expected rotation degree table

추정 면	E 면의 회전	대 이 터
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

4.2 동일 물체 판정

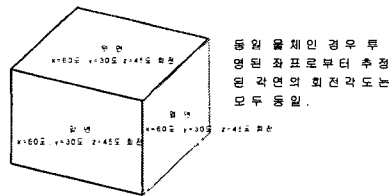


그림 7 각 면의 회전각도와 동일물체 판정
Fig. 7 Rotation degree and decision of the same object

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.

III. 실험 결과

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

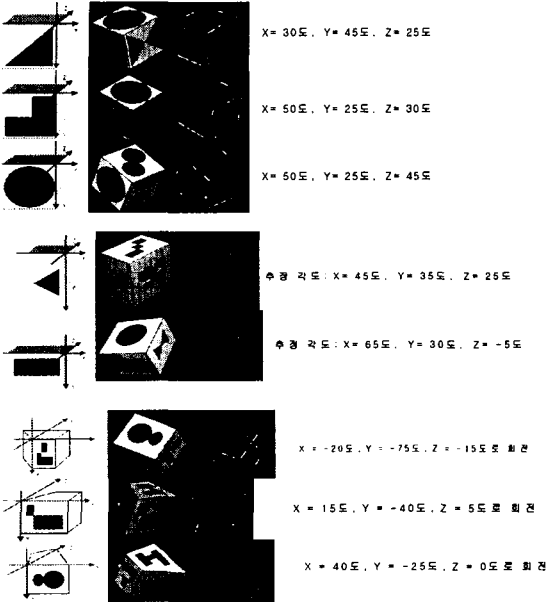


그림 8 실험 결과

Fig. 8 The experiment results

실험 결과에 대하여 간단히 표로 작성하여 보았다.

표 2 실험 결과 비교표

Table 2 The comparison table of experiment result

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

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 작

아져야 한다는 데 있다. 인접면간 사잇각이 직각으로 부터 멀어짐에 따라 추정할 수 있는 회전각도가 줄어드는 것은 예상되었던 결과이다.

IV. 결론

본 논문에서는 기하학적 패턴 매칭을 이용하여 기존의 비전 검사 시스템에서는 검사하지 못했던 물체의 3차원 외형 검사의 가능성을 제시하였다. 3차원적인 데이터베이스를 구성, 사용함으로써 물체의 회전 각도에 관계없이 그 동일 물체임을 인식할 뿐만 아니라 그 회전된 각도마저 추정이 가능함으로써 고정되지 않은 물체에 관하여도 그 검사의 가능성을 제기하였다. 또한 특수한 센서 광원인 레이저나 여타의 추가적인 장비의 도입없이도 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 제한하였을때 그 연산량은 기하급수적으로 늘어나게 됨으로서 현재의 프로세서 속도로도 많은 시간을 소모하게 됨을 알 수 있었다. 또한 평면으로 구성된 물체에 대하여서는 접근 가능하나, 곡면이 추가된 물체에 대해서는 여기서 제안된 접합점을 제대로 인식할 수 없으므로 그 부분에 대해서는 새로운 접근법이 필요할 것이다.

참고문헌(또는 Reference)

[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] P. J. Bsel, "Active, Optical Range Imaging Sensor," Machine Vision and Application, pp 127-152, 1998.

[4] Bill Silver, "New Developments in PC-based Vision for Locating and Inspecting Parts", CTO, Cognex Coporation.

[5] Richard P. Paul, "Robot Manipulators: Mathematics, programming, and control", The MIT Press, pp 9-36, 1982.