

이어핀 삽입 자동화 시스템을 위한 템플릿 매칭 기반 홀 판별 방법

백종환*, 이재열*, 정명수*, 장민우*, 신동호*, 서갑호*, 홍성호*
*한국로봇융합연구원 HRI연구센터
hong6286@kiro.re.kr

Hole Identification Method Based on Template Matching for Ear Pins Insertion Automation System

Jonghwan Baek*, Jaeyoul Lee*, Myungsoo Jung*, Minwoo Jang, Dongho Shin
Kapho Seo*, Sungho Hong
*KOREA INSTITUTE OF ROBOTICS & TECHNOLOGY CONVERGENCE
Dept. Human-Robot Interaction Research Center

요 약

장신구 산업은 인건비의 비중이 높고 노동자의 역량에 따라 제품의 제작 작업 시간 및 품질의 편차가 심하다. 이에 산업계의 수요에 맞추어 실리콘 금형 표면 지름 0.75mm 홀에 이어핀을 삽입하는 공정을 자동화하기 위하여 삽입 자동화 시스템이 개발되고 있다. 본 논문에서는 이어핀 삽입 자동화 시스템에서 적용할 수 있는 템플릿 매칭 방법과 관심 영역 레이블링을 통한 홀 판별 방법을 제안한다. 제안한 방법의 안정성을 확보하기 위하여 실험을 통해 최적의 매칭 방법과 이진화 기법을 적용하였으며 이어핀 홀의 좌표를 확보하여 X-Y 정밀 이송 시스템에 적용할 수 있다.

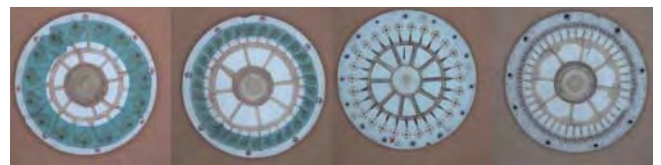
1. 서론

장신구 산업의 공정은 대부분이 수작업으로 이루어지는 노동집약적 산업으로 제조원가 중 인건비의 비중이 가장 높으며 노동자의 역량에 따라 작업 시간 및 품질의 편차가 심하다. 이에 산업계는 고객 수요에 맞추어 공정 자동화 시스템을 통해 편차가 심하지 않은 안정된 품질의 제품을 소비자에게 제공하려 하고 있다. 그러나 소비자 수요에 맞추어 빠르게 변화하는 특성상 장신구들을 제조하는 실리콘 금형상의 이어핀 삽입 위치가 다르게 나타날 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 정밀 제어 이어핀 삽입 자동화 시스템에 적용할 수 있는 비전 기반의 이어핀 삽입 좌표 추출 방법을 제안하고, 사용할 수 있는 다른 방법과의 비교를 통한 정밀도 측정 결과를 나타내었다. 제안하는 비전 기반의 삽입 좌표 추출 방법은 템플릿 매칭-ROI 영역 레이블링을 통하여 정확도를 높였다. 제안하는 비전 기반 삽입 좌표 추출 방법을 통한 X, Y축 정밀 이송 시스템을 사용한다면 원가절감 및 품질 안정성, 생산성 향상 등을 확보할 수 있을 것이다.

2. 이어핀 삽입 자동화 시스템

기존 이어핀 삽입 작업은 주조 공정을 위해 실리콘 금형 표면 구멍에 작업자가 직접 지름 0.75mm의 핀을 삽입하는 과정으로 진행된다. 즉, 첫째로 인간의 눈으로 보고, 둘째로 삽입 위치를 인식한 후, 셋째로 손을 움직여 삽입 위치에 삽입하는 과정으로 작업을 세분할 수 있다. 본 연구에서 사용한 이어핀 자동화 시스템은 이러한 인간의 작업 방식과 유사한 작업 방식을 갖는다.



(그림 1) 다양한 모습의 실리콘 금형들

첫째로 산업용 카메라로 그림 1과 같은 다양한 금형을 보고, 둘째로 비전 시스템으로 금형의 이어핀 삽입 좌표 데이터를 추출한다. 셋째로, 추출한 데이터를 통해 자동 작업지시가 가능한 세 가지의 작업이 가능하다. 그림 2는 본 연구에서 사용한 자동화

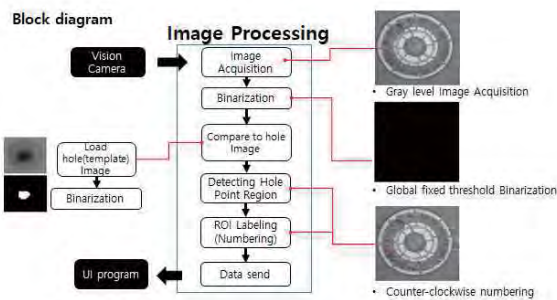
시스템을 나타낸다.



(그림 2) 이어핀 삽입 자동화 시스템

3. 이어핀 삽입 좌표 데이터 추출

3. 1. 흐름도



(그림 3) 이어핀 삽입 자동화 시스템

삽입 좌표 인식을 위한 비전 시스템의 흐름도는 그림 3과 같다. 산업용 카메라는 실리콘 금형을 촬영하여 RGB 색상 모델로 영상을 얻어오며, 영상처리 후 획득한 좌표 데이터 및 결과 이미지는 자동작업지시 공정을 위해 사용자 인터페이스 프로그램 단으로 송신된다.

3. 2. 이진화

이진화(Binarization)는 특정 경계값을 두고 두 개의 클래스 분류 문제로 0 아니면 1, 혹은 아니면 백으로 분류하여 관심 객체를 분류하는 작업을 의미한다.

$$dst(x,y) = \begin{cases} 255 & src(x,y) > T \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

영상에서의 이진화는 식 (1)과 같이 특정 경계값 T 를 기준으로 픽셀값을 255나 0으로 분류한다. 이진화는 입력 영상의 환경, 특히 조명의 영향을 다소 받게 되어 대비가 낮고 잡음이 심하며 객체의 패턴이 복잡한 입력 영상에서는 이진화 결과가 원하는 성능이 나오지 않아 객체 분리가 어려운 모습을 보

인다. 이에 더 나은 성능을 위하여 많은 논문이 발표된 바 있다.[1][2][3] 그러나 논문들에서 사용한 적응형 이진화 방법을 사용할 경우, 금형 표면에 여러 무늬가 있는 실리콘 금형의 특성상 잡음까지 인식해 버리는 문제가 있다. 본 논문의 이어핀 삽입 자동화 시스템은 덮개로 인하여 금형 표면에 균일한 조명을 비출 수 있으며, 그로 인해 표면의 홀이 음각으로 뚜렷하게 드러나기 때문에 전역 고정 경계값 이진화를 사용하는 편이 유리하다.

3. 3. 템플릿 매칭을 통한 관심 영역 획득

템플릿 매칭은 입력 영상에서 템플릿 이미지와 일치하는 이미지의 작은 부분을 찾기 위한 이미지 처리 기술이다. 템플릿 매칭은 찾으려는 객체의 이동 문제에 강인한 편이지만 회전 및 크기가 조절된 물체의 매칭은 어려운 편이다. 입력 영상의 이진화와 마찬가지로 이어핀 삽입 자동화 시스템은 카메라 높이가 고정되어 있으며 균일한 조명을 비추기 때문에 홀 영역을 찾는 작업에 템플릿 매칭 방법을 사용한 것이 적합하다. 실리콘 금형 표면의 홀 영역을 찾기 위하여 아래 그림 4와 같은 템플릿을 입력시키고 이진화하여 탐색하고 일치되는 영역을 관심 영역 (Region of Interest, ROI)으로 지정한다.



(그림 4) 템플릿 및 이진화 템플릿

이진화 템플릿 영상은 그 자체가 슬라이딩 윈도우가 되어 이진화 입력 영상 왼쪽 위에서 오른쪽 아래까지 탐색을 시도하며 매칭 방법에 따라 매칭을 시도한다. 입력 영상과 템플릿 영상 간의 비교 계산 방법에 따라 매칭 결과는 조금씩 달라진다.[4]

$$R(x,y) = \Sigma(T(x',y') - I(x+x',y+y'))^2 \quad (2)$$

$$R(x,y) = \Sigma(T(x',y') \times I(x+x',y+y')) \quad (3)$$

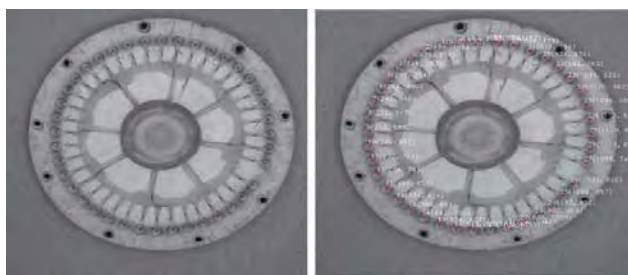
$$R(x,y) = \Sigma(T'(x',y') \times (I'(x+x',y+y'))) \quad (4)$$

매칭 방법은 제공차 매칭, 상관관계 매칭, 상관계수 매칭이 있는데 각각의 수식은 식 (2), (3), (4)와 같다. I 는 탐색영역의 영상이며, T 는 템플릿, R 은 결과행렬이다. 제공차 매칭은 일치할수록 값이 높게

나오고, 상관관계와 상관계수 매칭은 일치할수록 값이 낮게 나온다. 상관계수 매칭 방법은 일반적으로 제곱차 매칭보다 시간이 더 걸리지만 더 정확한 결과를 보인다.

3. 4. ROI 영역 레이블링을 통한 좌표 검출

레이블링은 관심 객체에 꼬리표(label)를 붙이는 작업을 의미한다. 템플릿 매칭을 통해서 홀의 대략적인 영역을 획득 할 수 있으나 홀의 정확한 좌표 획득을 위한 방법이 필요하다. 이진화된 영상의 분석에 있어서 레이블링 기법은 요소들에 대한 연결성을 제공하고 각각의 픽셀을 하나의 관심 객체로 묶는 기법이다. 일반적으로 레이블링 알고리즘은 두 번의 탐색을 통하여 재귀적으로 입력 영상 이미지에 레이블을 붙이는 작업을 하거나 비재귀적으로 한 번의 탐색을 통해 레이블링하는 기법을 사용한다.[5] 그러나 제안하는 방법에서는 템플릿 매칭을 통하여 관심 영역을 획득하고 그 영역 내에서만 레이블링 작업을 수행하기 때문에 복잡한 레이블링 알고리즘을 사용하지 않고 관심 영역 내에서 흰색 화소만을 찾는 간단한 알고리즘을 사용하였다. 이후, 관심 영역에서 레이블링된 객체의 중간 화소와 관심 영역의 위치를 합하면 홀의 좌표가 검출된다. 검출된 관심 영역 및 좌표들은 반시계 방향 순서로 번호가 매겨진다. 이후 영상의 픽셀 좌표계를 실 좌표계로 변환하고 그림 5와 같은 결과 영상과 좌표를 사용자 프로그램에 송신한다.

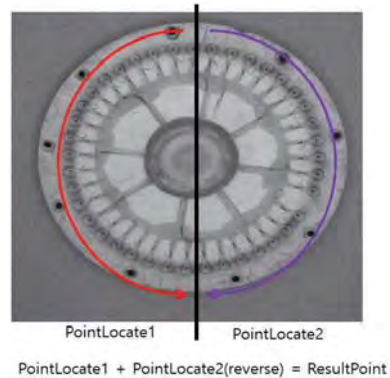


(그림 5) 홀 좌표 검출

3. 5. 템플릿 매칭에 의한 중복 검출 문제

템플릿 매칭은 슬라이딩 윈도우 기반이기 때문에 윈도우의 픽셀 이동 간격이 너무 미소하면 하나의 홀이 중복 검출되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 검출된 좌표의 y 좌표를 오름차순으로 정렬하고 y 좌표끼리 비교하여 5픽셀 이내라고 판단이 되면 좌표를 삭제하는 기법을 사용하였으며 같은 y좌표 내의 두 개의 홀이 삭제되는 것을 방지하기

위하여 그림 6과 같이 입력 영상의 절반씩 탐색하여 두 그룹을 합쳐 레이블하는 기법을 사용하였다.

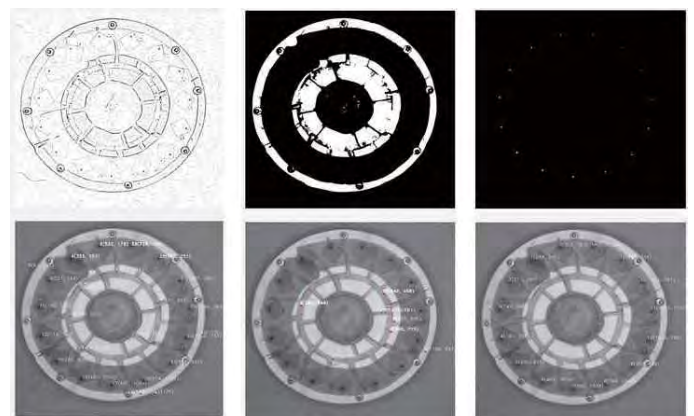


(그림 6) 레이블링 순서

4. 실험

제안한 비전 기반 삼입 좌표 추출 시스템에 사용한 방법들을 검증하기 위해 입력 영상에 각 방법을 적용하였을 때 결과 영상들을 나타내었다. 실험 환경은 산업용 머신 비전 카메라를 실리콘 금형 표면을 촬영하는 방향으로 30cm 떨어져서 촬영하였으며 덮개를 이용하여 암실을 만들고 외경 48cm, 내경 36cm의 링 형태의 조명을 사용하여 균일한 조명 환경을 만들었다. 입력 영상은 1280px×1280px이며 잡음의 영향이 없도록 무늬가 없는 바닥을 사용하였다. 사용한 전역 이진화 경계값은 50으로 고정하였으며 템플릿 매칭 유사도는 0.5로 고정된 후 실험하였다.

4. 1. 이진화 방법에 따른 매칭 결과



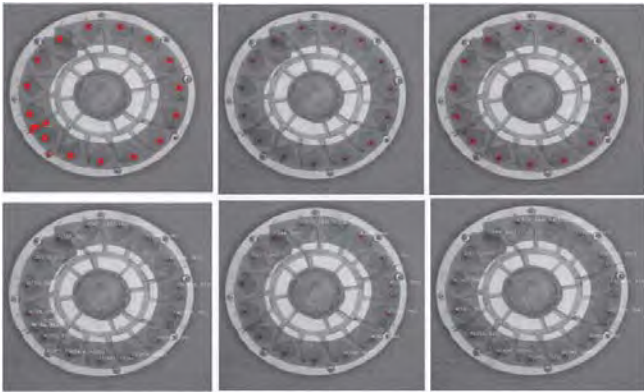
(a) 적응형 이진화 (b) Otsu 이진화 (c) 전역 이진화

(그림 7) 이진화 방법에 따른 결과

그림 7은 이진화 방법에 따른 결과를 나타내었다. 템플릿 매칭 방법은 상관계수 매칭 방법을 각각 사

용하였다. 그림 7의 a에서 적응형 이진화 방법을 사용하였을 때, 홀 검출은 비교적 잘 되었으나 잡음을 이어핀 홀로 인식하는 모습을 보인다. 그림 7의 b에서 Otsu 이진화 방법을 사용하였을 때 홀을 이진화하지 못하여 검출을 못하는 모습을 보인다. 그림 7의 c에서는 홀을 100% 검출하였으며 좌표 출력이 되는 모습을 보인다.

4. 2. 템플릿 매칭 방법에 따른 매칭 결과



(a) 제곱차 매칭 (b) 상관관계 매칭 (c) 상관계수 매칭

(그림 8) 템플릿 매칭 방법에 따른 결과

그림 8은 템플릿 매칭 방법에 따른 결과를 나타낸다. 이진화 방법은 전역 경계값 이진화를 모두 수행하였다. 그림 8의 a에서 제곱차 매칭 방법은 홀 검출 영역을 잘 잡아내었으나 잡음 역시 홀 검출 영역으로 판단하는 모습을 보인다. 그림 8의 b에서 상관관계 매칭에서는 홀 영역의 4분의 1을 잃는 모습을 보인다. 그림 8의 c에서 상관계수 매칭에서는 홀 영역 탐색을 완료한 모습을 보인다.

5. 결론

급변하는 현대 사회에서 자동화되지 않은 노동집약적 산업 분야들은 품질 안정성 및 작업 시간의 효율성을 위하여 자동화 시스템을 요구하고 있다. 본 논문에서는 주얼리 산업의 이어핀 삽입 홀 검출 자동화 시스템에 적용할 수 있는 산업용 카메라 기반의 템플릿 매칭 및 ROI 레이블링을 이용한 검출 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과로서 최적의 검출 알고리즘을 찾아내어 적용하였으며 본 방법을 통해 비전 기반 이어핀 삽입 자동화 시스템에서 원가 절감 및 작업 시간 절감의 효과를 누릴 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Sauvola, Jaakko, and Matti Pietikäinen. "Adaptive document image binarization." *Pattern recognition* 33.2 (2000): 225-236.
- [2] Liu, Ying, and Sargur N. Srihari. "Document image binarization based on texture features." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19.5 (1997): 540-544.
- [3] Pak, Myeongsuk, Jaehan Park, and Sanghoon Kim. "The Implementation of Defect Detector Using Efficient Thresholding Method." *Computer Science and its Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, (2015): 1085-1091.
- [4] Brunelli, Roberto. "Template matching techniques in computer vision: theory and practice." John Wiley & Sons, (2009): 43-71.
- [5] 김도현, 강동구, and 차의영. "화상 및 음성처리: 비재귀 Flood-Fill 알고리즘을 이용한 적응적 이미지 Labeling 알고리즘." *정보처리학회논문지 B* 9.3 (2002): 337-342.