

비전기반 검사시스템에서의 퍼지로직을 이용한 정상-불량 판단

A Fuzzy Logic Decision-Making for Vision-Based Inspection system

최경진*, 이용현*, 박종국**

*강남대학교 제3대학 전자시스템정보공학부

**경희대학교 전자정보대학 전자정보학부

Kyung-Jin Choi*, Young-Hyun Lee*, Chong-Kug Park**

*College of Science Engineering, KangNam University

E-mail : kjchoi@kangnam.ac.kr yhlee@kangnam.ac.kr

**College of Electronics & Information, KyungHee University

E-mail : ckpark@khu.ac.kr

요 약

본 논문은 퍼지로직을 이용하여 메탈스텐실의 홀의 정상-불량 판단을 수행한다. 메탈스텐실은 PCB의 SMD의 패드 위에 납을 도포하기 위해 사용되는 것으로, 레이저를 이용하여 패드모양과 동일하게 홀을 생성한다. 가공 시 발생하는 불량은 레이저 출력의 약화로 홀이 정상적으로 가공되지 않는 것이다. 검사를 위해 비전시스템을 이용하여 메탈스텐실에 대한 카메라이미지를 획득하고, 기준이미지는 메탈스텐실을 제조하기 위해 사용되는 거버 파일을 이용하여 생성한다. 퍼지로직의 입력변수는 각 이미지에서의 검사대상 홀의 위치오차와 크기비율이고, 출력변수는 홀의 정상판단율이다. 홀의 위치와 크기는 두 이미지에 대해 영상처리를 수행하여 계산한다. 퍼지규칙은 작업자의 판단 규칙을 적용하여 작성한다. 4종류의 메탈스텐실에 대해 정상-불량 판단을 위해 고정된 임계치를 사용하였을 경우와 제안된 퍼지로직을 적용한 실험결과에 대해 설명한다.

1. 서론

SMT(surface mount technology) in-Line 시스템에서 납 도포공정은 납 도포기에서 메탈스텐실을 사용하여 PCB의 SMD 패드 위에만 크립 납을 도포한다. 납 도포공정에서 발생하는 불량은 납의 미 도포, 납량의 미달 또는 과다, 납 위치 불량 그리고 납 형상불량으로 메탈스텐실에 레이저가 가공된 각 홀의 제조 상태와 밀접한 관련을 가진다.

가공된 홀이 정상인지 불량인지를 판단하기 위해 홀의 위치와 크기를 사용한다. 기존의 판단방법은 위치오차와 크기오차에 대한 고정 임계치를 사용하여 정상-불량을 판단한다. 이 경우 임계치를 근소하게 벗어나는 경우 불량으로 판단한다. 그러나 실제 작업자는 근소한 차는 무시하여 정

상으로 판단한다.

따라서 본 논문에서는 퍼지로직을 이용하여 작업자의 판단기준을 구현하고, 이를 검사시스템에 적용한다.

2. 검사대상 및 기준

2.1 메탈스텐실

메탈스텐실은 얇은 스테인리스 필름을 레이저로 SMD 패드와 동일한 모양의 aperture를 가공하여 제조한다. 납 도포(solder print) 공정은 PCB와 메탈스텐실을 일치시키고, 크립 납을 일정한 각도의 스퀴지(Squeegee)를 이용하여 일정한 압력과 속도로 이동시킨다. 그 결과 메탈스텐실의 가공된 홀의 모양대로 납이 통과하여 PCB 표면의 SMD 패드 위에 도포된다.

납 도포 공정에서 발생하는 불량률의 원인은 두 가지이다. 첫 번째는 납을 도포하기 위한 스쿼즈의 각도, 속도 및 압력의 최적화이고, 두 번째는 메탈스텐실의 제조 상태이다. 메탈스텐실 제조시 발생하는 오류는 가공시 레이저의 출력이 변화함에 따라 홀이 정상적으로 가공되지 않는 것이다. 따라서 본 논문에서는 메탈스텐실의 제조 상태를 검사하기 위한 비전기반 검사시스템을 구성하고, 가공된 각각의 홀의 검사한다.

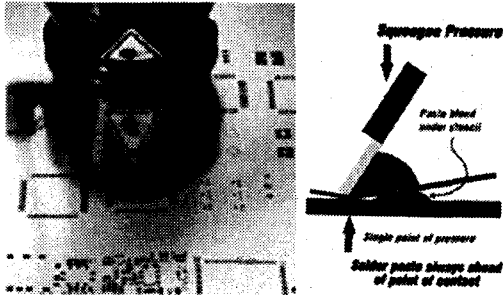
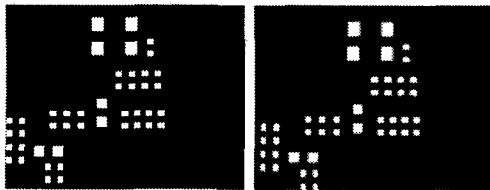


그림 1. 메탈스텐실과 납 도포공정

2.2 영상처리 알고리즘

가공된 홀의 정상-불량 판단 기준은 홀의 위치와 크기이다. 검사 시스템에서는 메탈스텐실의 홀을 검사하기 위해 그림 2의 기준이미지와 카메라이미지를 이용한다. CCD 카메라를 이용하여 검사영역의 카메라이미지를 획득하고, 메탈스텐실을 제조하기 위해 사용하는 거버 파일을 판독하여 가공될 홀의 모양, 크기 및 위치 등에 대한 정보를 이용하여 검사영역에 대한 기준이미지를 생성한다.



(a) 기준이미지 (b) 카메라이미지
그림 2. 기준이미지와 카메라이미지

각각의 이미지에 대해 그림 3의 영상처리를 통해 홀들의 위치와 크기 정보를 추출한다.

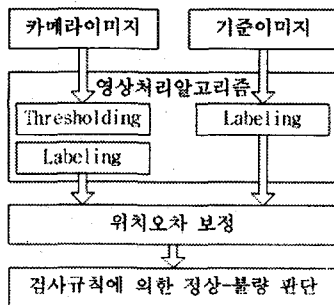


그림 3. 영상처리 알고리즘

2.3 정상-불량 판단

추출된 위치와 크기정보에 대해 다음 식(1)의 판단규칙을 적용하여 홀의 정상-불량 판단을 수행한다.

$$Center_Dist = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} < T \quad (1)$$

$$Area_Ratio = |1.0 - S_1/S_2| < R$$

여기서, (x_1, y_1) 와 S_1 는 기준이미지 상의 홀의 위치와 크기이고, (x_2, y_2) 와 S_2 는 카메라이미지 상의 홀의 위치와 면적이다. 임계값 T 는 비교대상 홀의 위치오차를 의미하며, 설정치는 10픽셀(200 μ m)이며, R 은 비교대상 홀의 크기 일치율을 의미하며, 설정치는 0.35(65%)이다. 두 조건을 만족할 경우 홀은 정상으로 판단되며, 그 외의 경우는 불량으로 판단된다.

그러나 식(1)과 같이 정상-불량 판단을 위해 고정된 임계치를 사용하였을 경우 표 1과 같은 문제점을 발생한다. 1번의 경우 비교대상인 홀의 면적은 거의 같으나 위치오차가 기준치인 10보다 0.05 큼에 따라 불량으로 판단되었으며, 2번의 경우 위치오차는 기준치보다 훨씬 작으나 면적 일치율이 기준치인 0.35보다 0.003정도 큼에 따라 불량으로 판단되었다.

표 1. 고정된 임계값에 의한 불량판단 예

	Center_Dist	Area_Ratio	Judgment
1	10.052346	0.086826	Error
2	5.3994381	0.353183	Error

그러나 메탈스텐실 제조 상태를 검사하는 작업자는 이러한 두 홀에 대해 정상으로 판단한다. 이러한 문제점은 정상-불량 판단을 위해 고정된 임계치를 사용함에 따라 발생하는 문제점이다. 따라서 본 논문에서는 퍼지로직을 사용하여 작업자의 판단 규칙을 적용한다[1-6].

3. 정상-불량 판단을 위한 퍼지로직

홀의 정상-불량 판단을 위한 퍼지로직은 두 개의 입력변수와 한 개의 출력변수로 구성된다. 입력변수는 기존의 판단규칙에서 사용되는 비교대상인 두 홀의 위치오차(Center_Dist)와 면적 일치율(Area_Ratio)이다. 출력변수는 정상으로 판단할 수 있는 정도를 나타내는 정상 판단율(Judge_Ratio)이다. 각각의 입력변수와 출력변수에 대한 정의 및 언어변수는 표 2, 3, 4와 같고, 각각의 언어변수에 대한 멤버십 함수는 그림 4,

5,6과 같다.

표 2. 입력변수 Center_Dist

계산식	$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} < T$
범위	$0 < \text{Center_Dist} < 100$
언어변수	Small : 위치오차가 작다
	Normal : 위치오차가 보통이다
	Large : 위치오차가 크다

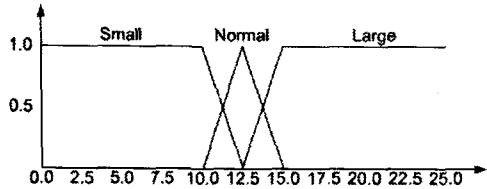


그림 4. Center_Dist 언어변수의 멤버십 함수

입력변수 Center_Dist의 언어변수는 Small, Normal, Large로 구성된다. Small은 비교대상인 두 홀의 위치가 거의 동일하다는 의미이고, Large는 위치가 전혀 다르다는 의미로 기준이미지의 위치와 동일한 위치에 가공된 홀이 없을 경우이거나 가공위치가 잘못된 경우를 의미한다. Normal은 어느 정도 오차가 존재한다는 의미이다.

표 3. 입력변수 Area_Ratio

계산식	$ 1.0 - S_1/S_2 < R$
범위	$0 < \text{Area_Ratio} < 1$
언어변수	Same : 크기차가 거의 없다
	Normal : 크기차가 보통이다
	Differ : 크기차가 크다

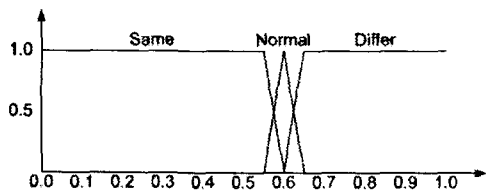


그림 5. Area_Ratio 언어변수의 멤버십 함수

입력변수 Area_Ratio의 언어변수는 Same, Normal, Differ로 구성된다. Same은 두 홀의 크기가 거의 동일하다는 것을 의미하며, Differ는 크기가 전혀 다른 홀이라는 의미로, 홀이 불완전 가공되어 홀 내부에 이물질이 존재하거나 세정이 정상적으로 수행되지 않은 경우이다. Normal은 크기가 조금 다르다는 것을 의미한다.

출력변수 Judge_Ratio는 홀을 정상으로 판단할지 아니면 불량으로 판단할지에 대한 비율로써,

0에 가까울수록 불량으로 판단되며, 1에 가까울수록 정상으로 판단된다.

각각의 언어변수에 대한 멤버십 함수에서의 범위는 작업자와의 토의와 실험에 의해 결정되었다.

표 4. 출력변수 Judge_Ratio

계산식	무계중심점
범위	$0 < \text{Judge_Ratio} < 1$
언어변수	Error : 불량이다
	Ambiguous : 판단불가
	Correct : 정상이다

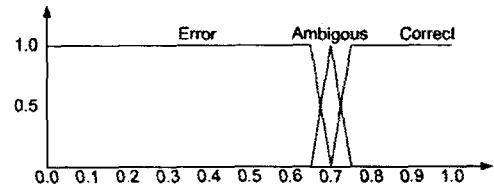


그림 6. Judge_Ratio 언어변수의 멤버십 함수

정의된 입력변수와 출력변수에 대해 작업자의 판단규칙을 적용하기 위해 표 5의 Rule Base를 정의하였다.

표 5. Rule Base

Center_Dist \ Area_Ratio	Small	Normal	Large
Same	Correct	Correct	Error
Normal	Correct	Ambiguous	Error
Differ	Error	Error	Error

4. 실험 결과

본 논문에서 제안된 퍼지로그직을 이용하여 정상 판단 영역과 오류판단영역을 조사하기 위해 시물레이션을 수행하였다. Center_Dist는 0~50까지, Area_Ratio는 0.5~0.7까지 변화시키면서 각각에 대해 설정된 퍼지 룰에 의한 결과를 표시한 결과는 그림 7과 같다.

Hole Judge Simulation Result

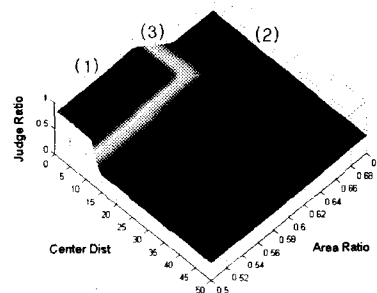


그림 7. 퍼지로그직에 의한 정상-불량 판단영역

그림 7에서 (1)의 영역은 불량 판단 영역, (2)의 영역은 정상 판단 영역이다. (3)의 영역은 고정된 임계치를 사용할 경우 관측할 수 없었던 영역으로 퍼지로직에 의해 생성된 작업자의 판단 기준이 적용된 영역으로 검사 대상인 홀이 (3)영역에 존재할 경우 임계치를 사용하였을 경우 불량으로 판단된 홀이 정상으로 판단되는 결과를 보이고 있다.

본 논문에서는 4개의 샘플에 대해 고정된 임계치를 사용한 검사결과와 제안된 퍼지로직을 이용한 검사결과를 비교하였고, 그 결과는 그림 8과 표 6이다.

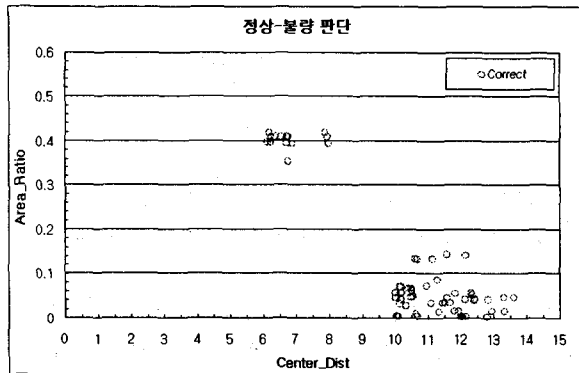


그림 6. 퍼지로직에 의한 정상-불량판단결과

그림 6에 나타난 점들은 고정된 임계치를 사용할 경우 불량으로 판단된 것이나 퍼지로직을 사용할 경우 정상으로 판단된 것이다. 분포의 특징은 Center_Dist가 어느 정도 발생하더라도 면적 일치율이 높으면, 즉 기준 홀과 가공된 홀의 위치오차가 2~3픽셀(40~60 μ m) 발생하더라도, 두 홀의 크기가 85% 이상 일치하면 정상으로 판단되는 것을 알 수 있다. 그 반대로 두 홀의 위치오차가 최대 8픽셀(160 μ m)이내 일 경우 두 홀의 크기가 60% 정도이면 정상으로 판단되는 것을 알 수 있다.

표 6. 불량 검출 비교

	고정된 임계치	퍼지로직
샘플1	65	28
샘플2	27	27
샘플3	49	38
샘플4	59	20

표 6에서는 총 4개의 샘플에 대해 고정된 임계치를 사용하였을 경우와 퍼지로직을 사용하였을 경우 검출된 불량수의 수를 표시하였다. 샘플 2번을 제외하고 3개의 샘플 메탈스텐실에서 불량으로 검출된 홀의 수가 크게 감소함을 알 수 있다. 이는 고정된 임계치를 사용할 경우 불필요한

불량으로 판단된 홀이 다수 발생함을 알 수 있으며, 퍼지로직을 사용함으로써 보다 작업자와 유사한 판단결과를 얻음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 메탈스텐실의 제조 상태를 검사하기 위한 비전기 기반 검사시스템에서 홀의 정상-불량 판단을 위해 기존의 고정된 임계치를 사용한 판단의 문제점을 해결하고, 보다 작업자와 유사한 판단 알고리즘을 개발하기 위해 퍼지로직을 사용하였다.

제안된 퍼지로직에서는 홀의 정상-불량 판단을 위해 비교대상 두 홀의 위치오차와 크기 일치율을 입력변수로 설정하고, 정상 판단율을 출력변수로 설정하였다. 각각에 대한 언어변수를 설정하고, 멤버쉽 함수는 작업자와의 토의와 실험을 통해 범위를 설정하였다.

퍼지로직을 이용한 판단결과 기존의 고정된 임계치를 사용한 경우보다 약 48.5%의 불량 검출이 줄었으며, 이는 작업자와 유사한 판단결과를 얻음을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] Alexander Poliakov, "An Example of Fuzzy Decision-Making System", Proceeding of the 7th Korea-Russia International Symposium, pp.382-384, 2003.
- [2] M. Patel and N. Ranganathan, "IDUTC : An Intelligent Decision-Making System for Urban Traffic-Control Applications", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.50, No.5, pp.816-829, 2001.
- [3] Fares, M.; Kaminska, B., "A fuzzy decision-making approach for test space exploration", Proceedings of ETC 93, pp.37-46, 1993.
- [4] Saint-Joan D. and Desachy J., "A Fuzzy Expert System for Geographical Problems: An Agricultural Application", Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Vol.2, pp.469-476, 1995.
- [5] Kreinovich, V.; Nguyen, H.T.; Starks, S.A.; Yeung Yam, "Decision Making Based on Satellite Images: Optimal Fuzzy Clustering Approach", Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control, Vol.4, pp.4246-4251, 1998.