

자동결함 검출시스템에서 결함크기 측정오차로 인한 오검률의 통계적 예측

Statistical Prediction of False Alarm Rates in Automatic Vision Inspection System

주영복, 허경무*, 박길흠
(Young-Bok Joo, Kyung-Moo Huh, and Kil-Houm Park)

Abstract: AVI (Automatic Vision Inspection) systems automatically detect defect features and measure their sizes via camera vision. It is important to predict the performance of an AVI to meet customer's specification in advance. Also the prediction can indicate the level of current performance of an AVI system. In this paper, we propose a statistical method for prediction of false alarm rate regarding inconsistency of defect size measurement process. For this purpose, only simple experiments are needed to measure the defect sizes for certain number of times. The statistical features from the experiment are utilized in the prediction process. Therefore, the proposed method is swift and easy to implement and use. The experiment shows a close prediction compared to manual inspection results.

Keywords: automatic, vision, inspection, statistical, prediction, defect, size, mesurement

I. 서론

최근 영상을 기반으로 하는 자동결함 검사시스템은 공장 자동화, 검사 품질의 일관성 및 검사 원가의 절감을 위하여 많은 연구와 개발 그리고 상용화가 되어 왔다[1,2]. 이러한 시스템에서는 실제 결함에 대한 최종 판정을 좌우하는 결함의 크기 측정의 정밀도 및 반복 재현성은 그 성능에 지대한 영향을 미친다. 자동 결함 검사 시스템에서 오검률 즉 미검률과 과검률의 예측은 현재 검사기의 성능을 사전에 예측하여 고객사와의 사양 협의시 중요한 검사기 성능 지표로 삼을 수 있으며 양산시 발생할 수 있는 미검과 과검에 대한 사전 대응을 모색할 수 있으므로 중요한 의미를 가진다. 본 논문에서는 영상을 기반으로 하는 자동결함 검사시스템에서 결함의 크기에 대한 반복재현 측정오차만으로 결함의 크기측정 오차로 인해 발생할 수 있는 미검률과 과검률을 사전에 예측할 수 있는 통계적인 틀을 제공한다. 제안된 방법은 결함이 있는 샘플 영상에서 결함 크기의 반복측정 실험 데이터와 전체 결함 크기의 분포도를 구하고 결함크기 측정오차로 예상되는 총미검률과 총과검률을 예측할 수 있는 방법을 개발하고 실험하였다. II 장에서는 전형적인 영상기반 자동결함 검사시스템에 대하여 개략적으로 설명하고 III 장에서는 본 논문에서 제안하는 오검률의 통계적 예측 방법에 대해 자세히 설명한다. 그 다음 IV 장에서는 실제 획득된 샘플 영상을 이용하여 예상되는 총오검률을 산출하였고 마지막으로 V 장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 서술하였다.

II. 영상 기반 자동 결함 검사 시스템

그림 1은 영상을 기반으로 하는 자동 결함 검출 시스템의 전형적인 블록도를 나타낸 것이다. 카메라 CCD 센서를 통해 대상체의 빛이 감지되고 영상센서는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 저장된다. 저장된 영상은 결함의 유형에 따른 특성에 따라 영상 처리 및 분석 과정을 거쳐 영상 내에서 결함 후보군을 추출한다. 이 과정에서 결함의 영역을 정하고 그 크기 및 gray 차 등 결함인지 아닌지의 판정에 필요한 여러 가지 유용한 특성들을 추출한다. 이 특성을 기준으로 사용자의 요구사양에 맞추어 실제 결함의 판정이 이루어진다. 이 때 결함크기 측정의 정확성 및 반복 재현성은 최종 결함 판정에 지대한 영향을 미친다. 영상을 기반으로 하는 자동결함 검출 시스템의 자세한 내용은 [1-3]을 참조한다.

III. 통계적 예측 방법

이 장에서는 통계적인 분석을 통해 표본 샘플 영상으로 검사 시스템의 총 오검률을 예측하여 정량적으로 산출하는 방법을 설명한다. 결함의 크기가 정규분포(normal distribution)를 따른다고 가정하면 샘플 반복 테스트를 통해 일련의 결함크기들에 대한 평균(μ)과 표준편차(σ)를 산출할 수 있고 반복측정 결함의 크기에 대한 정규분포도를 구성할 수 있다. 다음에서 설명하는 두 가지 단계를 통해 (1) 결함크기에 따른 미검률(혹은 과검률) a 와 (2) 각 실제 크기가 출현

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2009. 5. 15., 채택확정: 2009. 6. 15.
주영복: 연세대학교 컴퓨터과학과(jbyoo@msl.yonsei.ac.kr)
허경무: 단국대학교 전자공학과(huhkm@dku.edu)
박길흠: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부(khpark@ee.knu.ac.kr)

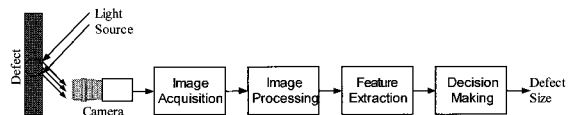


그림 1. 영상 기반 자동 결함 시스템의 블록도.
Fig. 1. Process in automatic vision inspection system.

할 확률 β 를 산출하고 이들의 곱을 해당구간에 대해 적분하게 되면 결함크기 측정오차로 인해 발생할 수 있는 총미검률 (혹은 총과검률)을 통계적으로 산출할 수 있으며 그 수식은 다음과 같다.

$$\text{총미검률} = \int_0^T \alpha\beta dy \quad (1)$$

$$\text{총과검률} = \int_T^\infty \alpha\beta dy \quad (2)$$

y : 결함의 크기

T : 결함 크기 한계치 (Threshold)

α : 특정 결함 크기에 따른 미검률 (혹은 과검률)

β : 특정 결함 크기가 출현할 확률

1. 결함크기에 따른 미검률 (혹은 과검률) 산출

결함크기 제한치(threshold)가 150 μm 일 때 측정오차로 인해 발생할 수 있는 미검률(혹은 과검률)은 실제 결함의 크기(각각 120 μm , 200 μm , 150 μm)에 따라 아래 그림 2와 같이 결정된다. 각 실제 결함 크기에 따른 미검률과 과검률의 절대확률은 미검 및 과검 부분의 면적을 구하면 알 수 있다. 그러므로 반복 측정하여 재현된 일련의 결함의 크기 데이터로 그 평균(μ)과 표준편차(σ)를 산출하여 정상 분포도를 구성하게 되면 특정 크기 제한치(threshold)에 대한 미검률(혹은 과검률) α 를 확률적으로 산출할 수 있고 그 식은 다음과 같다.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_s)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

$$\alpha(S, T) = \begin{cases} \int_0^T P(x) dx, & \text{if } S > T \text{ (미검률)} \\ \int_T^\infty P(x) dx, & \text{if } S \leq T \text{ (과검률)} \end{cases} \quad (4)$$

$P(x)$: 특정 샘플 결함 크기 S 의 정규분포

S : 특정 결함의 크기

T : 결함 크기 한계치(threshold)

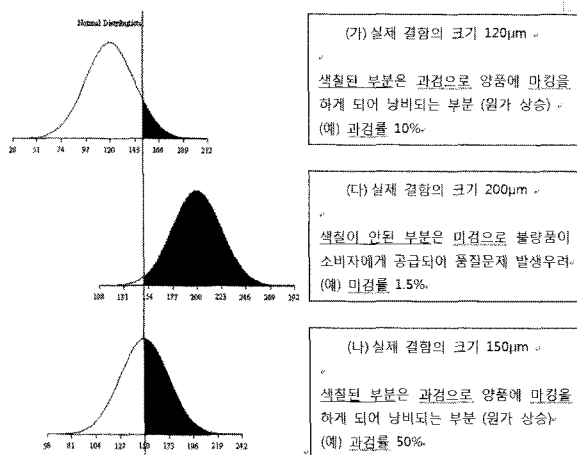


그림 2. 재현측정치 분포와 결함의 크기에 따른 오검률의 예.

Fig. 2. Types of false alarms according to defect size measurement error.

μ_s : 특정결함크기(S) 반복측정치의 평균

σ : 특정결함크기(S) 반복측정치의 표준편차

2. 각 실제 결함 크기의 출현 확률 β 산출

실제 결함 크기의 출현 확률 역시 간단한 샘플 테스트를 통해 정규 분포도를 구성하여 계산할 수 있다. 샘플 테스트 시 검출사양에 따른 검출조건이 완비가 되면 샘플들을 무작위로 추출하여 크기 제한치(threshold)를 낮추어 의도적으로 과검을 발생시킨 후 과검출된 결함의 크기를 수집하여 그 평균과 표준편차를 구한다. 통계적 의미를 부여하려면 샘플의 개수 및 과검출 결함크기의 데이터는 많으면 많을수록 좋다. 이를 이용하여 정규분포도를 구성하면 각 결함 크기에 따른 출현 확률 β 를 구할 수 있으며 그 수식은 다음과 같다.

$$\beta(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

y : 전체 샘플 결함의 크기

μ : 전체 샘플 결함 크기의 평균

σ : 전체 샘플 결함 크기의 표준편차

3. 결함크기 측정오차로 인한 오검률 산출

위에서 산출한 공식에 의해 두 값 α 와 β 의 곱을 해당 구간에서 적분해 주면 결함크기의 측정오차로 인한 미검률 (혹은 과검률)을 산출할 수 있다

$$\text{총미검률} = \int_0^T \alpha\beta dy \quad (6)$$

$$\text{총과검률} = \int_T^\infty \alpha\beta dy \quad (7)$$

반복측정 결함의 평균 $\mu_s = y$ 로 놓으면

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_s)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

$t = x - y$ 로 치환하면 $dt = dx$ 가 되고 a 부분을 이 t 에 대해서 정리하면

$$\begin{aligned} \text{총미검률} &= \int_T^\infty \alpha\beta dy \\ &= \int_T^\infty \alpha(S, T)\beta(y) dy \\ &= \int_T^\infty \left(\int_0^T P(x) dx \right) \beta(y) dy \\ &= \int_T^\infty \left(\int_0^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_s)^2}{2\sigma^2}} dx \right) \beta(y) dy \\ &= \int_T^\infty \left(\int_0^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt \right) \beta(y) dy \end{aligned} \quad (9)$$

위와 유사한 방법으로 아래와 같이 총과검률을 계산할 수 있다.

$$\text{총과검률} = \int_0^T \left(\int_0^{T-y} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} dt \right) \beta(y) dy$$

IV. 실험 결과

실험은 그림 1과 같은 자동결합 검출시스템 simulator를 이용하였다. 샘플 영상은 결합 크기 제한치 150 μm 의 87개의 결합이 있는 평광필름 영상을 획득하였다. 총미검률 식 (11)과 총과검률 식 (12)의 부정적분을 직접 구할 수 없으므로 Talor's series로써 근사치를 구할 수 있다. 아래의 표 1은 이렇게 구한 반복측정오차 (표준편차)와 샘플영상을 자료로 하여 총미검률과 총과검률 구한 실험 결과표이다. 그림 3은 matlab으로 작성한 application으로서 본 논문에서 제안된 방법으로 총미검률과 총과검률을 계산했을 때의 분포도와 이와 관련된 출력 데이터를 보여준다.

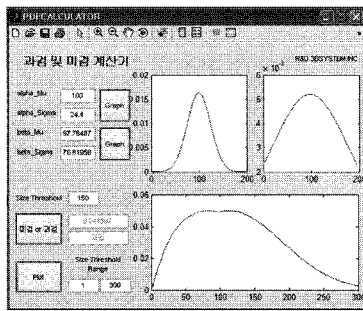
V. 결론

영상을 기반으로 하는 자동결합 검사시스템에서는 실제 결합에 대한 최종 판정을 좌우하는 결합의 크기 측정의 정밀도 및 반복 재현성은 그 성능에 지대한 영향을 미친다. 자동 결합 검사 시스템에서 오검률 즉 미검률과 과검률의 예측은 현재 검사기의 성능을 사전에 예측하여 고객사와의 사양 협의시 중요한 검사기 성능 지표로 삼을 수 있으며 양산시 발생할 수 있는 미검과 과검에 대한 사전 대응을 모색할 수 있으므로 중요한 의미를 가진다. 본 논문에서는 반복측정 재현오차와 샘플에서 결합의 크기 분포도를 이용하여 결합크기측정오차로 발생할 수 있는 미 검과 과검률

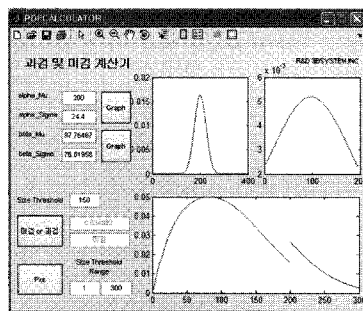
표 1. 총미검률과 총과검률의 예측치. (단위 : μm)

Table 1. Statistical prediction of total false alarms. (Unit : μm)

T	μ	σ	α_s	총미검률	총과검률
150.0	97.8	76.6	24.2	3.432 %	4.460 %



(a)



(b)

그림 3. 총미검률 (a)와 총과검률 (b)의 분포도와 예상치.

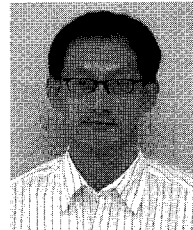
Fig. 3. Application with sample distribution and prediction of false alarm rates.

을 통계적으로 산출하는 방법과 그 실험 결과를 정리하였다. 실험 결과 측정 방식에 따른 결합크기측정오차로 발생이 예상되는 총미검률과 총과검률을 통계적으로 예측이 가능하였으며 목시검사의 결과와 매우 유사하다. 이 방법에 필요한 실험은 간단한 반복측정 재현성 실험과 소수의 샘플영상으로 의도적으로 과검 발생을 유도하여 데이터를 수집하는 두 가지 단계이므로 빠르고 손쉽게 결합크기측정오차로 인해 발생할 수 있는 총미검률과 총과검률을 통계적으로 사전에 예측할 수 있다.

참고문헌

- [1] E. N. Malamas, E. G. M. Patrakis, M. Zervakis, L. Petit, and J. D. Legat, "A survey on industrial vision systems, applications and tools," *Image and Vision Computing*, vol. 21, issue 2, pp. 171-188, Feb. 2003.
- [2] R. Sablatnig, "A flexible concept for automatic visual inspection," *Czech Pattern Recognition Workshop'97*, Proc. of (CPRW'97), 1997.
- [3] J. H. N. Mattick, R. W. Kelsall, and R. E. Miles, "Improved critical area prediction by application of pattern recognition techniques," *Microelectronics Reliability*, vol. 36, no. 11-12, pp. 1815-1818, Dec. 1996.

주영복



1989년 연세대학교 전산과학과 학사.
1991년 연세대학교 전산과학과 석사.
1997년 UNSW 컴퓨터공학과 석사.
2001년 UNSW 컴퓨터공학과 박사. 현재 연세대학교 컴퓨터공학과 BK 연구교수. 관심분야는 영상신호분석 및 처리, 자동결합 검사시스템.

허경무



1979년 서울대학교 전자공학과 학사.
1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업. 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업. 1993년-단국대학교 전자공학과 교수. 단국대 전자부품 검사자동화 지역혁신센터(RIC) 소장, 대한전자공학회 시스템및제어 소사이어티 부회장. 관심분야는 시스템 제어, 머신 비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습 제어.

박길흠



1982년 경북대학교 전자공학과 졸업.
1984년 한국과학기술원 전기전자공학과 석사. 1990년 한국과학기술원 전기 전자공학과 박사. 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 영상신호처리, 패턴인식, 영상압축.