

비등방성 필터링과 대각선 이진화 방법을 이용한 세라믹의 결함 검출

김지윤 · 하으뜸 · 김광백
신라대학교 컴퓨터정보공학부

Detection of Flaws in Ceramics using Anisotropic Texture Filtering and Diagonal Binarization Method

Ji-yun Kim · Eu-tteum Ha · Kwang-baek Kim
Division of Computer and Information Engineering, Silla University
E-mail : empireofwind@naver.com, gkdmema@naver.com, gbkim@silla.ac.kr

요 약

본 논문에서는 세라믹 비파괴 검사를 이용하여 획득한 소재 영상에서 기존의 결함 검출 방법보다 결함 검출의 정확도를 개선하기 위한 개선된 결함 검출 방법을 제안한다. 제안된 결함 검출 방법은 명암 대비를 강조하기 위해 최소 명암도와 최대 명암도를 이용한 Ends-in Search Stretching 기법을 적용하여 비파괴 영상의 명암 대비를 강조한다. Stretching 기법이 적용된 영상에 7×7 Sobel 마스크를 적용하여 비파괴 영상의 경계 영역을 추출하고, 영상의 잡음을 제거하기 위해 비등방성 필터링을 적용하여 영상을 보정한다. 보정된 영상에서 임계치 이진화 기법을 적용하여 경계 영역의 기울기를 계산하고, 계산된 기울기를 이용하여 비파괴 영상의 영역을 세분화한다. 세분화된 영역을 구분하기 위해 Grassfire Labeling 기법을 적용한다. Grassfire Labeling 기법이 적용된 영상을 Ends-in Search Stretching 기법이 적용된 비파괴 영상에 적용한 후에 대각선 이진화 기법을 적용한다. 이진화된 영상에서 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거하고 결함을 검출한다. 본 논문에서 제안한 방법을 획득한 세라믹 소재 영상을 대상으로 실험한 결과, 기존의 결함 검출 방법보다 더 효과적으로 소재의 결함을 추출할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

키워드

Ends-in Search Stretching, 비등방성 필터링, 영역별 이진화, Grassfire

1. 서 론

비파괴 검사란 재료나 제품을 원형과 기능에 변화를 주지 않고 실시하여 원하는 것을 알 수 있는 검사를 의미한다. 즉 재료나 제품을 물리적 현상을 이용한 특수방법으로 검사 대상물을 파괴, 분리 또는 손상을 입히지 않고 결함의 유무와 상태 또는 그것의 성질, 상태, 내부 구조 등을 알아내는 모든 검사를 말한다.

비파괴 검사의 방법 중에는 방사선 비파괴검사, 초음파 비파괴검사, 자기(磁氣) 비파괴검사, 침투 비파괴검사, 와전류(渦電流) 비파괴검사, 열화상(熱

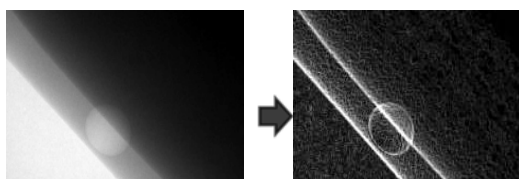
畫像) 비파괴검사 등이 있는데 세라믹 비파괴 검사에는 침투 비파괴 검사가 이용된다[1]. 그러나 이러한 비파괴검사는 점검자의 육안 조사를 통한 수작업으로 수행되고 있기 때문에 점검자의 주관에 개입되어 검사 결과의 신뢰도 차이가 발생할 수 있고 수작업으로 진행되기 때문에 자료의 저장에 많은 시간과 인력이 요구된다. 그러므로 비파괴 검사를 통해 얻어진 영상에서 결함을 자동으로 추출하는 연구를 통하여 검사의 신뢰도를 향상시키고 검사에 필요한 인력과 시간을 절약함으로써 검사의 질을 향상시킬 수 있다.

기존의 결합 검출 방법에서는 기울기의 검출과 공기 결합의 검출이 부정확하게 검출되는 문제점이 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 세라믹 비파괴 검사를 이용하여 획득한 소재 영상에서 기존의 결합 검출 방법보다 결합 검출의 정확도를 개선하기 위한 개선된 결합 검출 방법을 제안한다.

II. 기울기를 이용한 영역별 세분화

비파괴 검사 영상에는 명암도 차이에 따른 경계선이 존재한다. 그러나 영상에 존재하는 경계선의 대부분이 결합 영역과 겹쳐지기 때문에 일반적인 명암도만을 이용하여 결합을 추출하는 방법으로는 결합을 검출하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 명암도 차이에 따른 영역을 구분하기 위해 7×7 Sobel Mask를 이용하여 경계 영역을 검출한다.

비파괴 검사를 위해 획득된 영상은 특정 밝기 영역에 영상 픽셀의 밝기 값이 집중되어 있기 때문에 영상이 전체적으로 너무 밝거나 어둡다. 또한 영상 내에서 0 또는 255인 픽셀이 존재하여 스트레칭의 효과가 떨어진다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 Ends-in Search Stretching 기법[3]을 적용하여 영상 내 픽셀의 최소, 최대값의 비율을 구한 후에 고정된 비율로 영상의 명암대비를 강조한다. 소벨 마스크는 수평과 수직 방향의 에지 보다는 대각선 방향의 에지에 더욱 민감하게 반응한다. 또한 연산 속도가 비교적 느리나, 잡음 부분도 윤곽선으로 인식할 정도로 밝기에 민감하다. 따라서 비파괴 검사 영상에서는 경계선이 대각선 방향으로 존재하므로 본 논문에서는 7×7 Sobel Mask[3]를 적용한다. 비파괴 검사를 통하여 얻어진 영상에 영상의 명암 대비를 강조하기 위해 최대 명암도와 최소 명암도의 차이를 이용한 Ends-in Search Stretching 기법을 적용한 후, 모든 방향의 에지를 추출하는 Sobel Mask를 적용하여 경계 영역을 추출한다. 경계 영역을 추출하는 과정은 그림 1과 같다.



(a) Ends-instretching 기법을 적용한 영상 (b) Sobel Mask를 적용한 영상

그림 1. Sobel Mask를 이용한 에지 검출

7×7 Sobel 마스크를 적용하면 명암도 차이가 크지 않은 경계 영역의 에지가 명확히 나타나지만 명암도 변화에 민감하기 때문에 경계가 아닌 부분까지 에지가 나타난다. 따라서 경계의 에지가 아닌 부분의 에지는 기울기를 구하는 부분에 있어서 잡음에 해당되기 때문에 명확한 경계의 추출을 위해 비등방성 필터링을 이용하여 <표 1>의

경계의 특징에 해당 부분을 제외한 영역의 에지를 잡음으로 간주하여 제거한다.

표 1. 명암도 차이를 구분 짓는 경계의 특징

경계 영역의 특징
1. 영상의 경계 영역을 기준으로 명암도 대비가 영역별로 구분된다.
2. 비파괴 영상에서 경계 영역은 거의 일직선이다.
3. 비파괴 영상에서 경계 영역과 겹쳐진 결합은 영상의 거의 중앙에 위치한다.

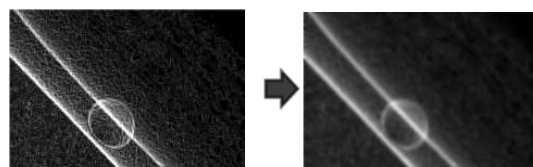
비등방성 필터는 영상의 정보를 분석하여 각 방향의 필터링 정도를 다르게 설정한다. 비등방성 필터의 식은 식(1)과 같다.

$$I_{i,j}^{t+1} = I_{i,j}^t + \lambda [c_N \cdot \nabla_N I + c_S \cdot \nabla_S I + c_E \cdot \nabla_E I + c_W \cdot \nabla_W I]$$

$$\begin{aligned} \nabla_N(I_{i,j}) &= I_{i,j-1} - I_{i,j} & \nabla_S(I_{i,j}) &= I_{i,j+1} - I_{i,j} \\ \nabla_E(I_{i,j}) &= I_{i+1,j} - I_{i,j} & \nabla_W(I_{i,j}) &= I_{i-1,j} - I_{i,j} \end{aligned}$$

$$c_{N-W} = g(\|\nabla_{N-W} I\|) = \frac{1}{1 + (\frac{\|\nabla_{N-W} I\|}{K})^2} \quad (1)$$

식 (1)에서 λ 는 $0 \leq \lambda \leq 0.25$ 의 범위를 만족해야 수학적으로 수렴한다. 식(1)은 시간이 t 일 때, 영상 $I_{i,j}^t$ 와 이 영상의 네 방향에 대한 일차 미분에 해당하는 $\nabla_{N-W} I$, 그리고 c_{N-W} 값을 이용하여 영상의 각 픽셀 값을 조정하는 의미하는 것이다. 여기서 시간이라는 것은 식(1)을 반복 수행함을 의미한다. N, S, E, W는 각각 북, 남, 동, 서 방향을 의미하며, 각 방향에 따라 수식이 다르게 정의된다. 그림 2는 원 영상과 비등방성 필터링을 적용한 것으로 원 영상에 비해 잡음의 비율이 감소한 것을 확인할 수 있다.



①원 영상 ②비등방성 필터링 적용 영상

그림 2. 비등방성 필터링 적용 영상

비파괴 영상은 경계 영역을 기준으로 명암도 차이가 뚜렷하게 구별된다. 따라서 본 논문에서 이 비등방성 필터링이 적용된 영상에 임계치 이진화를 적용한다. 이진화된 영상에서 경계 영역의 기울기를 구한 후, 그 기울기를 이용하여 영역을 세분화 한다. 세분화된 영역을 Grassfire 라벨링 기법을 적용하여 세분화된 영역을 분류한다. 그림 3은 경계 영역의 기울기를 구하기 위한 과정이다

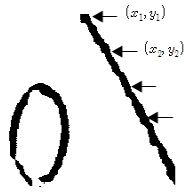


그림 3. 결함과 겹쳐진 윤곽선 추출과정

기존의 기울기 탐색 방법은 좌측 최상단과 최하단, 우측 최상단과 최하단을 탐색하여 기울기를 구하였다. 하지만 기존의 방법으로 기울기를 구할 경우에는 최하단에 해당 경계 영역의 경계가 존재하지 않으면 다른 경계 영역이나 잡음을 같은 경계로 인식하여 기울기가 부정확하게 탐색되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 경계 영역을 탐색할 때, (x_1, y_1) 을 최상단에서 탐색을 실시하고 (x_2, y_2) 를 임의의 간격을 두고 탐색을 실시한다. 이때 기울기 탐색에 실패할 경우에는 (x_1, y_1) 의 탐색 위치는 고정시키고 (x_2, y_2) 의 탐색 위치를 변경하여 간격을 일정하게 변화시켜 기울기 탐색의 정확도를 개선한다. 이러한 과정을 통해 얻어진 기울기를 이용하여 영역을 세분화한다. 제안된 방법으로 구한 기울기를 이용하여 영역을 세분화한 것은 그림 4와 같다.

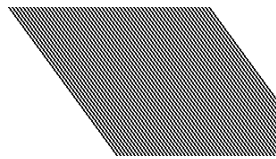


그림 4. 경계 영역의 기울기를 이용한 영역 세분화

III. 결함 검출

본 논문에서는 결함을 검출하기 위해 탐색을 통해 추출된 경계 영역의 기울기를 이용하여 결함 영역을 중심으로 영상을 세분화한다. 세분화된 영역을 이용하여 영역별로 대각선 이진화를 수행하기 위해 Grassfire 라벨링 기법을 적용하여 각각의 영역에 특정 라벨값을 할당하고 각각의 영역별로 대각선 평균 이진화를 적용하여 결함을 검출한다[4,5]. 대각선 이진화는 각각의 영역 별로 명도의 평균을 얻어 임계치를 설정하는데 이를 위해 본 논문에서는 각각의 영역을 구분한다. 본 논문에서는 각각의 영역을 구분하기 위해 Grassfire 라벨링 기법을 적용한다. 3×3 Mask를 이용하여 8 방향 탐색을 수행하는 방식으로 하나의 객체에 해당되는 픽셀을 탐색한다. 최초 Mask 중심의 명도값과 일치하는 픽셀을 탐색하여 라벨링한 후, 라벨링된 픽셀의 주변 8방향에 위치한

픽셀 중에 명도가 0인 픽셀을 탐색한다. 탐색에 성공하면 Mask의 중심을 해당 픽셀로 이동시켜 라벨링한 후, 8방향 탐색을 수행한다. 탐색에 실패할 경우에는 이전에 라벨링된 픽셀로 이동한다. 그리고 최초에 라벨링된 픽셀에서 탐색에 실패하면 다음 객체로 이동하여 탐색을 수행한다. 세분화된 영역에 Grassfire 라벨링 기법을 적용하여 모두 0이었던 각각의 영역에 고유 라벨값을 부여함으로써 영역을 구분한다. 그림 5는 세분화된 영역에 Grassfire 라벨링 기법을 적용한 결과이다.

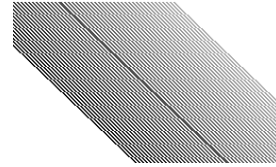
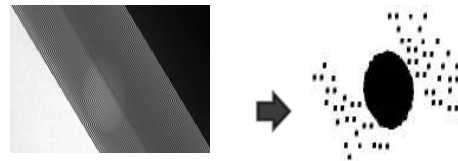


그림 5. Grassfire 라벨링 기법을 적용한 결과

비파괴 검사를 통해 얻은 대부분의 영상들은 결함 영역이 비결함 영역에 비해 비교적 어둡거나 밝고 결함의 크기가 작다. 이러한 비파괴 영상의 특징 때문에 영상의 모든 픽셀 정보를 이용하여 이진화 하는 방식으로는 결함 영역을 추출하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 탐색을 통하여 추출한 영역 별로 각각에 대각선 평균 이진화 기법을 적용하여 각 영역에 대해 서로 다른 임계치를 기준으로 이진화한다. 그림 6은 비파괴 영상에서 제안된 방법으로 결함을 검출하는 과정을 나타낸 것이다.



(a) 영역이 세분화된 스트레칭 영상

(b) 대각선 평균 이진화 적용 영상

그림 6. 대각선 평균 이진화가 적용된 결과 영상

각각의 영역별로 대각선 평균 이진화를 적용한 영상에서 4방향 윤곽선 추적 알고리즘[5]을 적용하여 각 결함 영역을 추출한다. 추출된 결함 영역에서 미세 잡음을 제거하기 위하여 3×3 Mask를 이용하여 잡음을 제거한다. 중심 화소의 4방향 화소를 탐색하여 픽셀 명도값이 255인 픽셀이 0의 명도값을 가진 픽셀보다 많이 존재할 경우에는 중심 화소의 명도값을 255로 변환하여 영상의 미세 잡음을 제거한다.

IV. 실험 및 결과 분석

세라믹 비파괴 검사의 영상에서 결함을 검출하기 위해 본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 3.2GHz CPU와 2GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC

상에서 VC++ 6.0으로 구현하여 실험하였다. 실험 표본은 세라믹을 비파괴 검사하여 얻은 640×480 크기의 영상을 대상으로 실험하였다. 세라믹 비파괴 검사에서 제안된 결함의 추출 결과는 그림 7과 같다.

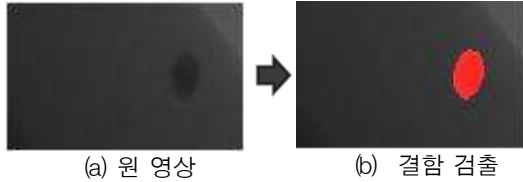


그림 7. 결함 검출

표 2는 비파괴 검사로 얻어진 6개의 영상에서 기존의 방법과 제안된 방법을 비교하여 결함 검출에 성공한 영상 수와 결함 검출 성공률을 나타내었다.

표 2. 기존의 방법과 제안된 방법간의 검출 결과

	검출 수	성공률
기존의 방법	5/6	83%
제안된 방법	6/6	100%

V. 결 론

본 논문에서는 세라믹 소재의 비파괴 검사로 얻어진 영상에서 결함을 자동으로 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 결함 검출 방법은 영상의 명암도 차이에 따른 경계 영역의 특징을 이용하여 Ends-in Search Stretching 기법과 7×7 Sobel Mask를 적용하여 경계 영역을 추출하였다. 추출된 경계의 기울기를 구한후에 영역을 세분화하고 각각의 영역에 대각선 평균 이진화를 적용하여 결함을 검출하였다. 검출된 결함 영상에서 잡음을 제거하기 위해 3×3 마스크를 적용하여 평균 픽셀 이하의 객체를 제거하여 기존의 결함 검출 방법에서 검출할 수 없었던 공기 결함을 정확히 검출하였다. 그러나 보유하고 있는 세라믹 비파괴 검사 영상의 수가 제한적이기 때문에 다양한 결함을 가진 영상을 대해서 실험할 수 없었다.

향후 연구 과제는 다양한 세라믹 비파괴 영상에 대해 실험 및 분석하여 다양한 특성을 갖는 결함의 정보와 특징을 분석한 후, 다양한 세라믹 비파괴 영상에서도 결함을 정확히 검출할 수 있도록 확장할 것이다.

참고 문헌

- [1] <http://www.kandt.or.kr/sub/ndt1.php?menu=1>
- [2] 이승현, 김성훈, 김광백, “비파괴 검사를 이용한 세라믹의 결함 검출,” 한국전자통신학회춘계학술발표 논문집, 제 4권, 1호, pp.136~139, 2010.
- [3] M. Petrou, P. Bosdogianni, Image Processing,

John wiley & Sons Ltd., 1999.

- [4] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Third Edition, Pearson Education, Inc., 2008.
- [5] 김광백, 김철기, 김정원, “윤곽선 추적 알고리즘과 개선된 ART1을 이용한 영문 명함 인식에 관한 연구,” 한국지능정보시스템학회 논문지, 제8권, 제2호, pp. 108~109, 2002.