

퍼지 이진화와 가우시안 필터링을 이용한 세라믹의 결함 검출

황선우* · 박효민* · 우영운** · 김광백*

*신라대학교 컴퓨터공학과

**동의대학교 멀티미디어공학과

Detection of Flaws in Ceramics using Fuzzy Binarization and Gaussian Filtering
Method

Sun-woo Hwang* · Hyo-min Park* · Young Woon Woo** · Kwang-baek Kim*

*Dept. of Computer Engineering, Silla University

**Dept. of Multimedia Engineering, Dong-Eui University

E-mail : cong3100@naver.com, gualslekd@nate.com, ywwoo@deu.ac.kr, gbkim@silla.ac.kr

요 약

본 논문에서는 비파괴 검사를 이용하여 획득한 세라믹 소재 영상에서 효율적으로 결함을 검출하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 세라믹 소재 영상에 비등방성 필터링 기법과 가우시안 필터링 기법을 반복 적용하여 잡음을 제거하고, Ends-in Search Stretching 기법을 적용하여 명암 대비를 강조한다. 명암 대비가 강조된 영상에 7×7 Sobel 마스크를 적용하여 윤곽선을 추출한 후, 임계치 이진화 기법을 적용하여 영역을 세분화하기 위한 기울기를 계산한다. 계산된 기울기를 이용하여 영상을 세분화한 후에 Glassfire 기법을 적용한다. Glassfire 기법이 적용된 영상과 Ends-in Search Stretching 기법이 적용된 영상을 비교하여 중복되는 영역만을 추출한다. 추출된 영역에 퍼지 이진화 기법과 침식 연산을 적용하여 잡음을 제거하고 결함을 검출한다.

제안된 방법을 세라믹 소재 영상을 대상으로 실험한 결과, 기존의 결함 검출 방법보다 효율적으로 결함이 검출되는 것을 확인할 수 있었다.

키워드

Ends-in Search Stretching, 가우시안 필터링, 퍼지 이진화

1. 서 론

침투 비파괴 검사란 시험체 표면에 침투제를 적용하여 침투제가 표면에 열려있는 불연속부에 침투할 수 있는 충분한 시간이 경과 한 후, 불연속부에 침투하지 못하고 시험체 표면에 남아있는 과잉의 침투제를 제거하고, 그 위에 현상제를 도포하여 불연속부에 들어있는 침투제를 빨아올림으로서 불연속의 위치, 크기 및 지시 모양을 검출하는 검사 방법이다[1].

하지만 비파괴 검사는 점검자의 육안 조사를 통한 수작업으로 이루어지고 있기 때문에 점검의 수행 속도와 자료의 저장에 많은 시간과 인력이 요구되며, 이러한 육안 조사는 점검자의 주관에 개입되며, 점검자에 따라 검사 결과의 차이가 있을 수 있으므로 신뢰도의 차이가 발생하게 된다.

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 결함 검출 방법[2]에서는 비등방성 마스크 필터링 기법과 반복 이진화 기법을 적용하기 때문에 명암도의 분포가 고르지 못한 영상에서 결함을 검출하지 못하는 경우가 발생한다.

따라서 본 논문에서는 가우시안 마스크 필터링 기법 및 비등방성 마스크 필터링 기법을 적용한 후, 시그마 퍼지 이진화 기법을 적용하여 영상의 결함을 추출하는 방법을 제안한다.

II. 기울기를 이용한 영역별 세분화

비파괴 검사를 이용하여 획득한 세라믹 영상에 Ends-in Search Stretching 기법[2]을 적용하여 영상의 명암 대비를 강조한다.

비등방성 마스크 필터링은 영상의 정보를 분석하여 현재 픽셀의 상하 좌우 픽셀에 각각 다른 값을 적용한다. 비등방성 마스크 필터링의 수식은 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. t는 식 (1)의 반복 수행 시간을 의미하고 $I_{i,j}^t$ 는 현재 픽셀을 나타낸다. N, S, E, W는 각각 북, 남, 동, 서 방향을 의미하고 $\nabla_{N-W} I$ 는 $I_{i,j}^t$ 의 동서남북 방향에 대한 일차 미분 값이다. c_{N-W} 는 비등방성 마스크 필터링의 전달 계수 함수이며, 영상의 각 픽셀 값을 조정한다. 비등방성 마스크 필터링이 적용된 영상에 가우시안 마스크 필터링을 적용하여, Ends-in Search Stretching 기법이 적용된 영상과 마스크 연산을 수행한다. 가우시안 마스크 필터링의 수식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} G_\sigma(x,y) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \end{aligned} \quad (2)$$

그림 1의 (a)는 Ends-in Search Stretching 기법이 적용된 결과이며, 그림 1의 (b)는 비등방성 마스크 필터링을 적용한 후, 가우시안 마스크 필터링을 적용한 결과이다.

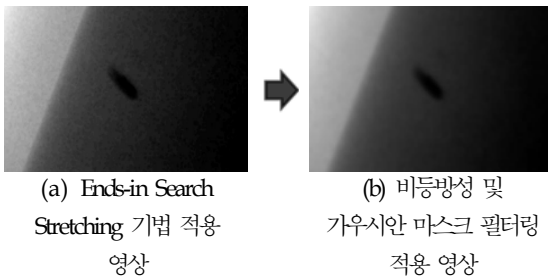
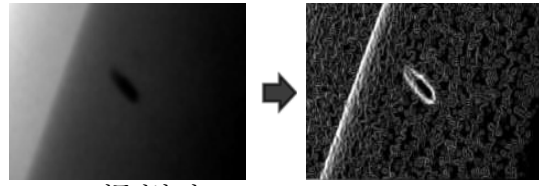


그림 1. 가우시안 및 비등방성 마스크 필터링 적용한 결과 영상



(a) 비등방성 및 가우시안 필터링 기법을 적용한 영상
(b) Sobel Mask을 적용한 영상
그림 2. Sobel 마스크를 이용한 에지 검출

그림 2의 (a)는 비등방성 마스크 필터링과 가우시안 마스크 필터링이 적용된 결과 영상이며, 그림 2의 (b)는 Sobel 마스크를 적용한 결과 영상이다.

비파괴 영상은 경계 영역을 기준으로 명암도 차이가 뚜렷한 특징이 있으므로, 가우시안 필터링과 비등방성 필터링을 적용한 후, Ends-in Search Stretching 기법과 7x7 Sobel 마스크 및 임계치 이진화를 적용한다. 이진화된 영상을 이용하여 경계 영역의 기울기를 구한 후, 그 기울기를 이용하여 영역을 세분화 한다. 그리고 Grassfire 라벨링 기법을 적용하여 세분화된 영역을 분류한다. 그림 3은 이진화된 영상에서 경계 영역의 기울기를 구하기 위한 과정이다.

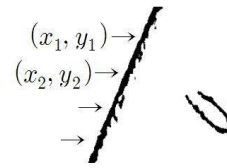
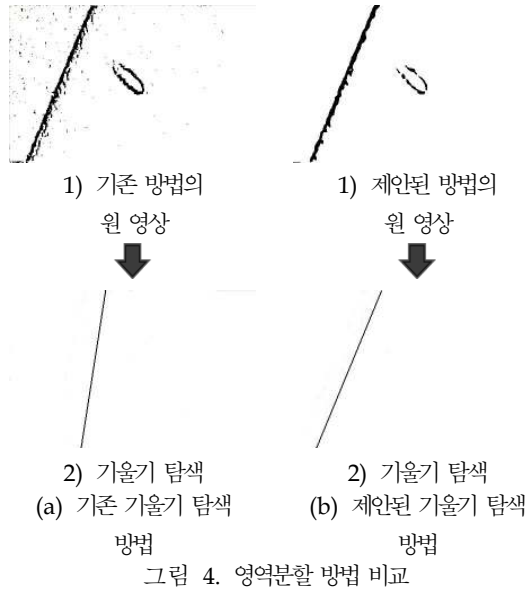


그림 3. 이진화 영상에서 기울기를 구하는 과정

기존의 기울기 탐색 방법[5]은 좌측 최상단과 최하단, 우측 최상단과 최하단을 탐색하여 기울기를 측정하는데 최하단에 해당 영역의 경계가 존재하지 않으면 다른 경계 영역이나, 잡음을 경계로 인식하기 때문에 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 설정하여 탐색한다. 이때 기울기 탐색에 실패할 경우에는 (x_1, y_1) 의 탐색 위치를 고정한 상태에서 (x_2, y_2) 의 탐색 위치를 임의의 간격으로 변경하여 기울기의 탐색 정확도를 개선한다. 이러한 과정을 통해 얻어진 기울기를 이용하여 영역을 세분화 한다. 그림 4는 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 비교한 것이다.



III. 결함 검출

본 논문에서는 시그마 퍼지 이진화 방법을 적용하여 결함 영역을 결정한다. 시그마 퍼지 이진화 방법에서는 각각의 영역별로 명암도의 소속도를 설정하기 위해 Grassfire 라벨링 기법[6]을 적용한다.

제안된 방법에서 Grassfire 라벨링 기법은 3×3 마스크를 이용하여 8 방향 탐색을 수행하는 방식으로 하나의 객체에 해당되는 픽셀을 탐색한다. 초기 마스크 중심의 명도값과 일치하는 픽셀의 주변 8방향에 위치한 픽셀 중에 명암도가 0인 픽셀을 탐색한다. 탐색에 성공하면 마스크의 중심을 해당 픽셀로 이동시켜 라벨링한 후, 8 방향 탐색을 수행한다. 탐색에 실패할 경우에는 이전에 라벨링된 픽셀로 이동한다. 그리고 초기에 라벨링된 픽셀에서 탐색에 실패하면 다음 객체로 이동하여 탐색을 수행한다. 세분화된 영역에 Grassfire 라벨링 기법을 적용하여 각각의 영역에 고유 라벨값을 부여함으로써 영역을 구분한다.

비파괴 검사를 통해 얻은 대부분의 영상은 결함 영역이 비결함 영역에 비해 비교적 어둡거나, 밝으며, 결함의 크기가 작기 때문에 영상의 모든 픽셀 정보를 이용하여 이진화 하는 방법으로는 결함 영역을 추출하기가 어렵다.

제안된 방법에서는 기울기 탐색과 Grassfire 라벨링을 통해 추출한 각각의 영역을 시그마 퍼지 이진화 기법에 적용하여 각 영역의 명암도에 따라 소속도를 설정한 후, 소속도를 기반으로 시그마 퍼지 이진화 방법[7]을 적용한다.

본 논문에서 제안된 시그마 퍼지 이진화 방법은 Ends-in Search Stretching 기법으로 추출한 스트레칭 영상에서 가장 밝은 값 Max와 가장 어

두운 값 Min을 설정하고, Max와 Min의 1/2 값을 Mid, 1/4 값을 α 로 정의하며, 소속 함수의 구간 범위를 [Low, High]로 설정한다. 소속 함수 구간의 설정 방법은 다음과 같다.

단계1.

$$\text{IF } Mid > 128 \text{ Then } \alpha = 255 - Mid \\ \text{ELSE } \alpha = Mid$$

단계2.

$$Low = Mid - \alpha \\ High = Max$$

제안된 시그마 퍼지 이진화 방법에서 소속 함수 구간 [Low, High]에 대한 소속도는 다음과 같이 계산한다.

$$\text{IF } (Low > Img \text{ AND } Mid = 0)$$

$$\text{Then } u(Img) = 0$$

$$\text{IF } (Low \leq Img \leq Mid)$$

$$\text{Then } u(Img) = \frac{Img - Low}{Mid - Low}$$

$$\text{IF } (Mid < Img)$$

$$\text{Then } u(Img) = 1$$

소속 함수에서 구해진 소속도 $u(Img)$ 를 a-cut에 적용하여 이진화 과정을 수행한다. a-cut은 0.55로 설정하였으며 소속도가 0.55 이상이면 영상의 픽셀 값을 255로 설정하고, 0.55 미만이면 픽셀 값을 0으로 설정하여 Ends-in Search Stretching 기법이 적용된 세라믹 비파괴 영상을 이진화 한다. 그림 5는 비파괴 영상에서 대각선 시그마 퍼지 이진화를 적용한 결과이다.

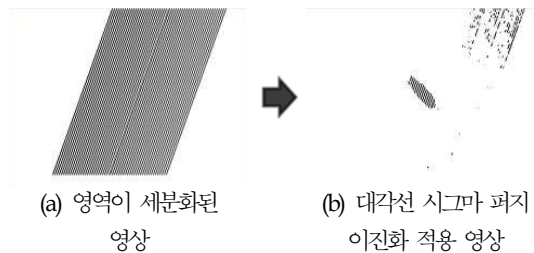


그림 5. 대각선 시그마 퍼지 이진화가 적용된 결과 영상

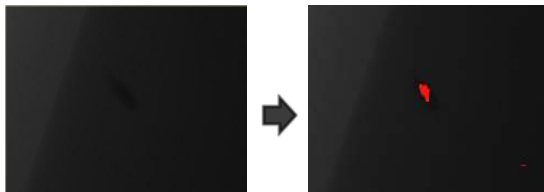
3.3 형태학적 정보를 이용한 잡음 제거

추출된 결함 영역에서 3×3 마스크를 이용하여 미세 잡음을 제거한다. 중심 화소의 4 방향을 탐색하여 255인 픽셀이 0의 명도값을 가진 픽셀 보다 많이 존재할 경우에는 중심 화소의 명도값을 255로 변환하여 영상의 잡음을 제거한다.

IV. 실험 및 결과 분석

세라믹 비파괴 검사의 영상에서 결함을 검출하기 위해 본 논문에서 제안한 방법을 Intel(R) Xeon(TM) CPU 3.20GHz, 2.80GHz와 2GB RAM 이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0으로 구현하여 실험하였다. 실험 표본은 세라믹을 비파괴 검사하여 얻은 640×480 크기의 영상을 대상으로 실험하였다.

그림 6의 (a)는 기존의 방법[2]을 이용하여 명암도가 낮은 결함이 있는 세라믹 비파괴 영상에서 결함을 추출한 결과이고 그림 6의 (b)는 본 논문의 제안된 방법을 적용하여 결함을 추출한 결과이다.



(a) 기존 방법의 결함 검출 결과



(b) 제안된 방법의 결함 검출 결과

그림 6. 결함 검출 결과 비교

기존의 방법으로 결함을 검출할 경우에는 낮은 명암도를 가지는 세라믹 비파괴 검사 영상에서는 결함을 추출할 수가 없었으나, 본 논문에서 제안된 방법에서는 기존의 결함 검출 방법[2]보다 결함 검출의 성능이 우수한 것을 실험을 통해 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 세라믹 비파괴 검사로 얻어진 영상에서 결함을 자동으로 검출하는 방법을 제안하였다. 제안된 결함 검출 방법은 영상의 명암도 차이에 따른 경계 영역의 특징을 이용하기 위해서 Ends-in Search Stretching 기법을 적용하였고, 7×7 Sobel 마스크를 적용하여 경계 영역을 추출하였다. 그리고 가우시안 필터링과 비등방성 필터링을 적용한 후에 임계치 이진화를 적용하여 기울기를 기존의 방법보다 세밀하게 추출하였다. 추출된 경계의 기울기를 이용하여 영역을 세분화하고 세분화된 영역을 Grassfire 라벨링 기법을 적용하여 분류한 후, 각각의 영역에 시그마 퍼지 이진화를 적용하여 결함을 검출하였다. 검출된 결함 영역에서 잡음을 제거하기 위해서 3×3 마스크

를 적용하여 평균 픽셀 이하의 객체를 제거하고 기존의 결함 검출 방법에서 검출할 수 없었던 낮은 명암도를 가진 영상에서도 결함을 추출하였다.

향후 연구 과제는 다양한 세라믹 비파괴 영상에서 제안된 결함 검출 방법을 적용하여 분석한 후에 다양한 결함이 있는 비파괴 영상에서도 결함을 검출할 수 있도록 확장할 것이다.

참고문헌

- [1] 한국비파괴검사협회 <http://www.kandt.or.kr>
- [2] 이승현, 김성훈, 김광백, “비파괴 검사를 이용한 세라믹의 결함 검출,” 한국전자통신학회 학술추계발표논문집, 제4권 1호, pp.136~139, 2010.
- [3] J. K. Udupa, G. T. Herman, 3D Imaging in Medicine, CRC Press LLC, 2000.
- [4] RC Gonzalez, RE Woods, Digital Image Processing, Third Edition, Pearson Education, Inc. 2008.
- [5] 김지현, 신병철, 김광백, “비파괴 검사를 이용한 자동결함 검출 기법,” 한국해양정보통신학회 추계학술대회논문집, 제13권 2호, pp.157~159, 2009.
- [6] 김광백, 김철기, 김정원, “윤곽선 추적 알고리즘과 개선된 ART1을 이용한 영문 명함 인식에 관한연구,” 한국지능정보시스템학회논문지, 제8권, 제2호, pp. 108~109, 2002.
- [7] 김광백, 장현우, 이해정, “경주 초음파 영상에서의 흉쇄유돌근과 경부심골곡근 추출,” 한국멀티미디어학회추계학술대회논문집, 14권, 1호, pp.73, 2011.