논문 2012-49CI-2-6

퍼지 추론 기법과 SOM 알고리즘을 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 추출

(Extraction of Concrete Slab Surface Cracks using Fuzzy Inference and SOM Algorithm)

김 광 백*

(Kwang-Baek Kim)

요 약

콘크리트 건물의 보수 작업은 표면에 발생하는 균열을 정확하게 계측함으로써 비용적인 측면과 안전성이 결정된다. 하지만 표면에 발생한 균열은 대부분 점검자에 의해 수작업으로 계측되기 때문에 시간적 측면에서 비효율적이다. 또한 콘크리트 표면의 균열은 영상 획득 과정에서 빛이나 외부 환경에 의해 훼손되는 경우가 발생한다. 또한 콘크리트 표면이 고르지 않은 영상이나 잡음이 많이 존재하는 콘크리트 영상에서는 기존의 균열 추출 방법으로는 균열이 검출되지 않는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 형태가 왜곡되지 않은 균열뿐만 아니라, 잡음과 유사한 미세 균열까지 효과적으로 추출하고 분석할 수 있는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 균열 검출 방법은 콘크리트 슬래브 표면의 R, G, B 채널 값을 퍼지 기법에 적용하여 후보 균열 영역을 추출한 후, 추출한 후보 균열 영역에 SOM 기법을 적용하여 1차적으로 잡음 영역을 제거한다. 잡음이 제거된 후보 균열 영역에서 밀도 정보를 이용하여 2차적으로 세부적인 잡음 영역을 제거하여 최종적으로 균열 영역을 검출한다. 실제 콘크리트 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 다양한 콘크리트 균열 영상에서 기존의 균열 추출 방법보다 균열 검출 성능이 개선되었음을 확인하였다.

Abstract

It is necessary to measure cracks on concrete slab surface accurately in concrete structure maintenance for the stability of the structure. However, in real world, the process is done by time consuming and ineffective manual inspection. Although there have been some studies to provide computerized inspection methods, they are vulnerable to rugged surface or noise due to the influence of the light or environmental reasons. In this paper, we propose a new method that extracts not only undistorted cracks but minute cracks that were often regarded as noise. We extract candidate crack areas by applying fuzzy method with R, G, and B channel values of concrete slab structure. Then further refinement processes are performed with SOM algorithm and density based cutoff to remove noise. Experiment verifies that the proposed method is sufficiently useful in various crack images.

Keywords : 콘크리트 표면, 균열, 퍼지 기법, SOM 기법, 밀도 정보

Ⅰ. 서 론

콘크리트 구조물에 발생한 균열은 구조물의 내력, 내구성, 방수성 및 미관 등에 악영향을 미치기 때문에 빠르고 정확한 계측이 필요하다. 대부분 균열이 점검자에 의해 수작업으로 계측되기 때문에 시간적 측면이 비효율적이므로 컴퓨터를 통해 객관적으로 계측할 수 있는 기법의 필요성이 더욱 확대되고 있다[1~2]. 영상 처리 기법을 이용한 균열 계측 기법은 컴퓨터가 균열을 자동으로 인식하는 검출 기법과, 검출된 균열의 특징들(폭, 길이, 방향정보 등)을 계산하는 분석 기법으로 구분할 수

* 정회원, 신라대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, Silla University)
접수일자: 2011년2월15일, 수정완료일: 2012년3월5일

있다[3]. 전자의 경우, 콘크리트 구조물에서 발생하는 균열은 형상을 예측할 방안이 없기에 수학적 모델링이 불가능할 뿐만 아니라 콘크리트 구조물은 시공을 한 후, 바로 외부 환경에 노출되기 때문에 균열만을 완벽히 검출할 수 있는 기법은 아직 소개되어 있지 않다.

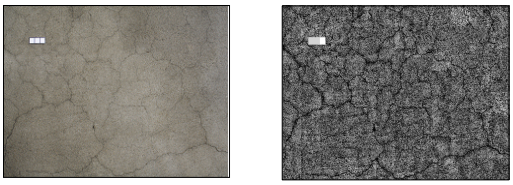
기존의 콘크리트 균열 검출 방법은 콘크리트 표면이 빛에 의해 명암도가 변하거나, 균열과 콘크리트 표면의 명암도의 차이가 거의 없는 경우에는 효과적으로 균열을 검출할 수 없는 문제점이 있다[4~5]. 그리고 다양한 콘크리트 영상에 적용하였을 때 균열 검출이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서 제안된 방법은 콘크리트 슬래브 표면의 R, G, B 채널 값을 퍼지기법[6~7]에 적용하여 후보 균열 영역을 추출한 후에 SOM 기법[8]을 적용하여 추출된 후보 균열 영역 중에서 잡음 영역을 제거한다. 잡음이 제거된 영상에서 밀도 정보를 이용하여 세부적인 잡음을 제거한 후에 최종적으로 균열 영역을 검출한다. 다양한 콘크리트 균열 영상에서 기존의 방법보다 효과적으로 균열을 추출하고 특징을 분석할 수 있는 방법을 제안한다.

Ⅱ. 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출

1. 지역적 평활화

콘크리트 영상에서 미세한 균열 부분은 잡음의 명암도와 유사하다. 이러한 미세한 균열 부분의 명암도와 잡음의 명암도를 구분하기 위해 콘크리트 영상을 임의의 작은 객체로 나누어 각각의 영역에 대해 평활화를 수행하여 그림 1(b)와 같이 미세한 균열 부분과 잡음을 구분한다.



(a) 원 영상 (b) 지역적 평활화된 영상

그림 1. 지역적 평활화
Fig. 1. Fig. 2. Local smoothing.

2. 퍼지 기법을 이용한 후보 균열 영역 추출

콘크리트 영상은 저 대비 영상이며 명암도 스펙트럼

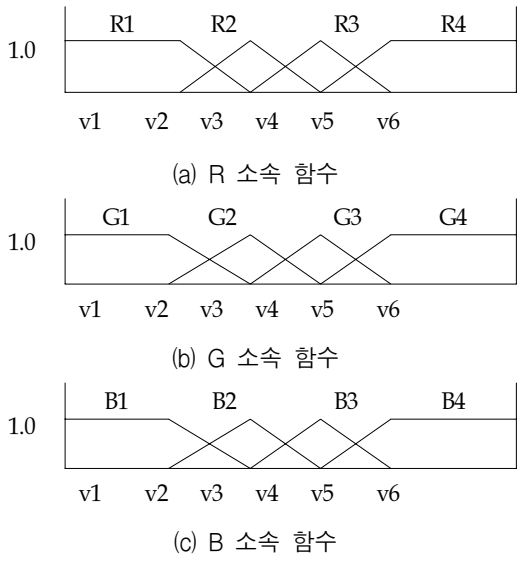


그림 2. R, G, B 채널의 소속 함수 전반부
Fig. 2. Membership functions of R, G, B channel - First part.

에서 균열 영역과 인접 잡음 영역이 유사한 범위를 형성하고 있다. 따라서 영상을 그레이화 하는 경우에는 균열 영역과 잡음 영역의 명암도가 유사하다. 본 논문에서는 이러한 점을 이용하여 그림 1(b)와 같이 지역적 평활화된 영상을 임의로 나눈다. 그리고 각 나누어진 객체 영역의 그레이 평균값을 구한다. 그레이 평균값 이하 영역에 대해서는 R, G, B 각각 채널 정보를 퍼지 기법에 적용한다. RGB 컬러 정보에 대한 소속 함수는 그림 2와 같다.

각 객체 영역의 RGB 컬러 정보에 대한 소속 함수 구간은 각 영역의 R, G, B 채널의 평균값을 적용하며, 소속 함수 구간은 표 1과 같다.

각 객체 영역의 R과 B 채널을 그림 3의 소속 함수에 적용하여 소속도를 계산한다. R과 B 채널을 우선적으로 처리하는 이유는 사람이 감지 할 수 있는 가시광선 중 녹색(초록색)이 가시광선의 중심에 해당하기에 사람

표 1. 그림 3에 대한 소속 함수 구간
Table 1. Membership function range of Fig. 3.

v1	0
v2	R(G, B) / 2
v3	R(G, B) * (3 / 4)
v4	R(G, B) * (5 / 4)
v5	R(G, B) * (6 / 4)
v6	255
R = 객체 영역의 R의 평균값 (G, B 채널도 동일한 방식을 적용)	

이 감지하는 색상 중에 녹색이 가장 피로감이 적다. 이러한 이유로 인해 인간의 눈은 G 채널 값을 가장 먼저 인식하고, 그 후에 R과 B 채널 값을 인식하기 때문이다[9]. 계산된 소속도를 다음과 같은 추론 규칙(1)에 적용하여 콘크리트 영상에서 후보 균열 영역을 추출한다.

추론 규칙 (1)

IF X is R1(G1, B1) and Y is R1(G1, B1) then W is C1
IF X is R1(G1, B1) and Y is R2(G2, B2) then W is C1
IF X is R1(G1, B1) and Y is R3(G3, B3) then W is C2
IF X is R1(G1, B1) and Y is R4(G4, B4) then W is C3
IF X is R2(G2, B2) and Y is R1(G1, B1) then W is C1
IF X is R2(G2, B2) and Y is R2(G2, B2) then W is C2
IF X is R2(G2, B2) and Y is R3(G3, B3) then W is C2
IF X is R2(G2, B2) and Y is R4(G4, B4) then W is C3
IF X is R3(G3, B3) and Y is R1(G1, B1) then W is C2
IF X is R3(G3, B3) and Y is R2(G2, B2) then W is C3
IF X is R3(G3, B3) and Y is R3(G3, B3) then W is C3
IF X is R3(G3, B3) and Y is R4(G4, B4) then W is C4
IF X is R4(G4, B4) and Y is R1(G1, B1) then W is C2
IF X is R4(G4, B4) and Y is R2(G2, B2) then W is C3
IF X is R4(G4, B4) and Y is R3(G3, B3) then W is C4
IF X is R4(G4, B4) and Y is R4(G4, B4) then W is C4

각 객체 영역의 G 채널 값을 그림 2의 소속 함수에 적용하여 소속도를 계산한다. G 채널 값의 소속도와 앞에서 계산된 R과 B 채널의 소속도 값을 추론 규칙(1)에 적용한다. 추론 규칙은 Max_Min 방법으로 추론하고 그림 3의 소속 함수에 적용하여 소속도를 계산한다. 계산된 소속도를 식(1)과 같은 무게 중심법에 적용하여 비퍼지화를 수행한다.

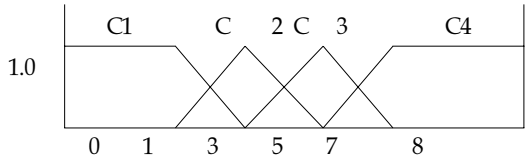


그림 3. 후반부 소속 함수
Fig. 3. Membership function - Second part.

표 2. 후보 균열 영역 기준
Table 2. Criteria for crack candidates.

$0 < W < 2$	후보 균열 영역
$2 < W < 4$	
$4 < W < 6$	
$6 < W < 8$	잡음 영역

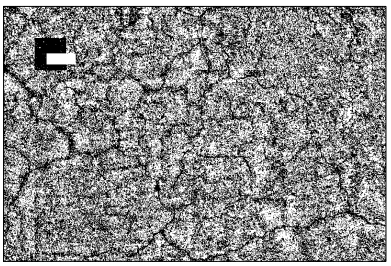


그림 4. 퍼지 기법 적용 후 영상
Fig. 4. Image after applying fuzzy method.

$$W = \frac{\sum u(X)X}{\sum u(X)} \tag{1}$$

식(1)에서 출력된 비퍼지화 값을 표 2에 명시된 조건에 적용하여 균열 후보 영역을 추출한다.

그림 4는 지역적 평활화된 영상을 퍼지 기법을 적용한 결과 영상이다.

3. SOM 기법을 이용한 후보 균열 영역 추출

그림 4와 같이 퍼지 기법을 적용한 영상에서 RGB 컬러 정보를 이용하여 후보 균열을 추출하는 경우에는 균열 영역과 잡음 영역의 RGB 컬러 정보가 유사하여 균열을 추출할 수 없는 경우가 발생한다. 따라서 퍼지 기법을 적용한 영상에 SOM 기법을 적용하여 보다 정확히 후보 균열 영역과 잡음 영역을 구분한다.

본 논문에서는 지역적으로 평활화된 영상에서 그림 5와 같이 3×3 크기를 가진 마스크의 그레이 평균값을 SOM 알고리즘에 적용하여 학습하고 출력값은 식(2)와 같이 계산한다. SOM 알고리즘에서 연결 가중치의 조정은 식(3)과 같이 계산한다.

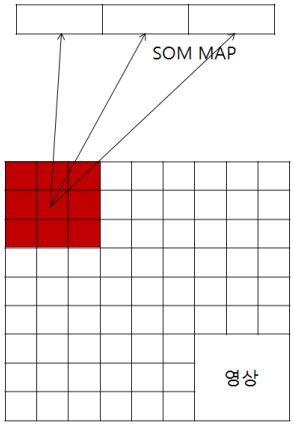


그림 5. SOM 기법 적용
Fig. 5. Applying SOM algorithm.

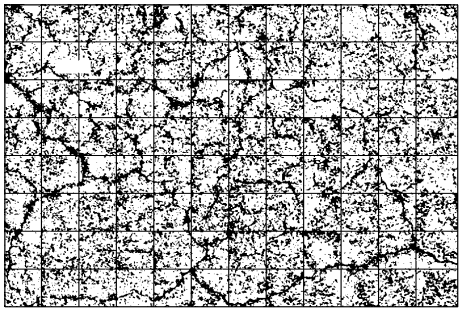


그림 6. SOM 알고리즘을 적용한 영상
Fig. 6. Image after applying SOM.

$$D(j)=\sum_{i}(W_{ji}-X_i)^2 \tag{2}$$

$$W_{ji}^{k+1}=W_{ji}^{k}+a[x_i-W_{ji}^{k}] \tag{3}$$

식(2)와 식(3)에서 D는 유사도, X는 패턴, W는 연결강도이고 a는 학습률이다. 학습이 완료된 SOM 알고리즘에서 후보 균열을 추출하기 위해 퍼지 기법을 적용한 영상을 SOM 알고리즘의 학습 방법과 같은 방법으로 3×3 크기를 가진 마스크의 그레이 평균값을 인식 패턴으로 적용하여 그림 6과 같이 세밀한 후보 균열 영역을 추출한다.

4. 기준선 제거

각 객체 영역에서 3×3 크기의 마스크를 이용하기 때문에 그림 6과 같이 각 객체 영역의 가장자리에 선이 발생한다. 따라서 그림 7과 같이 SOM 알고리즘을 적용한 영상에서 각 객체 영역의 가장 자리를 기준으로 하여 기준선을 제거한다.

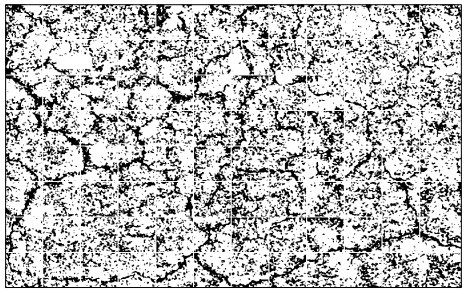
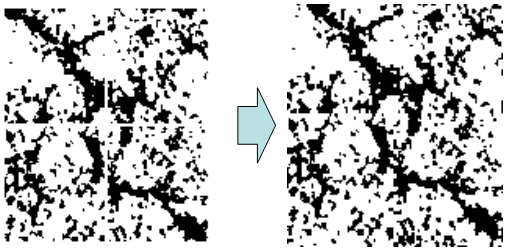


그림 7. 기준선 제거
Fig. 7. Removing baseline.

5. 오잡음 영역 복원

콘크리트 영상에서 후보 균열 영역을 추출할 때 의도하지 않은 오류가 발생하여 균열이지만 잡음으로 간주되어 제거되거나, 그림 7과 같이 기준선을 제거하는 과정에서 오잡음이 발생한다. 이러한 오잡음은 그림 7과 같이 기준선을 제거한 영상에서 후보 균열을 기준으로 하여 지역적 평활화된 영상과 명암도를 비교한 후에 그림 8과 같이 오잡음을 복원한다.



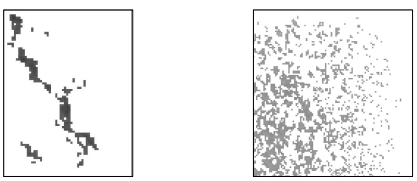
(a) 오잡음 (b) 오잡음 복원

그림 8. 끊어진 균열 부분 복원
Fig. 8. Restoration of crack loss.

6. 밀도 값을 이용한 잡음 제거

그림 9에서와 같이 균열은 낮은 밀도와 낮은 명암도를 가지며, 잡음은 높은 밀도와 높은 명암도를 가진다.

이러한 밀도 정보를 이용하여 잡음을 제거하기 위해



(a) 균 열 (b) 잡 음

그림 9. 균열과 잡음
Fig. 9. Crack and noise.

표 3. 최종 균열 영역 추출 기준
Table 3. Final crack decision rule.

f ≥ 0.3	잡음
f < 0.3	균열

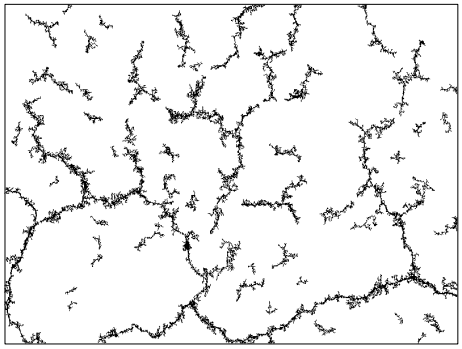


그림 10. 최종 균열 검출 영상
Fig. 10. Final crack extraction.

Grassfire 방법을 수행한 후에 식(4)를 적용한다.

$$f = \frac{A_{ob}}{A_x \times A_y} \tag{4}$$

식(4)에서 A_x, A_y는 GRASSFIRE 알고리즘을 적용하여 추출된 객체를 외접하는 직사각형의 폭과 높이를 의미하고, A_{ob}는 추출된 객체의 픽셀 수이다. 식(4)를 적용한 후에 표 3을 적용하여 그림 10과 같이 최종 균열을 추출한다.

Ⅲ. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 3.0GHz CPU와 1GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC 상에서 VC++ 6.0으로 구현하여 실험하였다. 실험에 적용된 균열 영상은 CANON사의 350D 디지털 카메라를 사용하여 800×600 크기를 가진 영상을 획득하여 실험에 적용하였다. 기존의 콘크리트 균열 검출 방법은 콘크리트 영상에서 그레이 값을 이용하였다. 그러나 이 방법은 콘크리트 표면이 빛에 의해 명암도가 변하거나, 콘크리트 표면의 명암도의 차이가 거의 없는 경우에는 효과적으로 균열을 검출할 수 없는 경우가 발생하였다. 그리고 다양한 영상에 적용하였을 경우에는 균열이 검출되지 않았다. 본 논문에서 제안된 방법은 R, G, B 채널 값을 퍼지 기법과 SOM 기법을 이용하여 후보 균열을 추출한 후에 밀도 정보를 이용하여 최종적으로 균열

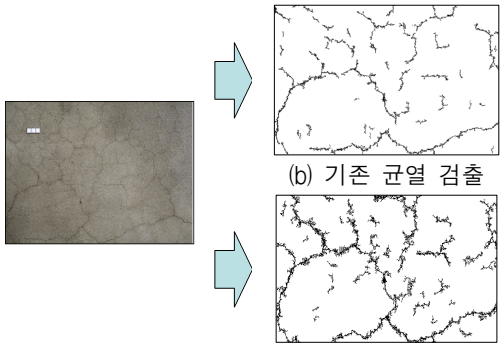


그림 11. 기존의 콘크리트 검출 방법과 제안된 방법 간의 결과 비교
Fig. 11. Comparison of the proposed method and previous method.

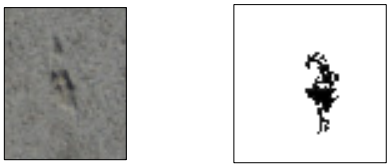


그림 12. 오검출 부분
Fig. 12. False extraction example.

을 검출하였다. 그림 11은 기존의 콘크리트 균열 검출 방법과 제안된 방법 간의 균열 검출 결과를 비교한 결과 영상이다.

그림 11에서와 같이 본 논문에서 제안한 방법이 미세한 균열 검출에 있어서 기존의 방법보다 개선된 것을 확인할 수 있다. 그러나 미세 균열의 길이(1cm)를 초과하는 홈, 오물 등의 이물질이 콘크리트 영상에 존재하는 경우에는 그림 12와 같이 정확히 균열이 검출되지 않았다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 슬래브 표면 영상에서 콘크리트 균열을 자동으로 추출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 콘크리트 추출 방법은 콘크리트 슬래브 표면의 R, G, B 채널 값을 퍼지 기법과 SOM 알고리즘에 적용하여 영상에서 후보 균열을 추출하였다. 추출된 후보 균열 영상에서 기준선을 제거한 후에 발생하는 오잡음 부분들을 복원하였다. 그리고 밀도 정보를 이용하여 세부적인 잡음을 제거한 후에 최종적으로 균열을 검출하였다. 본 논문에서 제안한 균열 추출 방법은 균열의 원 형태를 유지하며 균열의 형태학적 특징 정보를 이용

하여 잡음을 제거하였다. 그리고 콘크리트 균열 중에서 기존의 균열 추출 방법에서 잡음으로 간주되어 제거된 미세한 균열과 콘크리트 표면에 거친 잡음이 많이 내포된 영상에 대해서도 효율적으로 균열이 추출되었다.

향후 연구 과제로 콘크리트 표면에 존재하는 진행 방향 및 균일 길이와 폭을 정확히 계산한 후에 균열의 진행도와 균열의 형태에 따른 균열의 원인을 파악하고 미리 대처할 수 있는 지능적인 균열 검출 및 분석 방법에 대해 연구할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 강현구, 홍성걸, 콘크리트 학회지, 제20권, 제5호, 통권 106호, pp.61-68, 2008.
[2] 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 기문당, 1992.
[3] 강준묵, 오영철, 엄대용, “수치영상처리에 의한 콘크리트 구조물의 균열 정보 획득,” 대한토목학회논문집, 22권, 5-D호, pp.1001-1010, 2002.
[4] K. B. Kim, K. B. Sim, S. H. Ahn, “Recognition of Concrete Surface Cracks using The ART1-based RBF Network,” Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3972, Springer, pp.669-675, 2006.
[5] 김광백, 조재현, “ART2 기반 양자화를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출,” 한국해양정보통신학회논문지, 12권, 10호, pp.1897-1902, 2008.
[6] A. Kandel, G. Langholz, Fuzzy Control Systems, CRC Press, Inc., 1994.
[7] W. Pedrycz, Fuzzy Control and Fuzzy Systems, Research Studies Press Ltd., 1989.
[8] 김광백, “Color Image Vector Quantization using Enhanced SOM Algorithm,” 멀티미디어학회논문지, 7권, 12호, pp.1737-1744, 2004.
[9] http://www.color21c.co.kr

저 자 소 개

김 광 백(정회원)
1999년 부산대학교 전자계산학과 박사 졸업.
2009년 Journal of Digital Imaging (Springer) Guest Editor.
1997년～현재 신라대학교 컴퓨터공학과 교수.
2005년～현재 한국지능정보시스템학회 이사 및 논문지 편집위원.
2009년～현재 The Open Artificial Intelligence Journal (USA), Editor.
2010년～현재 한국정보통신학회 국제학술부회장.
2011년～현재 International Journal of Information Science (USA). Editor.
<주관심분야 : Fuzzy Neural Networks, Medical Image Processing, Support Vector Machines, Medical Informatics and Biomedical System>