
퍼지 기법을 이용한 콘크리트 표면의 균열 검출

김광백* · 조재현**

Detection of Concrete Surface Cracks using Fuzzy Techniques

Kwang-Bae Kim* · Jae-hyun Cho**

요 약

본 논문에서는 콘크리트 균열 영상에서 퍼지 기법을 이용하여 균열을 자동으로 검출하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 콘크리트 표면 균열 검출 방법은 콘크리트 균열 영상의 R,G,B 채널 값을 퍼지 기법에 적용하여 후보 균열을 검출한다. 검출된 균열 후보 영역에 대해 밀도 정보를 이용하여 세부적인 잡음을 제거 한 후에 최종적으로 균열을 검출한다. 실제 콘크리트 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 제안한 방법이 기존의 방법보다 균열 검출 성능이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a detection method that automatically detects concrete surface cracks using fuzzy method in the image of concrete surface cracks. First, the proposed method detecting concrete surface cracks detects the candidate crack areas by applying R, G, B channel values of the concrete crack image to fuzzy method. We finally detect cracks by the density information about the detected candidate areas after we remove the detailed noises on the image of the concrete surface cracks. The experiments using real concrete images showed that the proposed method is greatly improved of crack detection compared with the conventional methods.

키워드

콘크리트 균열, 퍼지 기법, 영역 밀도

Key words

Concrete Cracks, Fuzzy Method, Area Density

* 신라대학교 컴퓨터정보공학부 (교신저자, gbkim@silla.ac.kr)
** 부산가톨릭대학교 컴퓨터공학과

접수일자 : 2010. 05. 28
심사완료일자 : 2010. 05. 28

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 수행되고 있기 때문에 계측뿐만 아니라 자료 저장에 많은 시간과 인력이 요구되고 점검자의 주관이 개입 될 수 있기 때문에 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, 방향 정보 등)을 계산하는 분석 기법으로 구분할 수 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 정확히 검출할 수 없는 경우가 발생한다.

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 영상에 적용 하였을 때 균열 검출이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 콘크리트 균열 영상의 R, G, B 채널 값을 퍼지기법[6,7]에 적용하여 후보 균열 영역을 추출한 후, 밀도 정보를 이용하여 세부적인 잡음을 제거한 후에 최종적으로 균열을 검출하는 방법을 제안한다.

II. 콘크리트 표면의 균열 검출

제안된 콘크리트 균열 검출 방법의 개요도는 그림 1과 같다.

2.1 명암 대비 스트레칭

콘크리트 영상은 어둡거나, 밝거나 또는 흐리다. 이런 영상의 균등한 값을 가지기 위해 자동 명암 대비 스트레칭 기법을 수행하여 그림1(b)와 같이 영상을 균등하게 한다.

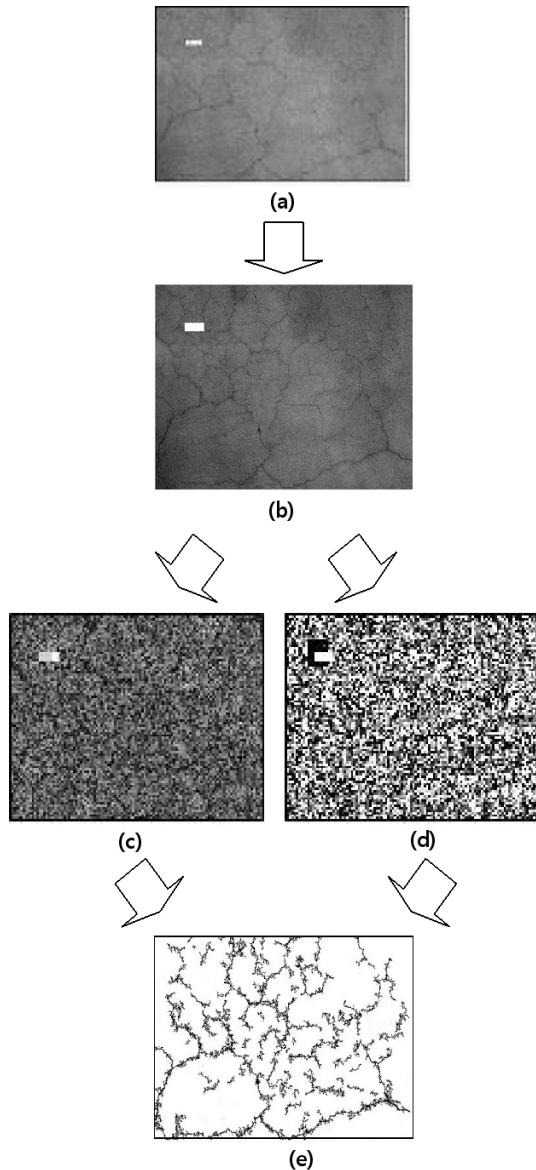


그림 1. 제안된 균열 추출 과정
 (a) 콘크리트 영상 (b) 명암대비 스트레칭
 (c) 지역적 평활화 (d) 퍼지기법 적용
 (e) 밀도를 이용한 잡음 제거

Fig. 1 Process of proposed crack detection
 (a) A concrete image
 (b) Brightness contrast stretching
 (c) Local smoothing
 (d) The use of the fuzzy method
 (e) Noise removal using the density

2.2 지역적 평활화

콘크리트 영상에서 미세한 균열 부분은 잡음의 색상과 유사하다. 이러한 미세한 균열 부분을 잡음의 색상과 차이를 두기 위해 콘크리트 영상을 임의의 작은 객체로 나누어 각각의 영역에 대해 평활화를 수행하여 그림 1(c)와 같이 미세한 균열 부분과 잡음을 구분한다.

2.3 폐지 기법을 이용한 후보 균열 영역 검출

콘크리트 영상은 저 대비 영상이며 명암도 스펙트럼에서 균열 영역과 인접 잡음 영역이 유사한 범위를 형성하고 있다. 따라서 영상을 그레이화 하는 경우에는 균열 영역과 잡음 영역의 색상 정보가 유사해진다. 본 논문에서는 이러한 점을 이용하여 그림1(c)의 영상에서 임의로 나눈 객체 영역의 그레이 평균값 이하 영역에 대하여 R, G, B 채널 정보를 폐지 기법에 적용한다. RGB 컬러 정보에 대한 소속 함수는 그림 2와 같다.

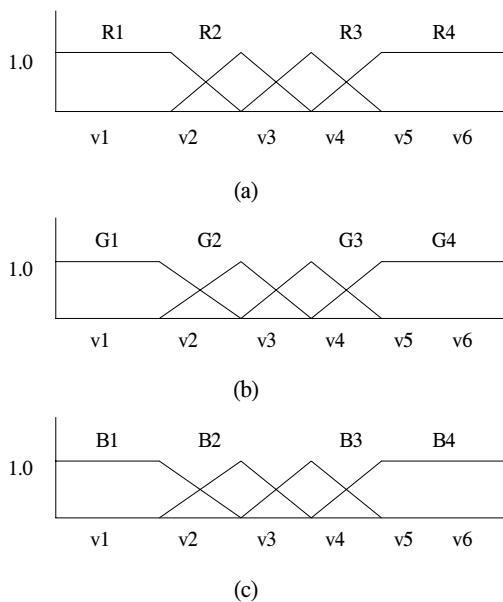


그림 2. 전반부 소속 함수
 (a) R 채널 소속 함수 (b) G 채널 소속 함수
 (c) B 채널 소속 함수

Fig. 2 Member function in the first half of the processing steps

- (a) R channel member function
- (b) G channel member function
- (c) B channel member function

객체 영역의 R 과 B 채널을 그림 2의 소속 함수에 각각 적용하여 소속도를 구한다. R 과 B 채널을 먼저 수행하는 이유는 사람이 볼 수 있는 빛은 가시광선이다.

표 1. 그림 2에 대한 소속 함수 구간
 Table. 1 Member function interval of Fig. 2

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 동일)	

그 중 녹색(초록색)은 가시광선 중 중심에 해당하는 색상이다[8]. 사람이 인식하는 색상 중에 녹색이 가장 피로감이 적기 때문에 눈이 G 채널 값을 가장 먼저 인식 후에 R과 B 채널 값을 각각 인식한다. 따라서 R 과 B 채널을 먼저 수행한다. 계산된 소속도를 표 2의 폐지 추론 규칙에 적용한다. 폐지 추론 규칙은 콘크리트 영상에서 후보 균열 영역을 추출하는데 적용한다.

표 2. 폐지 추론 규칙
 Table. 2 Fuzzy inference rule

```

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
  
```

제시한 폐지 추론 규칙에 Max_Min 방법으로 추론한 후, 그림 3에 대한 소속도를 계산한다.

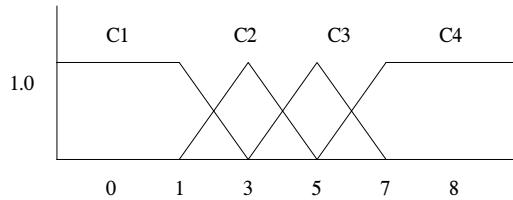


그림 3. 후반부 소속 함수

Fig. 3 Member function in the second half of the processing steps

객체 영역의 R, G, B 각 채널 값을 그림 3의 소속 함수에 적용하여 소속도를 계산한다. 그리고 Max_Min 방법으로 추론 한 후, 소속도를 계산한다. 계산된 소속도를 식(1)과 같은 무게 중심법에 적용하여 비페지화를 수행한다.

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

식(1)에서 구한 비페지화 값을 표 3에 명시된 조건에 적용하여 균열 후보 영역을 추출한다.

표 3. 후보 균열 기준

Table. 3 Criteria of the candidate cracks

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

2.4 밀도 값을 이용한 잡음 제거

그림 4에서와 같이 균열 영역은 낮은 밀도와 낮은 명암도를 가지며, 잡음 영역은 높은 밀도와 높은 명암도를 가진다. 이러한 밀도 정보를 이용하여 잡음을 제거하기 위해 GRASSFIRE 알고리즘을 수행한 후, 식(2)에 적용한다.

$$f = \frac{A_{ob}}{A_x \times A_y} \quad (2)$$

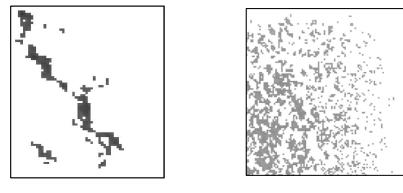


그림 4. 균열과 잡음

(a) 균열 (b) 잡음

Fig. 4 Cracks and noises

(a) Cracks (b) Noises

식(2)에서 A_x, A_y 는 GRASSFIRE 알고리즘을 적용하여 추출된 객체를 외접하는 직사각형의 폭과 높이를 의미하고, A_{ob} 는 추출된 객체의 픽셀 수이다. 식(2)를 수행한 후, 표 4를 적용하여 그림 1(e)과 같이 최종적으로 균열을 검출한다.

표 4. 균열과 잡음의 기준

Table. 4 Criteria of crack and noise

$f \geq 0.3$	잡음
$f < 0.3$	균열

III. 실험 및 결과분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 3.0GHz CPU와 1GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0을 구현하여 실험하였다. 실험에 적용된 균열 영상은 CANON사의 350D 디지털카메라를 사용하여 800×600 크기를 가진 영상을 획득하여 실험에 적용하였다.

기존의 콘크리트 균열 검출방법[5]은 콘크리트 영상의 그레이 값을 이용하였다. 이 방법은 콘크리트 표면이 빛에 의해 명암도가 변하거나, 콘크리트 표면의 명암도의 차이가 거의 없는 경우에는 효과적으로 균열을 검출할 수 없는 문제점이 있었다. 또한 다양한 콘크리트 영상에 적용하였을 때 균열이 검출되지 않는 경우도 발생하였다. 따라서 본 논문에서는 R, G, B 채널 값을 페지기법에 적용하여 효과적으로 균열을 검출하였다.

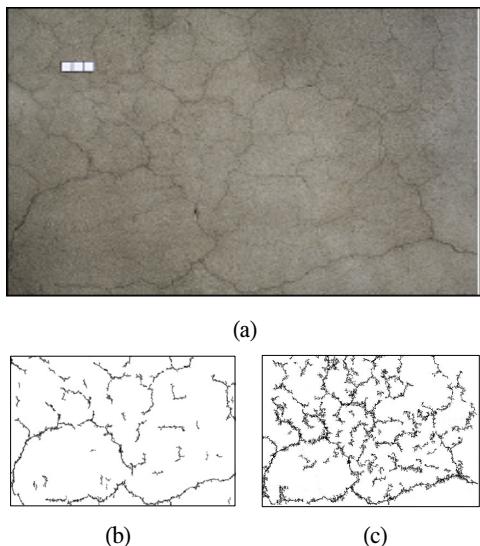


그림 5. 기존의 콘크리트 검출 방법[5]과
(a) 원 영상 (b) 기존 균열 검출 (c) 제안된 균열 검출
제안된 콘크리트 균열 검출 방법의 결과 비교
Fig. 5 Comparison of the conventional method [5]
and the proposed method
(a) The original image (b) The conventional method
(c) The proposed method

그림 6은 여러 영상에 대해 제안된 방법을 적용하여
균열을 검출한 결과이다.

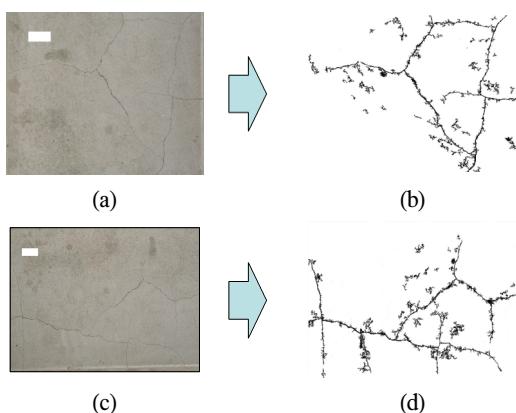


그림 6. 다양한 영상에 대한 제안된 균열 검출
(a) 원 영상 (b) 제안된 방법 (c) 원 영상 (d) 제안된 방법
Fig. 6 Proposed crack detection on a various images
(a) The original image (b) The proposed method
(c) The original image (d) The proposed method

그림 7은 최종 출력 영상에서 균열의 특징을 분석하기 위해 라벨링을 이용하여 각각의 균열들을 검출한 결과이다.

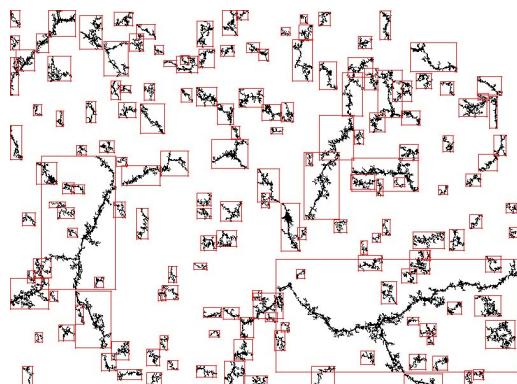


그림 7. 검출된 균열들
Fig. 7 Detected cracks

본 논문에서 제안한 방법은 미세한 균열 부분에서는 기존의 방법에 비해 개선되었음을 확인하였으나 균열과 비슷한 명암도를 가지는 잡음 영역은 그림 8과 같이 균열로 검출되었다.



그림 8. 오검출 부분
Fig. 8 Incorrectly detected part

IV. 결 론

본 논문에서는 디지털 카메라로 획득한 콘크리트 표면 영상에서 콘크리트 균열을 자동으로 추출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 콘크리트 균열 추출 방법은 콘크리트 표면 영상의 R, G, B 채널 값을 폐지 기법에 적용하여 후보 균열 영역을 검출하였다. 그리고 밀도 정보를 이용하여 세분적인 잡음을 제거한 후에 최종적으로 균열 영역을 검출하였다.

실험 결과에서도 알 수 있듯이 다양한 콘크리트 표면 영상에서 기존의 방법보다 효과적으로 균열이 검출된 것을 확인하였다.

향후 연구 과제로 콘크리트 표면에 존재하는 균열의 진행도와 진행 방향을 정확히 분석하여 균열이 발생할 위치와 균열의 형태에 따른 균열의 원인을 파악하고 미리 대처 할 수 있는 지능적인 균열 검출 및 분석 방법에 대해 연구할 것이다.

참고문헌

- [1] 金鎮根, "콘크리트 균열의 원인," 한국콘크리트학회 학회지, 제6권4호, 1994.
- [2] 시설안전기술공단, 콘크리트 구조물의 균열평가기법 및 보수 보강 전문시방서의 개발, 1999.
- [3] 강준목, 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, 박현정, "개선된 Max-Min 신경망을 이용한 콘크리트 균열 인식," 한국컴퓨터정보학회논문지, pp.77-82, 12권, 2호, 2007.
- [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] <http://www.color21c.co.kr>

저자소개

김광백(Kwang-Baek Kim)



1999년 : 부산대학교
전자계산학과(이학박사)
1997년 ~ 현재 : 신라대학교
컴퓨터정보공학부 교수

2005년 ~ 현재 : 한국멀티미디어학회 이사 및 논문지 편집위원

2005년 ~ 현재 : 한국해양정보통신학회 학술상임이사
※ 관심분야 : Image Processing, Fuzzy Logic, Neural Networks, Medical Imaging and Biomedical System, Support Vector Machines

조재현(Jae-Hyun Cho)



1998년 부산대학교
전자계산학과(이학박사)
2001년 3월 ~ 현재 부산가톨릭대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야: 영상처리 및 컴퓨터비전, 퍼지 및 신경망, 인공시각