

논문 2015-52-11-14

명암과 움직임 정보를 이용한 포트홀 검출

(Pothole Detection using Intensity and Motion Information)

김 영 로*, 조 영 태**, 류 승 기**

(Young-Ro Kim[Ⓢ], Youngtae Jo, and Seungki Ryu)

요 약

본 논문에서는 명암과 움직임에 따른 다양한 특징점들을 이용하여 포트홀 검출하는 방법을 제안한다. 포트홀 검출 방법은 명암과 움직임에 따라 각각 분할되는 단계와 상호 특징점들의 값에 따라 검출이 결정되는 단계로 이루어진다. 명암을 이용한 분할은 히스토그램을 이용한 이진화 방법을 사용하여 포트홀과 주변 영역을 구분한다. 움직임을 이용한 분할은 먼저 움직임의 변화가 있는 영역을 구분하기 위하여 high pass filtering을 한 후 standard deviation 값을 얻는다. 그리고 도로 촬영 각도, 높이, 속도 등에 따른 움직임 크기를 조정하기 위하여 regression값으로 나눈다. 히스토그램 기반 이진화를 이용하여 이진 영상으로 만든다. 포트홀을 검출하는 결정에서는 후보 영역과 배경 영역과의 특징점들의 비교를 통해서 후보 영역이 포트홀 여부를 판단한다. 실험 결과, 제안하는 방법이 기존 포트홀 검출 방법 보다 향상된 결과를 보이고 포트홀과 유사한 형태들과 구분하는 향상된 결과를 보인다.

Abstract

In this paper, we propose a pothole detection method using various features of intensity and motion. Segmentation, decision steps of pothole detection are processed according to the values which are derived from feature characteristics. For segmentation using intensity, we use a binarization method using histogram to separate pothole region from background. For segmentation using motion, we filter using high pass filter and get standard deviation value. This value is divided by regression value according to camera environment such as photographing angle, height, velocity, etc. We get binary image by histogram based binarization. For decision, candidate regions are decided whether pothole or not using comparison of candidate and background's features. Experimental results show that our proposed pothole detection method has better results than existing methods and good performance in discrimination between pothole and similar patterns.

Keywords : intensity, motion, feature, pothole, detection.

* 평생회원, 명지전문대학 컴퓨터정보과
(Dept. of Computer Science and Information,
Myongji College)

** 정회원, 한국건설기술연구원 도로교통연구실
(Korea Institute of Civil Engineering and Building
Technology)

※ 본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(포트홀-프리 스마트 품질단말장비 개발, 2015-0163)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: foryoung@mail.mjc.ac.kr)

Received : September 11, 2015 Revised : September 30, 2015

Accepted : October 29, 2015

I. 서 론

포트홀과 크랙은 도로에서 기후 환경, 교통량, 차량, 도로포장 등의 특성에 따라 다양하게 발생한다. 포트홀과 크랙은 아스팔트 도로의 구조적인 결함을 알리는 중요한 단서이다. 따라서 포트홀 및 크랙을 신뢰할 수 있고 효과적으로 검출이 필요하다.

최근 포트홀을 검출하는 다양한 방법들이 제안되었

다. 진동^[1], 3D 복원^[2], 그리고 영상^[3~7]을 기반으로 한 방법들이 있다. 진동을 이용한 방법은 검출하기 위한 직접적인 접촉과 도로 연결 부위 등의 잘못된 검출 등으로 인하여 신뢰할 수 있는 접근 방법이 될 수 없다. 3D 복원 방법은 고비용의 레이저 스캐너를 사용하기 때문에 효율적이지 못하다. 영상 기반 방법은 영상을 획득하여 분석함으로써 포트홀을 검출한다. 이 방법은 잡음 등으로 인한 왜곡된 신호에 따라 정확한 검출을 하기 어려울 수 있다. 통합 알고리즘 및 형상학 필터를 이용한 크랙 검출 방법은 시멘트와 같은 단순 배경일 경우에만 효과적으로 크랙을 검출할 수 있는 단점이 있다. 영상에서 특징점 기반으로 포트홀 검출하는 방법^[8]이 최근 제안되었다. 이 방법은 2D 영상에서 다양한 특징점을 추출하여 검출에 사용함으로써 향상된 검출 효과를 보였다. 그러나 2D 영상에서의 특징점으로 구분할 수 없는 포트홀 유사 형태를 가진 영역인 경우 잘못 검출하는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 명암과 움직임에서 있는 다양한 특징점들을 이용하여 포트홀 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 분할, 결정 단계로 나뉜다. 각 단계들은 특징점들의 특성에 따라 추출된 값들에 의해 처리된다. 분할 단계에서는 명암 분할 단계와 움직임 분할 단계로 이루어진다. 명암을 이용하여 히스토그램을 이용한 이진화 방법으로 포트홀 검출을 위한 어두운 영역을 추출한다. 움직임 분할 단계는 연속적인 두 영상에서 얻은 움직임에서 변화가 많은 부분을 추출함으로써 포트홀 영역을 구분할 수 있도록 한다. 먼저 움직임 벡터를 high pass filtering한 후 standard deviation 값을 구한다. 촬영각도에 따른 움직임의 크기가 다를 수 있으므로 regression 방법을 사용한다. standard deviation 값을 regression 값으로 나누어 얻은 값을 modified histogram shaped thresholding 방법^[3], Otsu 방법^[11, 14], maximum entropy^[13] 방법을 이용하여 이진 영상으로 만든다.

마지막 결정 단계에서는 각 분할단계에서 얻어진 후보 영역과 배경 영역과의 상호 특징점들의 비교를 통해서 후보 영역이 포트홀 여부를 판단한다. 기존의 방법들과 비교하여 명암과 움직임에 따른 새로운 특징점들을 이용함으로써 신뢰할 수 있는 포트홀 검출 알고리즘을 제안한다.

II. 기존 포트홀 검출 알고리즘

영상을 기반으로 포트홀 검출하는 기존 방법은 타원 모양, 포트홀 내부가 주변 보다 거친 텍스처를 가지는 등 다양한 특징점들을 이용하여 검출한다.

기존 영상 기반으로 포트홀 검출하는 방법은 Koch 방법^[3]과 Kim 방법^[8] 등이 있다.

Koch 검출 방법^[3]은 크게 3 단계로 나뉜다. 첫 번째 단계로, 이진 영상으로 만드는 영상 분할이 있다. 칼라 영상을 그레이 영상으로 만들고 미디언 필터링을 이용하여 잡음을 제거한다. 그리고 Histogram shape-based thresholding 방법^[3, 10]을 이용하여 이진 영상으로 분할한다. 이때 영상 분할은 다음 식과 같이 포트홀의 포함될 수 있는 영역과 배경 영역으로 나눌 수 있다.

$$B_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } I_{i,j} < T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $B_{i,j}$ 는 분할된 이진 영상의 화소값을 나타내며, $I_{i,j}$, T 는 각각 입력 영상의 화소값, histogram shape-based thresholding 방법의 임계값을 나타낸다. 이밖에도 이진 영상을 만드는 방법들에는 maximum entropy^[13], Otsu^[11, 14] 등이 있다. 두 번째 단계로, 이진 영상에서 모양을 추출한다. 이때 직선 모양, 영상 외곽에 붙어 있는 영역 등의 특성들을 가지고 있는 영역들은 제거한다. 또한 포트홀이 타원형의 형태를 가진다고 가정하고 완전한 타원형을 가지지 못하고 일부 그림자만 가진 포트홀로 의심되는 영역은 타원형 형태의 영역으로 만든다. 이를 위하여 형태학 필터를 이용한 세션화와 타원형 피팅 방법을 사용한다.

다음과 같이 전 단계에서 포트홀로 가정되는 영역과 배경영역과의 표준편차를 비교하여 검출한다.

$$R_{i,j} = \begin{cases} \text{pothole} & \text{if } Std_e > Std_b \\ \text{no pothole} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $R_{i,j}$ 는 영역 R 의 내부 영역 i,j 위치의 화소를 의미하며, Std_e , Std_b 는 각각 추출된 영역의 표준편차, 배경 영역의 표준편차를 의미한다. 기존 방법^[3]에서는 표준 편차의 비교를 더욱 두드러지게 하기 위하여 Leung-Malik^[12], Schmid^[13] 등의 spot filter를 적용한 결과 영상의 표준 편차를 포함하여 비교한다.

그러나 기존 제안한 검출 방법의 특성들만으로 실제

도로에서 생기는 다양한 포트홀의 검출을 할 수 없다. 포트홀을 타원형으로만 가정하는 것은 잘못된 검출을 가져올 수 있으며 포트홀 내부 영역이 주변 배경 영역보다 표준 편차가 크다는 가정은 잘못된 결과를 얻을 수 있다. 따라서 제안한 방법은 주변 영역과 포트홀로 추정되는 영역의 다양한 특징점들을 비교함으로써 보다 정확한 검출을 할 수 있도록 한다.

Kim 검출 방법^[8]은 영상을 분할하고, 영상정보를 이용하여 특징점(feature)들을 추출하고, 이에 따라 분할된 영역들을 비교하여 후보 영역에서 검출하고자 하는 포트홀 영역을 판단하는 영상 정보를 이용한 포트홀 검출 방법을 제안하였다.

특징점 기반 포트홀 검출 방법은 입력 영상을 경계가 있는 영역들로 나누는 분할(Segmentation)부, 특징점들을 이용하여 후보 영역을 정하는 후보(Candidate)부, 특징점 정보에 따라 후보 영역과 주변 영역을 비교하여 포트홀 영역 검출하는 결정(Decision)부로 나뉜다. 분할(Segmentation)부, 후보(Candidate)부, 결정(Decision)부 등 각 부들이 동작하기 전에 필요한 파라미터들을 초기화한다.

분할부는 입력영상의 히스토그램을 이용하여 이진영상을 만들어 포트홀과 주변 영역을 분할할 수 있도록 한다. 이때 이진 영상을 생성하기 위하여 histogram shaped thresholding 방법을 이용하여 이진 영상으로 만든다.

후보부는 분할부에서 얻은 이진 영상에서 포트홀로 추정되는 후보 영역을 추출한다. 후보부에서 먼저 잡음을 제거하기 위하여 미디언 필터 등을 사용한다.

$$M_{i,j} = \text{Median}(I_{i,j}) \quad (3)$$

그 다음 형태학(morphology) 필터의 닫힘(closing) 연산을 이용하여 영역의 윤곽의 손상된 부분을 복원하고 조각 부분을 제거한다.

$$M'_{i,j} = M_{i,j} \cdot SE \quad (4)$$

여기서 SE는 structure element를 의미하며, \cdot 는 닫힘(closing) 연산을 나타낸다. 닫힘 연산은 팽창(dilation), 침식(erosion) 연산으로 이루어진다. 그 다음 size, compactness, linearity, 등 특징점들을 이용하여 후보 영역을 추출한다.

$$C = \begin{cases} 1, & \text{if } S(M'_{i,j}) > T_s \text{ and } C(M'_{i,j}) > T_c \text{ and etc.} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 T_s, T_c , 는 각각 size, compactness의 임계값을 나타낸다. 다양한 후보 영역을 추출하기 위하여 다양한 특징점들을 추가할 수 있다. 포트홀 영상의 형태를 구분하기 위해서는 이에 따른 특징점들을 이용하여 포트홀의 후보 영역을 구해야 한다. 위와 같이 후보들을 구하고 정확한 포트홀 영역을 검출하기 위하여 후보영역을 개선(refinement)한다. 완전하지 않은 영역은 다음 수식에 따라 판단하여 convex hull 연산을 함으로써 개선된 후보 영역을 얻는다.

$$C' = \begin{cases} \text{result of convex hull operation, if } \text{Con}(C_{ij}) > T_{con} \text{ and } C_c \in C \text{ and } C(C_{ij}) > T_c \text{ and etc.} \\ C, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 T_{con}, T_c 는 각각 convexity, compactness의 임계값을 나타내고, C_c 은 center position을 나타낸다. 그림 3에서와 같이 특징점들을 이용하여 후보영역을 개선하여 포트홀과 더욱 유사한 개선된 후보 영역을 만든다.

결정부는 후보부에서 최종 얻은 개선된 후보영역과 주변 영역과 비교를 하여 포트홀인지 아닌지 판단한다. 이때 판단하기 위하여 표준편차(standard deviation), 히스토그램 등의 특징점들을 사용한다. 히스토그램 교차 방법은 영상의 유사도를 측정하는 방법이다. 그러나 잡음, 밝기의 변화에 문제가 발생하나 정렬된 히스토그램 교차 방법을 사용하면 이와 같은 변화를 해결하고 유사도를 측정할 수 있다. 따라서 포트홀 검출에 적용함으로써 주변 영역과 후보 영역의 유사함을 판단할 수 있다.

$$OHI(h, h') = \sum_i^n \min(oh_i, oh'_i) \quad (7)$$

여기서 oh_i, oh'_i 는 각각 후보 영역과 주변 영역의 정렬된 히스토그램을 나타낸다. 다음 수식과 같이 표준 편차가 임계치보다 작거나, 후보영역과 배경영역 간의 화소 값들의 정렬된 히스토그램 교차값이 1에 가까우면 후보 영역은 배경 영역과 유사하므로 포트홀이 아니라고 판단한다. 또한 소벨 연산을 통한 값들을 이용하여 정렬된 히스토그램 교차값도 1에 가까우면 후보 영역과 배경 영역이 유사하다고 판단하여 포트홀이 아니라고

$$P = \begin{cases} non-pothole\ region, & \text{if } Std_c' < T_{std} \text{ or } (OHI(h'_c, h'_n) > T_o \text{ and } OHI(h'_c, h'_n) > T_o) \\ & \text{and } (Outregion_{std} - Innerregion_{std}) < T_{std}' \\ & \text{and } (Outregion_{ave} - Innerregion_{ave}) > T_{ave} \\ pothole\ region, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

판단한다.

식 8에서 Std_c' 는 개선된 후보 영역의 표준편차를 나타낸다. 그리고 T_{std} , T_o , T_o' 는 각각 표준편차, 정렬된 히스토그램 교차에 대한 임계치, 소벨 연산 값들에 대한 정렬된 히스토그램 교차의 임계치를 나타낸다. 또한 $Outregion_{std}$, $Innerregion_{std}$ 는 개선된 후보영역의 외곽과 내부의 표준편차를 각각 의미한다. $Outregion_{ave}$, $Innerregion_{ave}$ 는 각각 개선된 후보영역의 외곽과 내부의 평균을 의미한다.

III. 제안하는 검출 방법

본 절에서 명암과 움직임 정보에서 얻은 특징점들을 사용하여 포트홀 검출하는 방법을 제안한다. 영상을 명암과 움직임에 따라 분할하고, 특징점(feature)들을 추출하고, 이에 따라 상호 분할된 영역들을 비교하여 후보 영역에서 검출하고자 하는 포트홀 영역을 판단하는 포트홀 검출 방법을 제안한다.

본 논문에서 그림 1과 같이 명암과 움직임 정보 기반 포트홀 검출 방법은 입력 영상을 명암과 움직임으로 각각 경계가 있는 영역들로 나누는 명암을 이용한 분할(Segmentation using intensity)부, 움직임을 이용한 분할(Segmentation using motion)부, 특징점 정보에 따라 후보 영역과 주변 영역을 비교하여 포트홀 영역 검출하

는 결정부로 이루어진다.

명암을 이용한 분할부의 입력으로는 동영상에서 연속된 두 영상 중의 하나의 영상을 선택한다. 움직임을 이용한 분할부의 입력으로는 동영상에서 움직임을 구하기 위하여 최소한 연속된 두 영상을 선택한다. 입력 영상 화소의 최대값은 화소의 비트수에 따라 설정한다. 따라서, 8비트일 경우, 255 설정한다. 각각 분할 부의 결과 영상들은 이진 영상들로 화소의 비트수는 1이고 값은 0과 1로 결정된다.

명암을 이용한 분할부는 하나의 입력영상의 히스토그램을 이용하여 이진영상을 만들어 포트홀과 주변 영역을 분할할 수 있도록 한다. 이때 이진 영상을 생성하기 위하여 histogram shaped thresholding 방법, Otsu 방법, maximum entropy 방법 등을 이용할 수 있다. 다음 식과 도 2와 같이 입력 영상을 받아 이진 영상으로 만든다.

$$S_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } I_{i,j} < T_h \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

여기서 $S_{i,j}$ 는 분할된 이진 영상의 화소값을 나타내며, $I_{i,j}$, T_h 은 각각 입력 영상, 이진 영상을 위하여 사용하는 히스토그램 임계값을 나타낸다.

움직임을 이용한 분할부는 입력된 연속된 두 영상에서 먼저 optical flow 방법^[9]을 이용하여 화소 단위의 움직임을 구한다. 움직임의 변화가 있는 영역을 구분하기

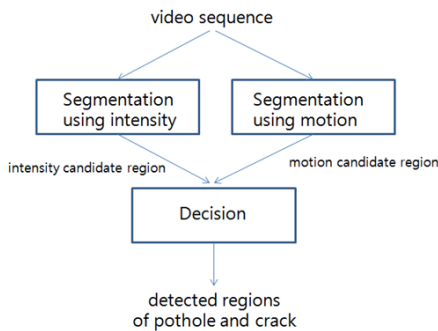


그림 1. 제안하는 포트홀 검출 방법.
Fig. 1. Proposed pothole detection method.

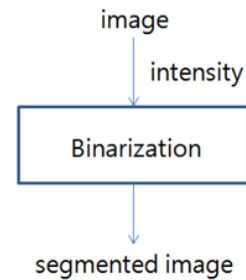


그림 2. 명암을 이용한 분할부.
Fig. 2. Segmentation part using intensity.

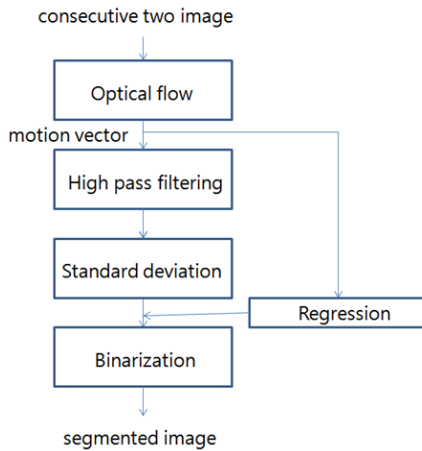


그림 3. 움직임을 이용한 분할부.
Fig. 3. Segmentation part using motion.

위하여 high pass filtering을 한 후 standard deviation 값을 얻는다. 이때 도로의 촬영각도에 따른 움직임의 크기가 다를 수 있으므로 regression 방법을 사용한다. standard deviation 값을 regression 값으로 나누어 얻은 값을 modified histogram shaped thresholding 방법, Otsu 방법, maximum entropy 방법 등을 이용하여 다음 식과 그림 3과 같이 이진 영상으로 만든다.

$$S'_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{if } I'_{i,j} > T'_h \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $S'_{i,j}$ 는 분할된 움직임 이진 영상의 화소값을 나타내며, $I'_{i,j}$, T'_h 은 각각 움직임 표준편차 결과를 regression 값으로 나누어 얻은 영상, 이진 영상을 위하여 사용하는 히스토그램 임계값을 나타낸다. 다음과 같이 분할된 영역을 미디언 필터링, 형태학 필터링 방법 등을 이용하여 잡음 제거 및 특정 크기의 영역 이상으로 분할한다.

$$M_{i,j} = \text{Median}(S'_{i,j}) \quad (11)$$

결정부는 그림 4와 같이 명암, 움직임 정보를 이용하여 분할된 영역들을 이용하여 생긴 후보영역들과 주변영역들에서 명암, 움직임 특징점 들을 상호 이용하여 포트홀 및 크랙인지 아닌지 판단한다.

판단하기 위하여 영역의 크기, 영역간 포함 갯수 등의 특징점들을 사용한다. 본 방법에서는 명암 및 움직임 정보에서 구한 특징점들을 사용함으로써 기존 방법

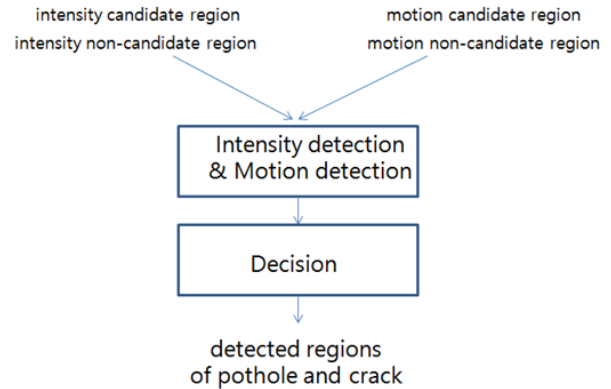


그림 4. 명암과 움직임 특징점들을 이용한 결정부.
Fig. 4. Decision part using features of intensity and motion.

들이 그림자, 얼룩, 패치 등과 같이 포트홀 및 크랙과 구분하지 못한 것을 해결한다. 움직임 정보를 이용한 방법은 두 영상의 화소간 움직임을 측정하여 포트홀과 크랙과 같이 주변 영역에 비하여 움직임의 변화가 있는 영역을 감지하는 것이다. 그림자, 얼룩 등은 명암의 차이는 많이 있을 수 있지만 움직임의 변화는 거의 없다. Intensity detection은 다음 식과 그림 5와 같이 명암에서 얻은 후보 영역의 크기와 이 명암 후보 영역이 움직임 후보 영역에 포함되는 갯수를 이용하여 검출 결과를 얻는다.

$$D = \begin{cases} 1, & \text{if } C > Tr \text{ and } \frac{C'}{C} > T'r \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

여기서 D 는 명암 후보 영역에서 검출된 결과를 나타낸다. C 는 후보 영역의 화소 수, Tr 은 검출하고자 하는 영역의 크기에 대한 임계치를 나타내고, C' 는 움직임 후

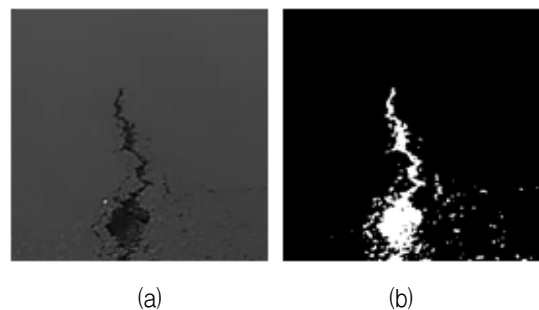


그림 5. 명암을 이용한 분할부에서 세부 단계별 영상, (a) 원영상, (b) 이진 분할 영상.
Fig. 5. Step images of segmentation part using intensity, (a) original image, (b) segmented binary image.

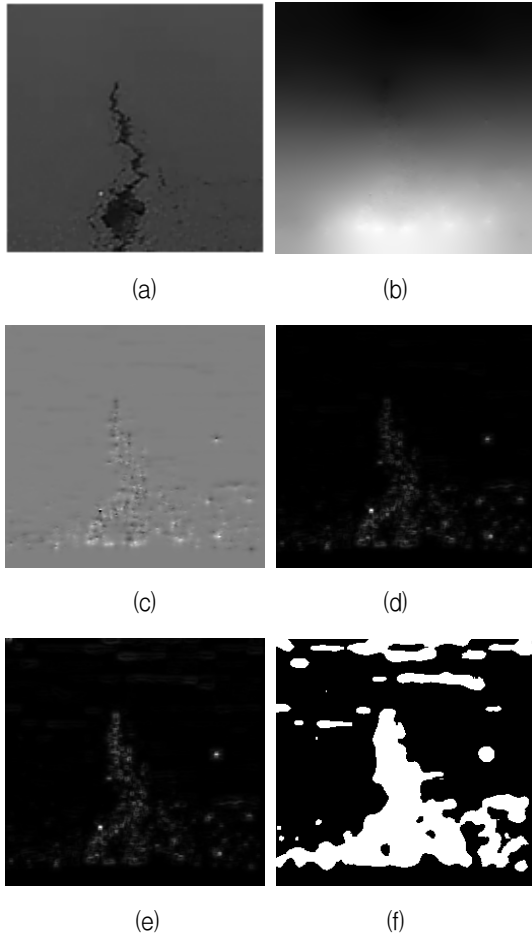


그림 6. 움직임을 이용한 분할부에서 세부 단계별 영상, (a) 원영상, (b) 움직임 영상, (c) high pass filtering 영상, (d) standard deviation 영상, (e) regression으로 나눈 영상, (f) 이진 분할 영상.
 Fig. 6. Step images of segmentation part using motion, (a) original image, (b) motion image, (c) high pass filtered image, (d) standard deviation image, (e) regression image, (f) segmented binary image.

보 영역에 포함된 명암 후보 영역의 화소 수, Tr 는 명암 후보 영역 화소가 전체 크기에 대한 움직임 후보 영역에 포함되어 있는 명암 후보 화소에 대한 임계치를 나타낸다.

Motion detection은 다음 식과 그림 6과 같이 명암에서 얻은 후보 영역의 크기와 이 명암 후보 영역이 움직임 후보 영역에 포함되는 갯수를 이용하여 검출 결과를 얻는다.

$$M = \begin{cases} 1, & \text{if } C'' > Tr \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

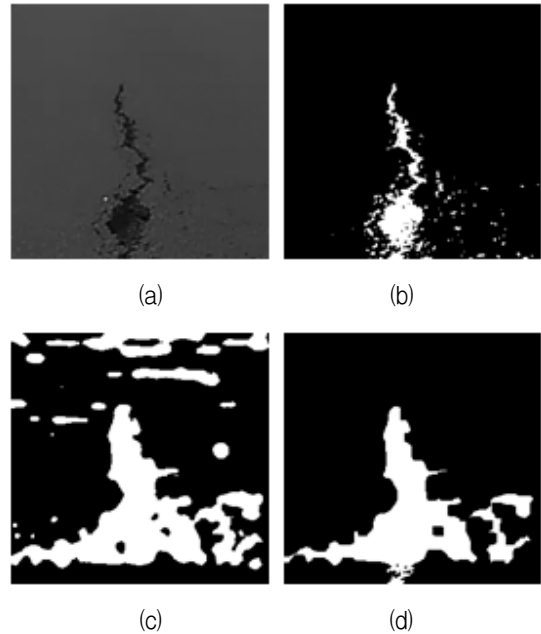


그림 7. 제안하는 알고리즘의 각 단계별 결과 영상, (a) 원영상, (b) 명암을 이용한 분할 영상, (c) 움직임을 이용한 분할 영상, (d) 결정 영상
 Fig. 7. Step images of proposed algorithm, (a) original image, (b) segmented image using intensity, (c) segmented image using motion, (d) decision image.

여기서 M 은 움직임 후보 영역에서 검출된 결과를 나타낸다. C'' 는 움직임 후보 영역에 포함된 명암 후보 영역의 화소 수, Tr 는 명암 후보 영역 화소가 움직임 후보 영역에 포함되어 검출하고자 하는 포트홀 및 크랙의 크기에 대한 임계치를 나타낸다. 그림 6(c)와 그림 6(d)에서와 보이는 바와 같이 포트홀 영역에서 움직임의 변화에 따라 고주파 성분과 이에 따른 표준 편차가 높게 나타남을 알 수 있다.

명암 및 움직임 정보에 따라 구분된 영역에서 특징점들을 이용하여 얻은 각각의 검출 영역들을 가지고 다음과 식과 그림 7(d)와 같이 최종 검출 결과를 얻는다.

$$F = \begin{cases} \text{pothole and crack region,} & \text{if } D == 1 \text{ or } M == 1 \\ \text{non - pothole and non - crack region,} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

IV. 실험결과

제안하는 알고리즘 포트홀 검출 결과와 기존 알고리즘 Koch^[3], Kim^[8]과의 검출 성능을 비교하기 위하여 포

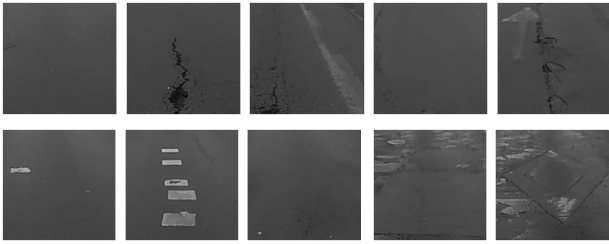


그림 8. 실험 영상.
Fig. 8. Test images.

트홀을 포함한 아스팔트 영상들과 포함하지 않은 아스팔트 영상들을 테스트 영상들로 사용하였다. 도로에서 촬영속도는 시속 40km 이하 100개, 시속 40km 초과 100개를 테스트 영상으로 획득하였다. 그림 8은 실험에 사용하는 테스트 영상들 중에서 10개의 일부 영상을 보여준다. 제안하는 명암과 움직임 정보를 이용한 포트홀 검출 알고리즘의 각 임계치는 실험적으로 가장 적합하게 다양한 포트홀과 유사 형태를 비교하여 구별할 수 있도록 값을 정하였다.

다음 그림 9는 실험 영상에서 제안하는 알고리즘으로 포트홀을 검출한 결과를 나타낸다.

그림 9에서 보이는 바와 같이 제안하는 알고리즘은 명암과 움직임 정보에서 구한 특징점들을 이용하여 대부분 정확히 포트홀을 검출하는 것을 알 수 있다. 아스



그림 9. 포트홀 검출 영상.
Fig. 9. Pothole detected images.

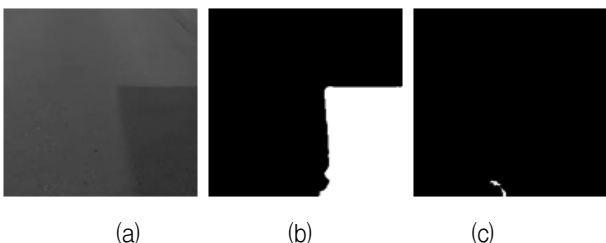


그림 10. 포트홀 검출 결과. (a) 원영상, (b) 기존 방법^[3], (c) 제안하는 방법.
Fig. 10. Results of pothole detection. (a) original image, (b) existing method^[3], (c) proposed method.

팔트 도로에서 횡단 보도 표시와 그림자가 겹치는 위치에서 포트홀을 잘못 검출하는 결과를 보였으나 추후 결정부에 해당하는 특징점을 추가하여 제거할 수 있다. 다음 그림 10과 같이 일반적인 그림자 영상은 기존 알고리즘에서는 포트홀로 검출하나 제안하는 알고리즘은 포트홀로 검출하지 않는다.

그림 10에서 그림자를 나타내는 영역은 기존 방법^[3]에서는 실제 포트홀이 아니고 그림자인 영역이 어두우며 배경 영역보다 큰 표준 편차를 가지므로, 이 영역을 포트홀로 판정하여 검출하는 오류를 갖게 된다. 제안하는 방법은 그림 11에서 보이는 바와 같이 그림자에서

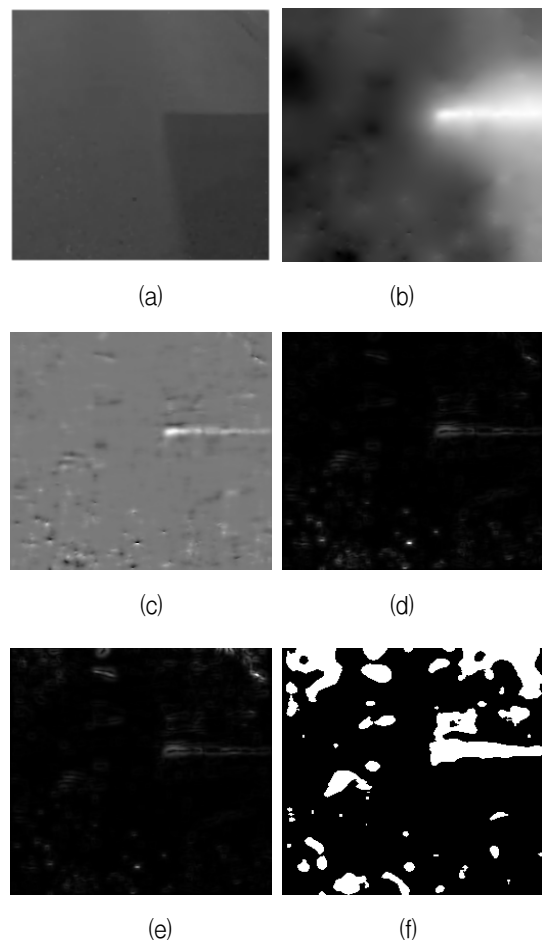


그림 11. 그림자 포함 영상 움직임 분할 결과. (a) 원영상, (b) 움직임 영상, (c) high pass filtering 영상, (d) standard deviation 영상, (e) regression으로 나눈 영상, (f) 이진 분할 영상.
Fig. 11. Segmentation result of motion in image including shadow. (a) original image, (b) motion image, (c) high pass filtered image, (d) standard deviation image, (e) regression image, (f) segmented binary image.

표 1. 포트홀 검출 결과.(시속 40 km 이하)
Table 1. Pothole detection results. (under 40km/h)

no. of image	pothole	non-pothole
1~10	1	0
11~20	1	1
21~30	0	4
31~40	3	2
41~50	2	2
51~60	0	5
61~70	0	5
71~80	3	1
81~90	0	2
91~100	1	2

no. of image	Koch's method [3]				Kim's method [8]				proposed method			
	TP	FP	TN	FN	TP	FP	TN	FN	TP	FP	TN	FN
1~10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
11~20	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
21~30	0	0	4	0	0	0	4	0	0	0	4	0
31~40	2	0	2	1	2	0	2	1	3	0	2	0
41~50	0	0	2	2	0	1	1	2	2	0	2	0
51~60	0	1	4	0	0	0	5	0	0	0	5	0
61~70	0	1	4	0	0	0	5	0	0	2	3	0
71~80	0	1	0	2	0	0	1	2	2	0	0	1
81~90	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0
91~100	1	1	1	0	0	0	2	1	1	0	2	0

움직임의 변화가 적고 이에 따라 해당 영역의 움직임 표준 편차가 작게 나타난다. 따라서 이진화하면 그림 11(e)와 같은 결과를 얻는다.

수식 11~13에서 보이는 바와 같이 명암과 움직임 정보에서 얻은 분할된 영역들과 특징점들을 이용하여 정확한 포트홀 검출을 보인다. 다음 표 1과 표 2는 속도에 따른 각 실험 영상의 포함하는 포트홀 개수, 특징과 검출 결과를 나타낸다. non-pothole은 얼룩, 패치, 크랙과 같은 형태를 의미한다. 기존 방법 Koch 방법^[3]과 Kim 방법^[8]은 비교하기 위하여 영역 분할과 후보 영역 추출하는 부분은 동일한 조건으로 적용하였다.

정확한 검출 성능을 나타내기 위하여 다음과 같이 검출 결과 영상에서 해당 개수를 구한다.

- TP(True Positive): 정확하게 포트홀인 것을 검출
- FP(False Positive): 잘못하여 포트홀로 검출(포트홀 아닌 것을 포트홀로 판단)
- TN(True Negative): 정확하게 미검출(포트홀 아닌 것을 아닌 것으로 판단)
- FN(False Negative): 잘못하여 미검출(포트홀인 것을 아닌 것으로 판단)

표 2. 포트홀 검출 결과. (시속 40 km 초과)
Table 2. Pothole detection results. (above 40km/h)

no. of image	pothole	non-pothole
1~10	0	2
11~20	0	2
21~30	0	2
31~40	0	3
41~50	0	1
51~60	0	3
61~70	0	2
71~80	0	4
81~90	0	1
91~100	1	2

no. of image	Koch's method [3]				Kim's method [8]				proposed method			
	TP	FP	TN	FN	TP	FP	TN	FN	TP	FP	TN	FN
1~10	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0
11~20	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0
21~30	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0
31~40	0	2	1	0	0	0	3	0	0	0	3	0
41~50	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
51~60	0	2	1	0	0	0	3	0	0	0	3	0
61~70	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0
71~80	0	1	3	0	0	1	3	0	0	0	4	0
81~90	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
91~100	0	0	2	1	0	0	2	1	1	0	2	0

다음 표 3은 실험 영상 200개의 기존 방법 Koch 방법^[3], Kim 방법^[8]과 제안하는 방법의 검출 성능을 나타낸다.

여기서 accuracy는 $((TP+TN)/(TP+FP+TN+FN))$ 을 의미하고, precision은 $(TP/(TP+FP))$ 을, recall은 $(TP/(TP+FN))$ 을 나타낸다. Accuracy는 전체적으로 포트홀이든 비슷한 영역이든 정확하게 구분되는 것을 나타낸다. Precision은 포트홀로 검출한 것 중에서 실제 포트홀일 확률을 의미한다. Recall은 포트홀 중에서 포트홀로 검출된 확률을 나타낸다. 표 3에서 보이는 바와 같이 기존 알고리즘과 비교하여 포트홀을 정확하게 검출하는 것을 알 수 있다. 특히 포트홀과 유사형태 즉 그림자나 패치일 경우

표 3. 총 포트홀 검출 결과. (테스트 영상 200개)
Table 3. Total pothole detection results. (200 test images)

	Koch's method [3]	Kim's method [8]	Proposed method
Total TP	4	2	10
Total FP	17	2	2
Total TN	29	44	43
Total FN	7	9	2
Accuracy	57.9 %	80.7 %	92.2 %
Precision	19.5 %	50.0 %	83.3 %
Recall	36.4 %	18.2 %	83.3 %

기존 알고리즘의 특징점은 표준편차로는 구별할 수 없다. 그러나 제안하는 알고리즘은 명암과 움직임 정보에서 후보 영역의 크기, 편차 등 상호 특징점들을 사용함으로써 보다 정확하게 포트홀을 검출할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서 명암과 움직임 정보를 이용하여 다양한 특징점들을 사용함으로써 포트홀 검출하는 방법을 제안하였다. 기존 알고리즘은 표준 편차와 같은 단순한 특징점을 이용하여 포트홀과 유사 형태를 구별하지 못한다. 그러나 제안하는 알고리즘에서는 명암과 움직임에서 다양한 특징점들을 이용하여 정확하게 구별하여 포트홀을 검출한다.

제안하는 포트홀 검출에서의 분할, 결정 단계들은 특징점 들의 특성에 따라 추출된 값들에 의해 처리된다. 실험 결과, 제안하는 방법이 기존 포트홀 검출 방법 보다 향상된 결과를 보이고 포트홀과 유사한 그림자, 패치, 등의 형태들과 구분하는 향상된 결과를 보인다. 또한 포트홀로 진행될 수 있는 크랙도 검출할 수 있는 성능을 보인다.

REFERENCES

- [1] J. Eriksson, L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden, H. Balakrishna, "The pothole patrol: using a mobile sensor network for road surface monitoring," Proceeding of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services, pp. 29-39, 2008.
- [2] K. T. Chang, J. R. Chang, and J. K. Liu, "Detection of pavement distresses using 3D laser scanning technology," Computing in Civil Engineering, pp. 1-11, 2005.
- [3] C. Koch and I. Brilakis, "Pothole detection in asphalt pavement image," Advanced Engineering Informatics, vol. 25, no. 3, pp. 507-515, 2011.
- [4] Y. Fujita, Y. Mitani, and Y. Hamamoto, "A method for crack detection on a concrete structure," ICPR'06, Hon Kong, pp. 901-904, Aug. 2006.
- [5] S. Iyer and S. K. Sinha, "A robust approach for automatic detection and segmentation of cracks in underground pipeline images," Image and

- Vision Computing, vol. 23, pp. 921-933, 2005.
- [6] Salembier, P, "Comparison of some morphological segmentation algorithms based on contrast enhancement. Application to automatic defect detection," Proc. of the EUSIPCO-90 Fifth European Signal Processing Conference, pp. 833-836, 1990.
- [7] R. S. Adhikari, O. Moselhi, and A. Bagchi, "Image-based retrieval of concrete crack properties," Journal of the International Society for Geotechnology, vol. 11, no. 2, pp. 315-321, 2012.
- [8] Y. -R. Kim, T. Kim, and S. -K. Ryu, "Pothole Detection Method in Asphalt Pavement," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 51, no. 10, pp. 248-255, 2014.
- [9] E. M, J. S, and D. K, "Horn-Schunck optical flow with a multi-scale strategy," Image Processing On Line, vol. 3, pp. 151-172, 2013.
- [10] G. W. Zack, W. E. Rogers, and S. A. Latt, "Automatic measurement of sister chromatid exchange frequency," J. Histochem. Cytochem. vol. 25, no. 7, pp. 741-753, 1977
- [11] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979.
- [12] T. Leung and J. Malik, "Representing and recognizing the visual appearance of materials using three-dimensional textons," Int. J. Comput. Vision, vol. 43, pp. 29-44, 2001
- [13] C. Schmid, "Constructing models for content-based image retrieval," in Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2, pp. 39-45, 2001
- [14] J. -M. Sung, H. -G. Ha, and B. -Y. Choi, "Image thresholding based on within-class standard deviation," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 50, no. 7, pp. 1844-1852, 2013.

저 자 소 개



김 영 로(평생회원)
 1993년 고려대학교 전자공학과 학사
 1996년 고려대학교 전자공학과 컴퓨터공학 석사
 2001년 고려대학교 전자공학과 컴퓨터공학 박사
 2001년~2003년 삼성전자 시스템LSI 책임연구원
 2003년~현재 명지전문대학 컴퓨터정보과 교수
 <주관심분야 : 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통신>



조 영 태(정회원)
 2015년~현재 한국건설기술연구원 도로연구소 박사후연구원
 2008년~2009년 Northland Advanced Transportation Systems Research Laboratory(NATSRL) 방문연구원
 2015년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학 박사
 2011년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학 석사
 2007년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학 학사
 <주관심분야 : 지능형교통시스템, 임베디드시스템, 비전시스템, 멀티미디어 시스템>



류 승 기(정회원)
 1994년 4월~현재 한국건설기술연구원 도로교통연구실 연구위원
 1999년 2월 충북대학교 대학원 박사(전기공학)
 1992년 2월 충북대학교 대학원 석사(전기공학)
 1990년 2월 충북대학교 공과대학 전기공학과 학사
 <주관심분야 : ITS, U-city, 건설 IT 융합>