

도로면 크랙영상의 노이즈 제거 알고리즘에 관한 연구

A Study on the development of Algorithm for Removing Noise from Road Crack Image

김정렬[○] 이세준^{**} 최현하^{***} 김영석^{****} 이준복^{*****} 조문영^{*****}
Kim, Jung-Ryeol Lee, Se-Jun Choi, Hyun-Ha Kim, Young-Suk Lee, Jun-Bok Cho, Moon-Young

요약

크랙 실링 자동화 장비의 비전 시스템은 도로면의 영상을 획득하고 이를 컴퓨터로 처리하여 도로면의 랙을 탐지, 분석 및 맵핑하는 역할을 수행하는 것이다. 그러나 실제 도로에는 크랙과 함께 오일 자국, 타이어 자국, 차선, 기 실링된 크랙 등의 수많은 노이즈들을 포함하고 있기 때문에 비전 시스템을 통해 얻어진 노이즈가 포함된 도로면 영상을 기반으로 크랙을 자동으로 탐지하고 맵핑하는 것은 매우 어려우며 이러한 노이즈는 크랙의 정확한 탐지 및 맵핑의 커다란 방해 요소이기 때문에 이들의 제거가 선결되어야만 한다. 따라서 본 연구에서는 획득된 도로면 영상으로부터 크랙을 탐지하고 맵핑하기 이전에 실링되어질 크랙을 정확히 인지(recognition)하기 위한 노이즈 제거 알고리즘을 제안하고자 한다.

키워드 : 크랙 실링, 노이즈, 노이즈 제거, 비전 알고리즘

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로면 크랙실링 자동화 장비는 기존의 수작업으로 이루어지던 도로의 크랙 보수 작업을 자동화하는 장비이다. 카메라로부터 손상된 도로의 영상을 입력받을 경우 그 영상에는 크랙 이외의 부분(오일자국, 타이어 자국, 차선, 기 실링 된 크랙 등)이 필연적으로 포함되어 있으며, 자동화 장비의 구동을 위해서는 이들 노이즈를 완전히 제거하고 크랙만을 식별하는 작업이 필요하다(노이즈 제거 알고리즘). 노이즈가 제거된 영상을 바탕으로 크랙 위치에 대한 정확한 정보를 획득해야 하며, 양질의 품질을 얻기 위해 크랙의 중앙을 따라 터렛(말단장치)이 움직이며 크랙을 실링 할 수 있도록 해야 한다(크랙 탐지 및 맵핑 알고리즘). 또한, 한 화면 안에 수 개의 크랙 네트워크가 존재할 때 시간 효과적으로 크랙실링 작업을 수행하기 위해서는 실린트를 분사하는 말단장치를 효율적으로 이동시키기 위한 알고리즘 및 장비 제어가 요구된다(경로계획 알고리즘). 이러한 과정을 통해 XY테이블을 이동시키면서 실린트 펌프로부터 실린트를 공급받아 도로면의 크랙을 실링한다(Hass, 1997).

도로면 크랙실링 자동화 장비는 국내에서 아직 구체적인 연구가 수행된 바 없으며, 선진외국의 경우 이미 오래전부터 크랙 실링 공법의 효율성을 인지하고 도로면 유지보수를 위해 이를 적극 활용하고 크랙 실링을 자동화하기 위해 많은 연구노력을 기울이고 있다. 특히, 미국에서는 CMU Laboratory Prototype(1990), CMU-UT Field Prototype(1992), CalDavis Field Prototype(1993), UT Field Prototype(1995), UT ARMM(1997)등의 크랙 실링 자동화 장비를 연구·개발하여 상용화 단계에 이르고 있다(Kim, 2000). 그러나 작업영역 내의 크랙을 탐지하고 맵핑함에 있어 과다시간이 소요되었고 효율적인 크랙실링 자동화를 위한 비전 알고리즘 중 첫 단계라 할 수 있는 노이즈 제거 부분은 여전히 많은 연구가 필요한 분야로 인식되고 있다.

카메라로부터 손상된 도로의 영상을 입력받을 경우 그 영상에는 반드시 크랙이외의 부분이 포함되어 있기 마련이며, 자동화 장비의 구동을 위해서는 이들 노이즈를 완전히 제거하고 크랙만을 남기는 작업이 필수적이다. 그러나 이러한 과정을 수작업에 의존하는 것은 장비의 생산성을 저하시키는 원인이 되므로 노이즈를 자동으로 제거할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이 필요하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

크랙이란 도로 포장면이 노후화 되면서 발생하는 균열을 말하며, 도로포장 유지보수 실무편람(건설부, 1999)에 의하면 폭이 3mm이상으로 규정되어 있다. 또한 보수시공시 크랙을 폭 1.2-2cm로 절삭하도록 되어 있으며 실제시공시 2cm 정도 절삭하는 것이 통례이다. 따라서 본 연구에서는 크랙을 절삭한 이후의 상태인 폭 2cm 길이

* 일반회원, 한국건설기술연구원, 연구원
** 학생회원, 인하대학교 건축공학과, 석사과정
*** 학생회원, 홍익대학교 건축공학과, 석사과정
**** 중신회원, 인하대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
***** 중신회원, 홍익대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
***** 중신회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원
본 연구는 건설교통부 2001년 산학연 공동연구개발사업(과제번호 E-01)의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

15cm 이상인 것으로 정의하였고 그 이외의 것은 노이즈로 적용하여 노이즈 제거 알고리즘을 적용하였다.

2. 크랙 영상의 노이즈 제거

2.1 노이즈 제거의 절차

노이즈 제거의 목표는 영상을 입력받아 실링되어질 크랙을 제외한 모든 노이즈를 제거하는 것이다. 노이즈는 영상내 크랙 이외의 모든 화소(pixel)들을 의미하며 노이즈 제거 결과물은 다음의 조건을 만족해야 한다.

- 노이즈 제거 결과물의 조건

- ① 크랙 이외의 화소는 모두 삭제되어야 한다
- ② 크랙이 삭제되어서는 안된다
- ③ 각각의 크랙은 끊어지지 않아야 한다

특히, 도로면 영상의 노이즈를 제거하는 것은 단일 영상 처리 기법으로 해결할 수 있는 작업이 아니며, 다양한 기법의 적절한 활용이 필요한 작업이다. 따라서 본 연구의 노이즈 제거 알고리즘은 히스토그램 분석, 이진화의 전처리 작업과 노이즈 제거의 본 처리 작업으로 구성되어 있으며, 전처리 작업에 활용한 두 기법은 기존의 기법을 활용하였고, 본 처리 작업의 연속성검사, 밝기 검사 알고리즘은 직접 개발하였다. 그림 1은 노이즈 제거의 프로세스와 각각에 사용된 기법을 도시한 것이다.

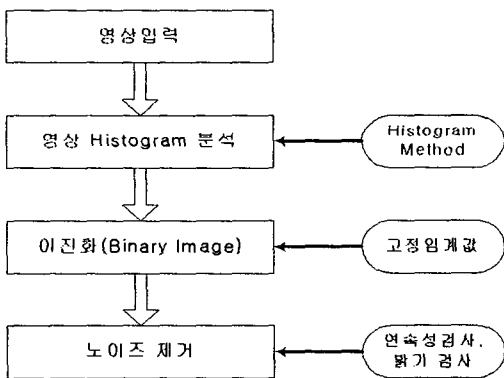


그림 1. 노이즈 제거 알고리즘의 구성

2.2 히스토그램 분석

히스토그램 분석 기법은 0-255의 명암 값 별로 픽셀의 빈도수를 그림 2와 같이 히스토그램으로 나타내어 영상의 명암도(gray scale) 등의 특성을 파악하는 기법이다. 히스토그램 $H(z)$ 는 각각의 명암도(z)에 대해 다음과 같은 불연속적인 수식과 그래프로 표시할 수 있다.

$$H(z) = \int \int [f(x, y) = z] dx dy \quad (\text{Chae, 1992})$$

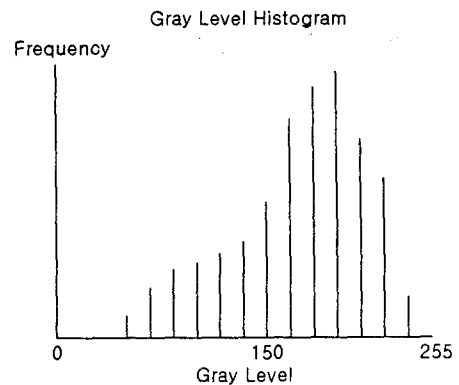


그림 2. 히스토그램

본 연구에서는 임의의 도로 영상의 이진화를 수행하고 필요한 기준 밝기 값을 결정하기 위하여 히스토그램 분석 기법을 활용하였다.

2.3 이진화(Binary Image)

이진화의 방법은 고정 임계값 처리(Thresholding), 불규칙 잡음 방법, 불규칙 패턴 방법, 최소 오차 방법, 오차 분산 방법 등이 있으나, 본 연구에서는 가장 일반적이고, 빠른 계산을 수행할 수 있는 고정 임계값 방법을 응용하였다. 이진화는 0-255의 값을 갖는 흑백 영상을 검은색과 흰색 2가지색만을 갖도록 변환하는 것이다. 일반적으로 가까운 명암 영역내의 영상 픽셀들은 같은 물체인 경우가 많으며, 이진화를 통해 같은 특성을 갖는 부분을 강조하거나 제거하여 영상을 명확하게 할 수 있다. 이것은 영상 처리 과정에서 많은 불필요한 부분이 제거된 것으로 작업 속도 역시 개선될 수 있다. 본 연구에 있어 고정 임계값은 히스토그램 분석을 통하여 산출하였으며 이를 통해 충분한 결과를 얻을 수 있었다(그림 3).

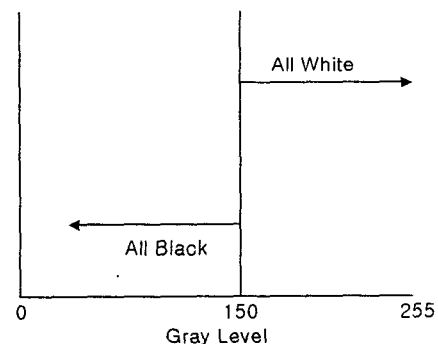


그림 3. 고정 임계값 처리

그림 4는 원 영상이며, 그림 5는 히스토그램 분석에 의한 임계값(143)으로 이진화 한 결과이다. 그림5의 좌측 상단의 히스토그램은 원 영상(그림 4)의 것이고 이진화를 수행한 임계값의 위치를 보여주고 있다. 이 과정을 통해서 차선 등의 대체로 밝은 부분들은 대부분 삭제된다. 하지만 그림 5의 좌측 하단에서 볼 수 있듯이 기름자국, 바퀴자국 등의 어두운 부분은 이진화 과정을 통해 어느 정

도 제거되기는 하지만, 완전하게 제거하기 위해서는 추가적인 노이즈를 제거하는 알고리즘이 필요하다.

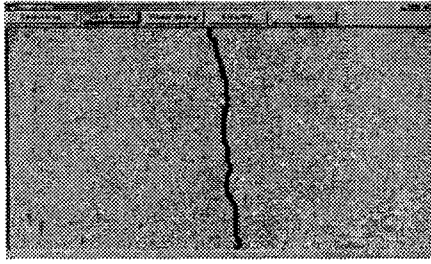


그림 4. 원 영상

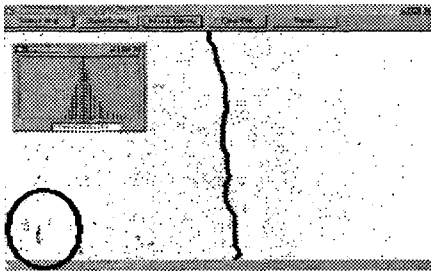


그림 5. 임계값과 이진화 결과

2.4 노이즈 제거

노이즈는 이진화 이후에 남아 있는 무의미한 점 또는 무늬를 말하며, 연속성 검사와 밝기 검사를 통해 이를 제거할 수 있었다.

2.4.1 연속성 검사

연속성 검사는 픽셀 단위의 작업으로 작업할 영상과 같은 크기의 임시 배열(array)을 정의하고, 배열의 모든 값을 모든 색을 흰색으로 설정한 후, 연속성 검사를 통해 연속성이 입증된 픽셀만을 검은색으로 표시하는 작업이다. 흰색으로 채운 임시 배열을 사용하는 이유는 원래의 영상 이미지를 이용해서 연속성 검사를 하는 경우, 연속성이 없는 것으로 판명된 픽셀들이 완전하게 처리되지 않고 점으로 남아있는 경우가 많기 때문이다. 또한, 연속성이 입증된 픽셀은 90%이상 크랙일 가능성이 많으므로 흰색의 임시 배열에는 크랙 픽셀만을 표시하게 되기 때문이기도 하다. 더욱 중요한 것으로 원 영상을 조작하게 되면, 특정 픽셀의 작업 결과가 다음 픽셀의 연속성 판단에 영향을 미칠 수 있으므로, 원 영상은 그대로 두고 연속성이 확보된 픽셀만을 임시 배열에 저장하는 방식으로 노이즈를 제거하는 것이다. 연속성 검사를 통한 노이즈 제거 과정은 다음과 같다.

이진 영상에서 흰 부분(255)은 크랙이 아니므로 먼저 픽셀이 검은 부분(0)인가를 체크하여 검은 부분만을 대상으로 연속성 검사를 수행한다. 특정 픽셀이 0이면 그 픽셀을 중심으로 X, Y축 방향으로 2칸을 조사하며 이들 각각의 합계값이 255보다 작으면 흰 부분이 없다는 뜻이며 X, Y 방향으로 끊어진 부분이 없다는 의미이다. 따라서 임시 배열의 해당하는 위치에 검은색을 할당한다.

이러한 방식으로 노이즈를 제거하면 크랙 픽셀의 손실이 약간 있으나, 연속성이 확보된 픽셀만이 남아있게 된다. 그러나 이러한 과정을 거쳐도 비교적 넓은 영역을 갖는 노이즈는 제거되지 않을 수 있으며, 이를 제거하기 위해 일정한 크기의 영역의 밝기를 검사하여 노이즈를 제거하는 과정이 필요하다(그림 6).

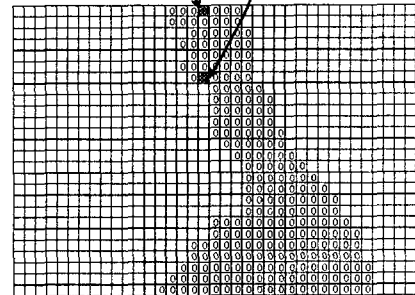
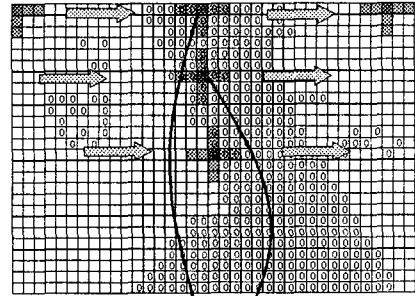


그림 6. 연속성 검사(상세)

2.4.2 밝기검사(영역검사)

일정한 크기의 박스를 이동 시켜 박스 내의 픽셀의 밝기를 검사하여 일정한 수준 이상 밝은 부분은 노이즈로 판단하고 제거한다. 이 때, 박스의 크기가 너무 크면 상세한 작업을 할 수 없으며, 크랙이 손상되기도 한다. 반면에 박스가 너무 작으면 잡음에 민감하게 되므로 신중하게 정해야 한다. 밝기 검사 과정은 그림7과 같다.

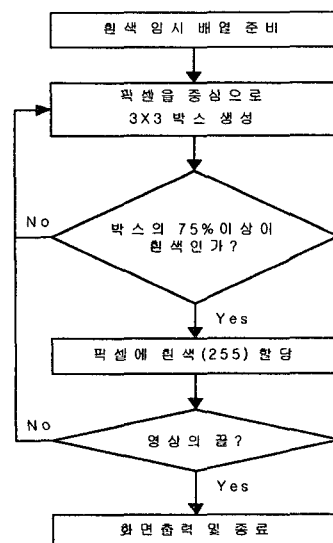


그림 7. 밝기 검사 과정

여기서 박스의 크기는 수 차례의 시험을 통해 정의하였다. 영상에서 1픽셀의 크기는 약 2.65mm이고, 절삭한 크랙의 폭이 2cm이므로 약 7픽셀이 크랙의 폭이 되므로 크기가 3픽셀일 때 가장 효과적이었다. 박스의 크기가 7픽셀보다 크다면 모든 크랙이 삭제될 가능성이 많고, 너무 작다면 노이즈가 남게 된다. 따라서 박스의 크기를 절반보다 조금 작게 하는 것이 효과적이었다. 이러한 과정을 거쳐 최종적으로 노이즈까지 제거한 노이즈 제거 최종 결과는 그림 8과 같다.

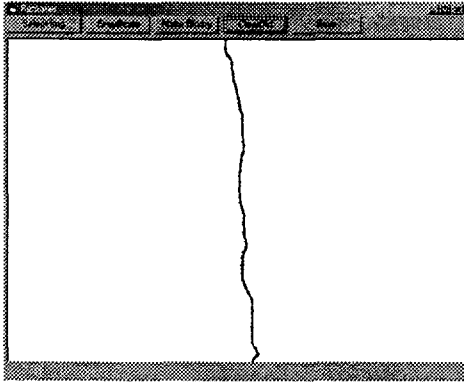


그림 8. 노이즈 제거 결과

위와 같이 크랙만을 남기고 정리된 영상은 1과 0의 ASCII 파일로 그림 9와 같다.

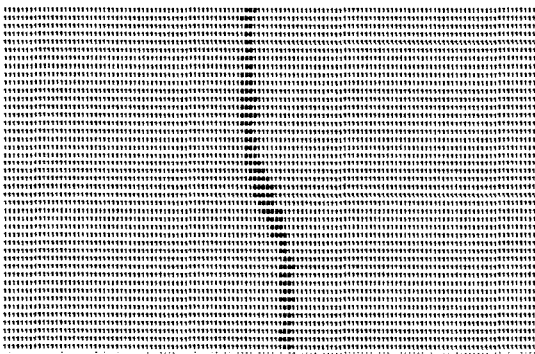


그림9. 영상 데이터(ASCII)

3. 결론

본 연구의 목표는 도로면 크랙실링 자동화 장비에 입력된 도로 영상에서 크랙을 제외한 모든 노이즈를 제거하는 알고리즘을 개발하는 것이다. 이를 위해 전처리 과정에 히스토그램 분석, 이진화 기법을 사용하였다. 노이즈를 제거하기 위하여 연속성 검사, 밝기 검사 기법을 개발하였으며, 이를 조합하여 노이즈 제거 알고리즘을 개발하였다. 향후에는 Fuzzy Set을 비롯한 인공지능 기법을 활용하여 좀더 지능적인 요소를 추가하는 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 2001년 산학연 연구과제(제안 E-01)로 수행되었으며 연구 지원에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 건교부 (1999), "도로포장 유지보수 실무편람"
2. Chae (2000), "Neuro-Fuzzy Approaches for Sanitary Sewer Pipeline Condition Assessment", ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 15, pp4-14.
3. Hass, C., Kim, Y. and Greer, R. (1997). "A Model for Image Assisted Automation of Infrastructure Maintenance," ASCE Proc., of 2nd International Conference on Image Technologies: Techniques and Applications in Civil Engineering, Davos, Switzerland, May, pp.108-117.
4. Kim, Y., Hass, C.(2000). "A Model for Infrastructure Maintenance Using Representational Forms," Journal of Automation in Construction, Vol. 10., No. 1., pp57-58.

Abstract

Machine vision algorithms, which are composed of noise elimination algorithm, crack detection and mapping algorithm, and path planning algorithm, are required for sealing crack networks effectively and automation of crack sealing.. Noise elimination algorithm is the first step so that computer take cognizance of cracks effectively. Noises should be removed because common road includes a lot of noises(mark of oil, tire, traffic lane, and sealed crack) that make it difficult the computer to acknowledge cracks accurately. The objective of this paper is to propose noise elimination algorithm, prove the efficiency of the algorithm through coding. The result of the coding is represented in this paper as well.

keywords : Crack sealing, Noise, Noise elimination, Vision algorithm