

논문 2011-2-25

CCD 카메라를 이용한 도로 붕괴 사태 검출 알고리즘

Road Slide Detection Algorithm Using CCD Camera

권영만*, 신세연*, 박영진**, 김은수***

Young-Man Kwon, Se-Yeon Shin, Young-Jin Park, Eun-Soo Kim

요 약 본 논문에서는 CCD 카메라의 영상 즉 비전만을 사용해서 도로사면 붕괴와 같은 도로 사태를 검출하는 효과적인 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 영상을 비감시영역과 감시영역으로, 감시 영역은 비도로, 경계, 도로 영역으로 구분한다. 그런 후에 움직임 블록을 정의하고, 생존시간 테이블을 사용해서 움직임의 히스토리를 기억하며, 움직임의 구성요소들이 비도로 영역에서 도로 영역까지 함께 존재하는지를 확인하여 도로 붕괴 사태를 결정하였다. 실험을 통해 제안한 알고리즘이 효과적으로 도로 사태를 검출하는 것을 확인하였다.

Abstract In this paper, we proposed the vision-based efficient algorithm for road slide detection like as destruction of road cut slope. The proposed algorithm defines the image region as non surveillance and surveillance which is further divided by road, boundary and non road region. After that, it find the moving block, remember the history of movement using the TTL(Time To Live) table, determine the road slide by checking the existence of moving blocks from non road region to road region together. We confirmed the proposed algorithm detected the road slide effectively through experiments.

Key Words : Road slide, Road cut slope, Landslide, Vision based, Time To Live

I. 서 론

현재 모든 나라에, 모든 지역에 다양한 목적으로 CCD 카메라가 설치되고 있으며, 교통 정보를 수집하거나 교통사고를 예방하기 위해서도 CCD 카메라가 많이 설치되고 있다. 이런 CCD 카메라 영상을 통해 도로 붕괴와 관련된 교통사고를 예방할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 붕괴 위험이 있는 도로 사면을 일정한 위치에 고정된 CCD 카메라의 영상만을 사용해서 도로 붕괴 사태를 검출하는 알고리즘 개발을 연구하였다.

현재 교통사고를 예방할 목적으로 산사태를 연구하는 분야는 주로 도로사면 붕괴에 관한 연구가 있다^[1]. 이 연

구에서는 CCD 카메라뿐만 아니라 지표 변위계 및 우량계, 온도 센서 등 각종 센서를 함께 사용해서 도로사면 붕괴를 검출한다.

또한, 댐이나 도로 등과 같은 대규모 구조물 주변에 발생한 산사태의 위치나 상태를 파악하는 것도 매우 중요하기 때문에 많은 연구가 있다^[2, 3, 4]. 이런 연구에서는 항공라이다(Airborne LiDAR) 측량 데이터를 사용해서 고해상도 DEM(Digital Elevation Model)을 제작한 후 이를 사용해서 지형 해석 즉 산사태 발생 가능성을 예측한다^[2]. 위성 영상과 같은 원격 센싱과 GIS 정보를 비교 분석하여 예측하는 연구도 있다^[3, 4]. 즉 이런 방식들에서는 영상만을 사용해서 산사태 발생을 예측하는 점에서는 본 연구와 관련이 있으나 고해상도 DEM 영상을 수집하는 주기가 1일, 1개월 혹은 1년과 같이 매우 길다는 특징을 가지고 있는 점은 본 연구의 대상과 다르다.

본 연구에서 개발하고자 하는 알고리즘은 일정한 위

*중신회원, 을지대학교 의료IT마케팅학과

**준회원, 소방방재청 국립방재연구소

***준회원, 광운대학교 전자공학과

접수일자: 2011.1.23, 수정일자: 2011.3.8

게재확정일자: 2011.4.15

치에 고정된 CCD 카메라를 통해 1초에도 여러 개의 영상이 수집되는 환경에서 도로 붕괴를 검출해야 한다. 이런 환경에서 영상만을 사용해서 도로 사면 붕괴와 같은 도로 붕괴를 검출하는 알고리즘에 관한 연구가 국내외에 논문으로 발표된 적이 없다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 관련연구, 3장에서는 새로운 알고리즘을 제안하고, 4장에서는 실험을 통해서 제안한 알고리즘의 타당성을 평가하며, 5장에서 결론을 기술한다.

II. 기존의 관련 연구들

1. 센서를 함께 사용한 연구

각종 센서와 CCD 카메라를 사용해서 도로 사면 붕괴를 검출하는 시스템에 관한 연구는 많이 이루어지고 있다^[1]. 이러한 시스템의 대표적인 구성을 그림 1에 나타낸다.

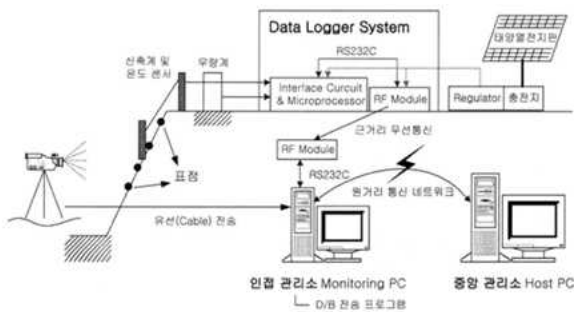


그림 1. 무인 감시 시스템
Fig. 1. Automated Monitoring System

그림 1에서 알 수 있듯이 데이터를 수집하는 부분은 지표면 신속계와 자동 우량계를 사용하였고, 신속계 측정값을 보정하기 위해서 온도 센서를 설치하는 경우도 있다. 또한 사면 현장에 설치되는 표점(지표 변위 측정 대상 Target Point) 자료를 CCD 카메라 영상으로 수집할 수 있다.

특히 본 연구와 관련이 있는 부분은 CCD 카메라에 의해 수집한 영상정보의 표점을 사용해서 정량적인 지표 변위량을 계산하고 이를 사용해서 도로 붕괴를 예측 및 검출한다. 변위량을 계산하는 방법은 영상을 흑백 영상으로 변환하고, 배경과 물체를 분리하며 몇 가지 필터와 직선화 처리과정 등을 수행한다. 최종적으로 정합 알고

리즘을 이용하여 표점의 움직임 여부를 판단하여 측정한다.

2. 원거리 센싱을 이용한 산사태 검출

고해상도 항공라이다 DEM 해석을 통한 산사태 예측 가능성을 분석한 연구가 있으며, 고해상도 DEM을 그림 2에 나타낸다. 이런 DEM을 사용하여 산사태 발생을 인지하기 위한 방법으로는 지표면의 굴곡 거칠기 (Roughness)를 사용하는 방법, 고유치 비(Eigenvalue Ratio)를 사용하는 방법 등이 있다. 특히 위의 논문에서는 산사태 발생과 밀접한 연관이 있는 경사면 구배(Slope Angle)의 공간 분포를 활용하는 방안을 제시하였다^[2].

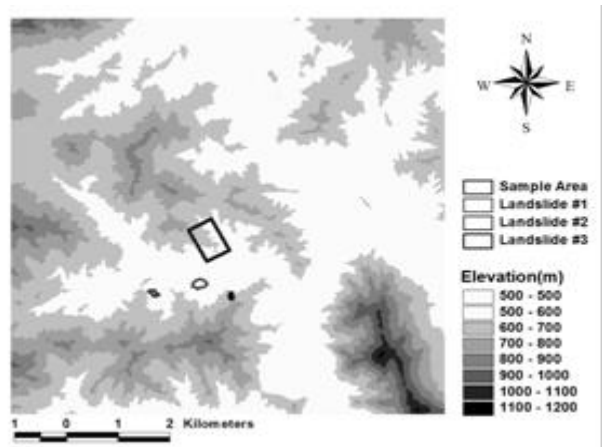


그림 2. 고해상도 DEM
Fig. 2. High resolution DEM

또한 위성이나 항공에서 촬영한 영상 즉 원거리 센싱을 통한 산사태 검출에 대한 연구가 많이 있으며, 특히한 연구에서는 DEM을 이용하여 고도, 경사면 비(Slope Aspect), 경사면 구배, 유역 분기점(Watershed) 등등의 정보를 구해서 GIS 정보와 비교하여 산사태를 검출하였다^[3]. 또한 시간을 두고 획득한 영상, 예를 들면 지진이 발생하기 전과 후의 영상의 지역 유사도(Local Similarity)를 측정하여 산사태를 평가하는 연구도 있었다^[4].

III. 제안한 알고리즘

1. 문제 및 영역 정의

서론에서 언급하였듯이 현재 고정된 위치에 있는

CCD 카메라를 사용해서 교통사고를 예방하기 위해 도로 붕괴를 검출하는 알고리즘에 관한 논문은 국내외에 발표된 적이 없다. 따라서 알고리즘을 제안하기 전에 먼저 알고리즘을 적용할 문제를 정의할 필요가 있다. 본 논문에서 제안한 도로 붕괴 검출 알고리즘은 도로 붕괴가 의심되는 지역을 중심으로 CCD 카메라가 집중적으로 감시하고 있다고 가정하며 이를 그림 3에 나타낸다.



그림 3. 도로 붕괴 검출을 위한 CCD 영상들
Fig. 3. CCD Images for load slide detection

제안한 알고리즘은 실제 상황에서 사용될 수 있도록 CCD 영상을 여러 종류의 영역으로 구분하여 감시하도록 한다. 이는 본 연구에서 제안한 도로 붕괴 검출 알고리즘은 비도로 영역과 도로 영역에 대한 정보를 필요로 하기 때문이다. 더욱이 영상 영역을 정의하면 도로 붕괴 사태의 위급한 정도를 표시할 수 있고 어떤 상황에서는 도로 공사와 같은 영상의 일부분을 감시 영역에서 제외할 수 있는 장점도 있기 때문이다.

또한 제안한 알고리즘은 도로 붕괴 사태를 검출하기 위해서 입력 영상을 블록 단위로 나누고 블록의 움직임을 사용한다. 즉 블록 기반 알고리즘이다. 따라서 앞에서 서술한 영상 영역 정의도 블록 단위로 정의되어야 한다.

표 1. 영상 영역 정의
Table 1. Region definition of image

영 상 영 역	용 도	
비감시 영역	감시 영역에서 제외하기 위해서 사용한다. 즉 하늘, 집, 공사 현장과 같이 감시할 필요가 없는 영역을 제외할 용도로 사용한다.	
감시 영역	도로	도로 영역을 나타낸다. 가장 중요한 감시 영역이다.
	경계 영역	도로와 비도로 영역의 경계 부분을 나타낸다.
	비도로	도로와 경계 영역을 제외한 모든 감시 영역을 나타낸다.

본 연구에서는 표 1과 같이 영상을 4개의 영역으로 구분하여 도로 붕괴 사태를 검출하도록 제안하며, 도로 붕괴는 비도로 영역에서 시작하여, 경계 영역, 도로 영역으로 바위나 돌과 같은 물체가 움직인다는 사실에 근거를 두고 있다. 즉 도로 영역에서만 움직이는 차량과 같은 움직임은 도로 붕괴 사태로 검출하지 않는다. 즉 제안한 알고리즘을 실행하기 전에 감시 영상의 영역을 정의한 영역 정보가 필요하다.

본 알고리즘에서는 영역 정보를 블록 단위로 정의하여 구현하였으며, 본 연구에서 구현한 프로그램으로 영역을 정의하는 예는 그림 4와 같다.

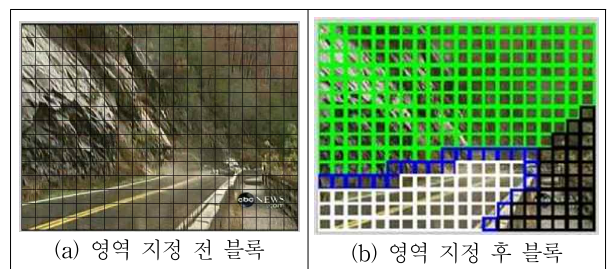


그림 4. 영상 영역 정의의 예
Fig. 4. Example of image region definition

먼저 영상의 블록의 크기를 결정하고 첫 번째 영상을 읽은 후에 전체 영상을 그림 4의 (a)와 같이 지정된 블록 크기로 구분하여 보여준다. 그러면 사용자가 각 블록이 어느 영역에 속하는지를 표 1에 따라 지정한다. 특히 경계 영역은 도로의 가장자리 선이 포함된 블록을 지정한다. 또한 도로상에서 움직이는 차량이 지나가는 비도로 영역에 있는 블록도 경계 영역으로 지정해야 한다. 이는 산사태가 비도로 영역에서 시작하여, 경계 영역, 도로 영역으로 바위나 돌과 같은 물체가 움직인다는 사실에 근거를 두고 있기 때문이다. 사용자가 영역을 지정한 후 그 결과를 그림 4의 (b)에 나타내며, '녹색 블록'은 비도로 영역, '푸른색 블록'은 경계 영역, '흰색 블록'은 도로 영역, '검은색 블록'은 비감시 영역을 나타낸다.

2. 제안한 알고리즘

본 연구에서 제안한 도로 붕괴 사태 검출 알고리즘의 전반적인 처리 과정을 그림 5에 나타낸다.

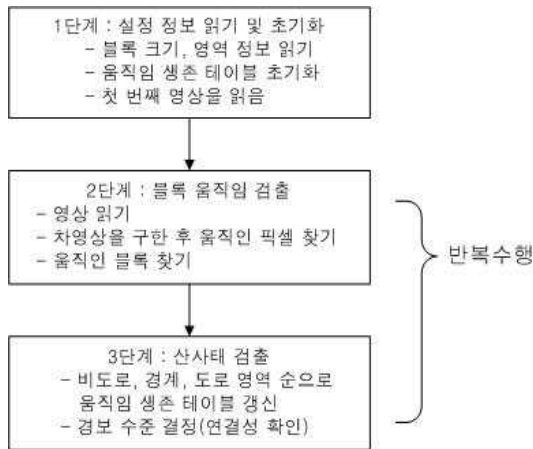


그림 5. 제안한 알고리즘
Fig. 5. Proposed algorithm

알고리즘의 1단계는 1회만 실행되고 2단계와 3단계는 반복하여 실행한다. 1 단계는 단순히 도로 붕괴 검출에 사용된 블록 크기와 영역 정보를 읽고, 움직임 생존 테이블의 값을 초기 값으로 설정한다. 그런 후에 첫 번째 영상을 읽는다.

2단계는 블록 움직임을 검출하는 단계이다. 먼저 움직인 픽셀을 찾아야 한다. 현재 프레임 영상과 이전 프레임 영상과의 차이를 구하여 차영상(Difference Image)을 생성하고 이의 절대 값을 구한다. 이 절대 값이 일정한 값 즉 문턱치(Threshold) 값 이상이면 움직인 픽셀로 정한다. 이 값은 바람에 흔들리는 나무와 같이 잡음 성분과 같은 움직임을 제거할 정도로 값을 설정하면 된다. 본 연구에서는 이전 프레임 영상의 표준 편차를 구해서 이를 문턱치(Threshold) 값으로 사용하였다.

블록 움직임을 찾기 위해서 움직인 픽셀 영상을 이진 영상으로 변환한 후에 각 블록당 평균 움직임 픽셀 수를 구한다. 만일 어떤 블록이 평균 움직임 픽셀 수와 같거나 크면 그 블록을 움직인 블록으로 설정한다. 이와 같은 연산은 블록을 2개의 부류 즉 움직인 블록과 움직이지 않은 블록으로 분류하는 데에 아주 좋은 방법이다. 이는 이전에 사용된 움직인 픽셀을 검출할 때 사용한 문턱치 값의 영향을 어느 정도 덜 민감하게 하는 효과가 있기 때문이다.

3 단계는 블록 움직임을 사용해서 도로 붕괴 사태를 검출하는 단계이다. 일단 움직임이 검출되면 움직임이 있었다는 것을 일정시간 이 후까지 알리기 위한 생존 시간 정보가 필요하다. 즉 도로 붕괴는 먼저 비도로 영역에서 움직임이 있고 약간의 시간의 차이를 두면서 경계 영

역 및 도로로 움직임이 이동한다는 것이다. 다시 말하면 도로 붕괴 사태는 모든 영역에서 동시에 움직임으로 나타나지 않는다는 것이다. 이런 블록 움직임 정보를 저장하기 위해 생존 테이블을 사용한다. 블록 움직임 생존 테이블의 예를 그림 6에 나타낸다.

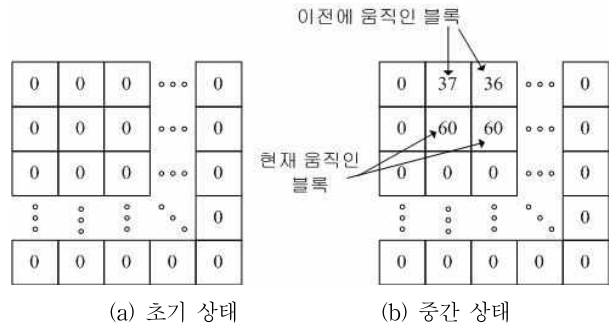


그림 6. 블록 움직임 생존시간 테이블
Fig. 6. Time table to live for movement

블록 움직임 생존 테이블은 초기화 과정에서 전부 0으로 설정된다. 그리고 새로운 움직임 블록을 찾으면 이의 생존 시간을 비도로에서 발생하여 도로까지 도달하는 데 걸리는 시간으로 생존 시간을 설정한다. 이 생존 시간을 동영상의 초당 프레임 수를 곱하면 몇 프레임까지 생존할 수 있는 숫자로 변환할 수 있다. 예를 들면 생존 시간이 3초이고 초당 20 프레임을 수신하는 동영상이면, 3초 * 20 프레임/초당 = 60 프레임으로 설정한다. 이 생존 숫자는 매 프레임을 처리할 때마다 1씩 감소하며, 0이 되면 더 이상 감소되지 않는다.

영역 정보 테이블과 움직임 생존 테이블이 있으면 도로 붕괴 사태를 검출할 수 있다. 사태 검출 방법은 비도로 영역에서부터 경계 영역, 도로 영역으로 순서대로 움직임이 존재하는 지를 확인한다. 이는 비도로 영역에서 움직임이 없으면 경계 영역에서 움직임이 있는 지를 확인하지 않는다는 의미이다. 또한 경계 영역에서 움직임이 없으면 도로 영역에서도 움직임을 확인하지 않는다. 이는 도로 영역에서 움직이는 차량과 같은 움직임을 확인하지 않기 위함이다. 즉 붕괴 사태는 반드시 비도로 영역에서 움직임이 시작되어 도로 영역으로 전달되어야 한다는 것이다.

도로 붕괴 사태의 경보 수준은 안정, 주의, 경고, 발생 4단계로 한다. 이를 위해서 영역테이블과 움직임 생존 테이블의 데이터를 사용해서 움직임의 연결성을 검증한다.

이는 두 테이블의 데이터를 사용해서 2진 영상을 생성하고, 4-연결을 사용해서 구성요소들(Components)로 나눈 후, 각 구성요소가 비도로, 경계, 도로 영역을 포함하고 있는 지를 확인하여 경보 수준을 결정한다. 어떤 움직임도 검출되지 않을 시에는 '안정' 수준으로 하고, 움직임이 있을 경우는 '주의', '경고', '발생'으로 한다. 구성요소가 비도로 영역에서만 있을 때는 '주의' 수준으로, 비도로와 경계 영역까지만 있을 때는 '주의' 수준으로, 비도로, 경계 및 도로 영역까지 있을 때는 '발생' 수준으로 경보를 발생한다.

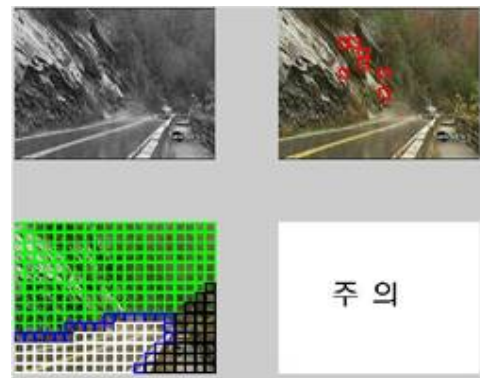
IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘의 유용성을 검증하기 위해서 다양한 환경의 동영상에 대해서 실험을 수행하였으며, 그 중에서 대표적인 실험을 표 2에 나타내었다. 표 2의 실험 조건은 3개의 동영상 모두에 대하여 영상의 크기는 640x480, 블록 크기는 32x32, 움직임 생존 시간은 3 초로 설정하였다.

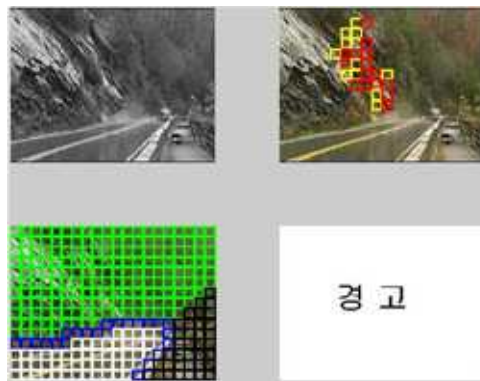
표 2. 실험 동영상
Table 2. Experimental Movie

동영상 번호	재생 시간	내용
1	14 초	도로사면 붕괴
2	47 초	정상, 맑은 날
3	27 초	정상, 비오는 날

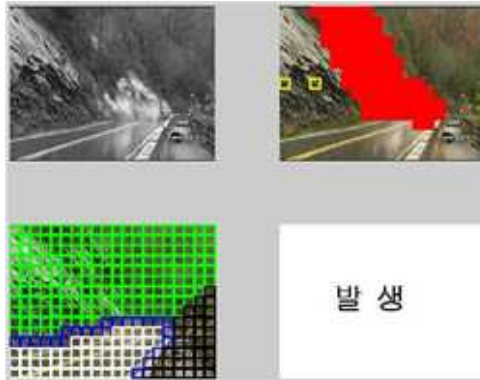
동영상 1의 실험 결과를 그림 7에 나타낸다. 그림 7의 (a)는 동영상의 시작 부분이고, (b)는 중간 부분, (c)는 마지막 부분이다. 이 실험에서 중간부분에서 비도로 영역에서 움직임이 검출되어 '주의' 메시지가 발생하고, 이후에 경계 영역과 도로 영역까지 움직임이 발생하여 '경고', '발생' 메시지를 차례로 보여주며 산사태 즉 도로사면 붕괴를 검출하고 있음을 알 수 있다. 일단 도로 붕괴 사태가 발생되면 사용자가 초기화를 다시 수행하지 않는 한 계속 남아있다. 즉 동영상에서 경보 수준은 항상 최상위 경보 수준을 나타내도록 한다.



(a) 동영상 1의 시작 부분



(b) 동영상 1의 중간 부분



(c) 동영상 1의 마지막 부분

그림 7. 동영상 1의 실험 결과
Fig. 7. Experimental result of movie 1

동영상 2와 동영상 3은 도로에서 차량의 움직임만 있는 정상적인 동영상이다. 이 동영상들에 대해서 실험한 결과를 그림 8과 그림 9에 나타낸다. 그림 8과 그림 9에서 (a)에 나타낸 시작 부분에서 (b)에 나타낸 마지막 부분까지 동영상에 재생되어도 산사태가 검출되지 않음을 알 수 있다. 즉 '정상' 메시지를 출력하고 있다.

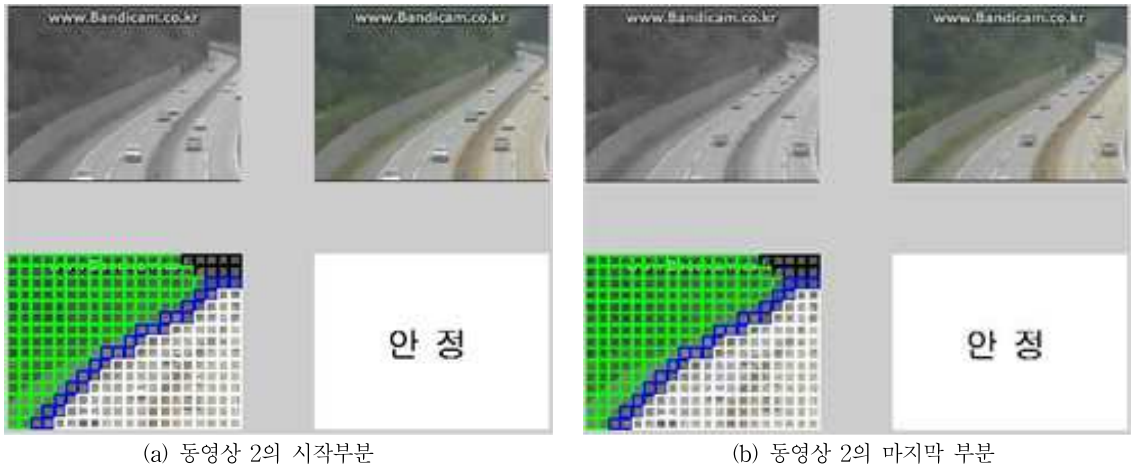


그림 8. 동영상 2의 실험 결과
 Fig. 8. Experimental result of movie 2



그림 9. 동영상 3의 실험 결과
 Fig. 9. Experimental result of movie 3

본 논문에서는 3개의 동영상을 통해서 제안한 알고리즘이 잘 동작하는 것을 제시하였지만, 실제적으로 수십 개의 동영상에 대해서 검증을 하였다. 특히 비도로 영역에서 움직임이 있을 경우에만 경계 영역의 움직임을 확인하고, 경계 영역에 움직임이 있을 때, 도로 영역의 움직임을 확인함으로써 정상적인 상태에서 연산 속도를 빨리 할 수 있었음도 확인하였다.

V. 결론

결론적으로 본 논문에서는 CCD 카메라로부터 얻은 영상만을 사용해서 즉 비전기반 도로 붕괴 사태 검출 알

고리즘을 개발하기 위해서 영역을 사용해서 문제를 정의하였고, 정의된 문제를 사용해서 붕괴 사태를 검출할 수 있는 효과적인 알고리즘을 제안하였다.

특히 제안한 알고리즘에서 움직인 픽셀과 움직인 블록을 정하는 문턱치 값, 생존 테이블을 도입하고 생존 시간을 정하는 것, 경보 수준을 결정하기 위해서 4-연결 성분을 사용한 것과 같은 많은 문제들을 효율적으로 해결하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 유효성을 확인하기 위해서 여러 개의 실제적인 동영상을 사용해서 실험을 통해 알고리즘의 정확성과 효율성을 검증하였다.

만일, CCD 카메라 하나로 넓은 영역에서 도로 붕괴 사태를 감시하고자 한다면 카메라를 감시 영역 중심으로 움직여야 하며 감시 영역 설정은 자동으로 이루어져야

한다. 즉, 자동 감시 영역 설정 기능이 필요한데 이는 앞으로의 연구에서 해결해야 할 과제로 남아 있다.

참 고 문 헌

- [1] 조삼덕, 이광우, 윤수호, 김춘식, “도로사면 관리 및 붕괴 예경보를 위한 실시간 무인감시시스템 개발”, 대한토목학회, 제24권 제1C호, 1-10쪽, 2004년 1월
- [2] 이동하, 김영섭, 서용철, “고해상도 항공라이다 DEM 해석을 통한 강원도 일원의 산사태 예측 가능성 분석”, 한국GIS학회지, 제17권 제3호, 381-387쪽, 2009년 11월
- [3] S. Sarkar and D.P. Kanungo, “An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS,” PHOTOGAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, pp.617-625, May 2004.
- [4] Siti Khairunniza-Bejol, Maria Petrou and Athanassios Ganas, “Landslide Detection Using a Local Similarity Measure,” IEEE, NORSIG 2006.
- [5] David Leva, Giovanni, Dario Tarchi, Joaquim Fortuny-Guasch, and Alois J. Sieber, “Temporal Analysis of a Landslide by Means of a Ground-Based SAR Interferometer,” IEEE, Trans. on GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, pp.745-752, Vol. 41, No. 4, April 2003.
- [6] T. R. Martha, N. Kerle, V. Jetten, C. J. van Westen, and K. V. Kumar, “Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods,” Geomorphology, vol. 116, no. 1/2, pp. 24-36, Mar. 2010.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터육성·지원 사업(NIPA-2010-C1090-1011-0002) 및 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 00041110)의 연구수행으로 인한 결과로 수행되었음.

저자 소개

권영만(중신회원)



- 1985년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1998년 8월 : 한국과학기술원 정보 및 통신공학과 박사수료
- 2007년 2월 : 광운대학교 전자공학과 박사
- 1993년 3월 ~ 현재 : 을지대학교

의료IT마케팅학과 교수

<주관심분야 : 영상처리, 머신비전, 운영체제>

신세연(준회원)



- 2008년 3월 ~ 현재 : 을지대학교 의료산업학부 의료진산학전공 학생
- <주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전>

박영진(준회원)



- 2003년 3월 : 요코하마 국립대학교 환경정보시스템 도시방재전공 석사
- 2006년 3월 : 요코하마 국립대학교 환경정보시스템 도시방재전공 박사
- 현재 : 소방방재청 국립방재연구소 방재영상분석팀 팀장

<주관심분야 : 방재GIS, 방재주제도, 인적재난>

김은수(준회원)



- 1980년 3월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 1984년 3월 : 연세대학교 전자공학과 박사
- 1981년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 교수, 광운대학교 3DRC 센터장

<주관심분야 : 3D Display>