

논문 2014-09-27

영상 및 레이저 계측기를 통한 경사면 상황인식 시스템 (Recognition System of Slope Condition Using Image and Laser Measuring Instrument)

한 상 훈, 한 영 준*

(Sang-Hun Han, Youngjoon Han)

Abstract : Natural disasters such as a ground collapse and a landslide have broken out due to the climate change of the Korea and the reckless expansion of cities and roads. The climate changes and the reckless urbanization have made the ground weak. Thus, it is important to keep a close eye on the highly weakened landslide and to prevent its natural disasters. In order to prevent these disasters, this paper presents a system of recognizing the road slide condition by measuring the displacements using laser scanner instrument. The previous system of monitoring the road slide has some problems as inaccurate recognition due to using only images from a camera, or expensive system such as artificial satellites and aircraft systems. To solve this problem, our proposed system uses the 3D range data from the laser scanner for measuring the accurate displacement of the road slide and optical flows from the Lucas-Kanade algorithm for recognizing the road slide in the image.

Keywords : Landslide, Laser scanner, Lucas-Kanade algorithm, Optical flow.

1. 서론

현재 극심한 기후 변화로 인해 여름과 가을 사이에 태풍과 국지성 호우가 집중되어 산사태나 도로 및 지반 붕괴 현상으로 자연재해 예방 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3]. 특히 일반 CCD 카메라와 같은 영상센서를 통해 주요 발생 지역의 변위를 검출하고 예측하는 시스템 등이 개발되고 있지만 복잡한 외부 환경이나 주변 환경의 변화에 실시간으로 강한 검출과 예측이 어렵다[4].

또한, 국내 도로 안전망 시설 미비로 예방 및 예측이 힘들어 이에 따른 자연재해 경보 시스템의 개발이 절실하게 필요하다. 기존의 시스템은 카메라 영상만을 이용하거나 GPS, LIDAR와 같은 고가의 장비와 시스템을 이용하여 토석류 산사태 모니터링, 산사태 발생 예측 및 위험도산정(QRA)을 한다. 자연재해가 일어난 후의 피해규모와 같은 현장조사 기법, 안정성 해석 방법에 대한 연구가 진행 중이며, 이를 활용한 자동화 계측시스템에 대해서도 최근 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1-7]. Yoo의 연구[5]는 PC용 도시 기반 시설물 관리 시스템을 구축하기 위해 GPS와 레이저 계측장비를 이용하여 멀티미디어 데이터베이스의 구축 가능성을 시도하였고, Yang의 연구[6]는 무프리즘 토털스테이션을 이용하여 산사태 징후를 감시하였다. Shin의 연구[4]는 영상정보만을 이용하여 개선된 블록화 방법을 이용하여 산사태 검출 알고리즘을 연구하였다. Schulz의 연구[7]는 LIDAR 이미지를 이용한 산사태 민감성을 연구하였다.

위 방법들은 원거리 측정으로 인한 측정 오차가 크며, 긴 측정시간과 고가의 장비와 시스템을 이용하는 단점을 갖고 있다[6, 7]. 카메라를 이용한 예

* Corresponding Author(young@ssu.ac.kr)

Received: 18 Feb. 2014, Revised: 23 Mar. 2014,

Accepted: 14 Apr. 2014.

S.H. Han, Y.J Han: Soongsil University

※ “위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업기술 개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었습니다.”

※ “본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0119991)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.”

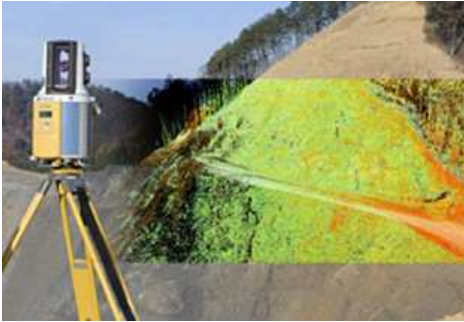


그림 1. 레이저 계측기

Fig. 1 Displacement measurement using Laser instrument

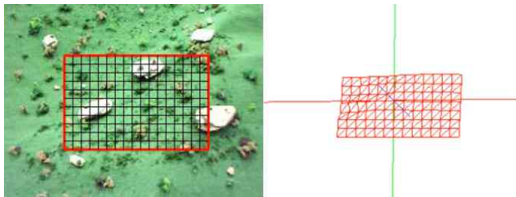


그림 2. 관심영역 설정과 초기 경사면 모델

Fig. 2 Selecting the ROI for scan and the initial model of a slope

측 및 검출 시스템은 날씨나 빛의 변화에 따라 오류가 나타나게 된다. 특히 야간의 경우 외부 조명이 확보 되지 않는 한 시스템의 동작이 어렵다[4]. GPS, 항공기, 위성 등을 사용하는 시스템은 실시간성이 확보되기 어렵고 고가의 자원이 필요로 하게 된다[7].

본 논문에서는 영상 및 레이저 계측기를 이용한 경사면의 변위 측정을 통한 도로 경사면의 상황 인식 시스템을 제안한다. 레이저 계측기의 특징은 날씨나 조명의 변화와 같은 외부 환경의 변화에 취약한 일반 CCD 카메라의 단점을 보완하고 3D 정보를 획득할 수 있다. 또한, 본 논문은 카메라의 영상으로부터 Lucas-Kanade 알고리즘을 적용하여 광류(Optical flow) 벡터를 획득한 후 광류가 발생한 지역만을 부분 스캔함으로써 레이저 계측기의 스캔 시간 단축한다.

레이저 계측기에서 획득한 3D 정보와 카메라에서 획득한 영상 정보와 융합하여 3D 영상을 표현함으로써 육안으로도 상황을 인식할 수 있으며, 측정된 3D 깊이정보를 통한 정확한 변위 계산을 통해 도로 경사면의 변위량을 계산한다.

표 1. 픽셀 당 이동 시간

Table 1. Moving Time per Pixel

Pixel	Moving Time(second)
1	0.550
5	0.850
10	1.100
15	1.100
20	1.100
30	1.250
40	1.250

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 관심영역의 설정과 도로 경사면의 상황인식을 위한 판단 방법 및 기준을 제시하고 획득한 정보의 표현 및 변위량 계산 방법에 대해 설명한다. 3장에서는 주변 환경의 변위를 검출하고 3D 정보의 획득을 통하여 제안한 시스템의 성능을 검증한다. 마지막으로 4장에서 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

II. 도로 경사면 상황인식 시스템

1. 초기 관심영역 설정 및 초기 스캔

레이저 계측기의 영상 정보를 이용하여 도로 경사면이 위치하는 관심 영역을 설정하고 스캔 기능을 통해 3차원 정보를 획득한다. 초기 관심영역의 설정은 사용자가 임의 설정이 가능하며, 관심 영역의 크기 및 위치, 스캔 점의 개수를 지정하여 원하는 지역의 감시 및 정보를 획득한다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 토폴콘사의 GLS-1500L 3D 레이저 스캐너를 통해 경사면을 스캔하는 과정을 보여준다[8].

초기 경사면 모델은 상황 인식하려는 경사면의 3차원 기하학 정보로 초기에 레이저 계측기로 정밀 스캔하여 획득된 스캔 점의 거리정보를 통해 구성된다. 이후에 산사태나 사면붕괴가 일어났을 시에 판단하는 기준으로 사용된다.

그림 2는 관심영역의 설정과 레이저 계측기로부터 정밀 스캔한 초기 경사면 모델을 보여준다. 초기 경사면 모델을 효율적으로 다루기 위해 관심영역을 일정 개수의 스캔 점들로 구성된 N 개 블록으로 나눈다.

기존 레이저 계측기는 측정 정밀도를 높이기 위해 반복적인 계측을 수행한다. 따라서 기존 레이저 계측기는 스캔 점당 1분의 시간이 소요되지만, 본 연구의 레이저 계측기는 획득한 3D 깊이정보의 비



그림 3. 코너 특징들로부터 계산된 광류 계산
Fig. 3 Optical flows calculated from corner features

교를 통해 무의미한 스캔시간을 줄인다. 스캔 점 당 2초의 시간으로 줄여 표 1과 같은 최소 움직임의 시간을 측정하여 초기 스캔 소요시간을 단축시켰다.

2. 영상정보를 이용한 경사면 붕괴의 후보지 검출

레이저 계측기와 카메라 영상 정보를 이용한 관심영역의 설정과 초기 경사면 모델을 구축함으로써 도로 경사면의 상황인식 알고리즘이 수행된다. 레이저 계측기의 스캔 시간을 줄여 빠른 경사면의 상황인식을 위해 초기 경사면 모델에 설정된 N개 블록들에 관해 카메라의 영상정보로부터 영상 변화량을 검출한다.

본 연구에서는 영상 변위를 검출하기 위해 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘[9-11]을 이용하여 광류(Optical flow)을 계산한다. 광류 벡터를 얻기 위해 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘은 영상에서 X축 및 Y축 방향의 공간 미분(Spatial derivate)을 수행하여 값이 서로 직교하는 방향에서 찾아지는 코너 특징(Corner feature)을 사용한다. 그림 3은 경사면 산사태 영상에서 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘을 이용한 광류 벡터들을 계산한 결과를 보여준다.

광류 벡터는 밝기 항상성, 시간 지속성, 공간 일관성의 3가지 가정으로부터 계산된다. 일반적으로 특정 객체 상의 화소는 영상 프레임이 바뀌어도 그 값이 크게 변하지 않는다. 즉, 코너 특징점의 광류를 계산하기 위해 입력 명암 영상(Gray Image)에서 추적하려는 코너 화소의 밝기는 변하지 않는다고 가정한다. 이런 가정은 영상에서 객체의 움직임에 비하여 시간의 변화가 더 빠르게 진행된다면 연속 영상 프레임 사이에서 객체의 변화량이 크지 않기 때문에 유효하다. 마지막으로 공간적으로 서로 인접하는 점들은 동일한 객체에 속할 가능성이 높고, 동일한 움직임을 갖는다.

$$I(x, y, t) = I(x + dx, y + dy, t + dt) \tag{1}$$

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt + \dots \tag{2}$$

이 3가지 가정을 통해 연속 영상 프레임에서 동일한 객체의 동일한 두 점이라면 식(1)처럼 표현할 수 있다. 여기서, 식 (1)의 우측 식을 테일러 급수로 전개하면 식(2)을 얻을 수 있다. 식(1)과 (2)가 동시에 만족하려면, 식(2)의 미분식의 합이 0이어야 하며, 미분식을 dt로 나누어 광류 제한 방정식(optical flow constraint equation) 식(3)을 얻을 수 있다.

$$I_x V_x + I_y V_y = -I_t \tag{3}$$

식 (3)으로부터 영상의 X축 방향과 Y축 방향으로 공간 미분값을 계산할 수 있다면 영상 좌표상에서 물체의 움직임 벡터인 광류를 예측할 수 있다. Lucas-Kanade 알고리즘은 t번째 영상 프레임의 코너 특징점을 중심으로 일정 크기의 윈도우(window)Ω를 설정한 후, t+1번째 영상 프레임에서 설정한 윈도우와 가장 잘 유사한 영상의 위치를 찾는 방법이다.

$$\begin{aligned} I_x(q_1) V_x + I_y(q_1) V_y &= -I_t(q_1) \\ I_x(q_2) V_x + I_y(q_2) V_y &= -I_t(q_2) \\ &\vdots \\ I_x(q_m) V_x + I_y(q_m) V_y &= -I_t(q_m) \end{aligned} \tag{4}$$

여기서, q_1, q_2, \dots, q_m 는 윈도우 Ω에 속하는 화소들이다. 즉, $q_1, q_2, \dots, q_m \in \Omega$

$$\begin{bmatrix} I_x(q_1) & I_y(q_1) \\ I_x(q_2) & I_y(q_2) \\ \vdots & \vdots \\ I_x(q_m) & I_y(q_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -I_t(q_1) \\ -I_t(q_2) \\ \vdots \\ -I_t(q_m) \end{bmatrix} \tag{5}$$

t번째 영상 프레임에서 설정한 윈도우 Ω에서 광류 제한 방정식은 식 (4)로 표현할 수 있고, 행렬식 Ax=b의 형태로 나타내면 식(5)로 표현할 수 있다.

식 (5)으로부터 광류 벡터 V에 관한 식으로 정리하면 식(6)을 얻을 수 있다. 식 (6)의 (A^TA)에 최소자승법(least mean square)을 적용하면 식 (7)을 얻을 수 있다. 식 (7)으로부터 t번째 영상 프레

임에서의 설정 윈도우의 움직임 벡터를 구할 수 있다.

$$v = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{q_i \in \Omega} I_x(q_i)^2 & \sum_{q_i \in \Omega} I_x(q_i)I_y(q_i) \\ \sum_{q_i \in \Omega} I_y(q_i)I_x(q_i) & \sum_{q_i \in \Omega} I_y(q_i)^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum_{q_i \in \Omega} I_x(q_i)I_t(q_i) \\ -\sum_{q_i \in \Omega} I_y(q_i)I_t(q_i) \end{bmatrix} \quad (7)$$

일반적으로 Lucas-Kanade 알고리즘은 작은 지역 윈도우를 사용하기 때문에 윈도우 크기보다 큰 움직임이 발생하였을 경우 탐색 범위에서 광류를 계산하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 원본 영상으로부터 영상 피라미드를 구성하여, 상위 계층에서 하위 계층으로 추적하는 방식으로 큰 움직임이 있는 특징점을 빠른 시간에 찾아낸다.

레이저 계측기의 효율적인 스캔을 위해 초기 경사면 모델의 N 개 블록 내에 코너 특징점 $X_{r,k}(x_k, y_k)$ 들로 구성된 기준 특징 벡터 X_r 식(8)로 표현할 수 있다. Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘을 이용하여 기준 특징 벡터를 구성하는 각 코너 특징들의 광류를 예측하여 기준 특징 벡터의 광류 벡터 V_r 를 식(9)로 표현한다.

$$X_r = [X_{r1} X_{r2} \cdots X_{rN}]^t \quad (8)$$

$$V_r = [V_{r1} V_{r2} \cdots V_{rN}]^t \quad (9)$$

그림 4는 관심영역의 기준 특징 벡터들에 대해 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘을 적용한 결과를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 크고 작은 변화에도 강인하게 변위를 검출하는 것을 보여준다.

그리고 N 개 블록의 구성된 초기 경사면 모델을 참조하여 각 코너 특징 벡터들에서 경사면 기울기 방향의 단위 벡터들로 구성된 V_g 벡터를 식(10)처럼 표현할 수 있다.

$$V_g = [V_{g1} V_{g2} \cdots V_{gN}]^t \quad (10)$$

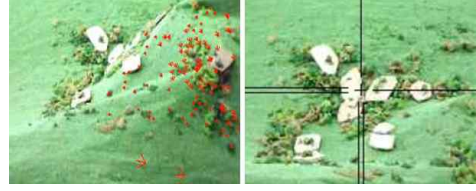


그림 4. 기준 특징 벡터의 광류 검출을 위한 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘 적용

Fig. 4 Applying the pyramid Lucas-Kanade algorithm to calculate the optical flows of the reference feature vector

여기서 $V_{gk}(v_x, v_y)$ 는 k 번째 블록의 코너 특징점 X_{rk} 에서 경사면 기울기 방향의 단위 벡터이다. $|V_{gk}(v_x, v_y)| = (v_x^2 + v_y^2)^{0.5} = 1$ 이다.

기준 특징 벡터(X_r)의 광류 벡터(V_r)와 경사면 방향의 방향벡터(V_g)를 계산함으로써 레이저 계측기의 효율적인 스캔을 위한 1차 판별을 수행한다. 1차 판별식은 광류 벡터의 크기와 방향을 고려하여 경사면 붕괴의 발생 가능성을 결정한다. 따라서 레이저 계측기의 효율적인 스캔을 위한 1차 판별식은 광류 벡터 V_r 와 경사면 방향벡터 V_g 의 내적으로 주어진다.

$$\begin{aligned} D_1(V_r, V_g) &= V_r \cdot V_g \\ &= \sum_{k=0}^N (V_{rk} \cdot V_{gk}) \\ &= \sum_{k=0}^N (|V_{rk}| \cos \theta_r) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 θ_r 는 코너 특징 벡터 X_{rk} 에서 광류벡터 V_{rk} 와 경사면 방향의 방향벡터 V_{gk} 가 이루는 각을 나타낸다. 판별식 D_1 이 사전에 정의한 문턱값 T_1 보다 크면 산사태 발생할 가능성이 있다고 판단되면, 기준 특징 벡터와 광류 벡터 V_r 참조하여 큰 광류 벡터를 갖는 초기 경사면 모델의 블록에 대해 레이저 계측기의 정밀 스캔을 수행한다.

3. 깊이정보를 이용한 2차 판별

1차 판별식에서 경사면 방향의 광류의 발생량이 연속 영상 프레임에서 문턱치 이상으로 측정되는 경우 경사면이 붕괴 가능성이 높은 것으로 판단한다. 경사면 붕괴를 정확하게 판별하기 위해 경사면이 붕괴할 가능성이 높은 블록에 관해 정밀 레이저

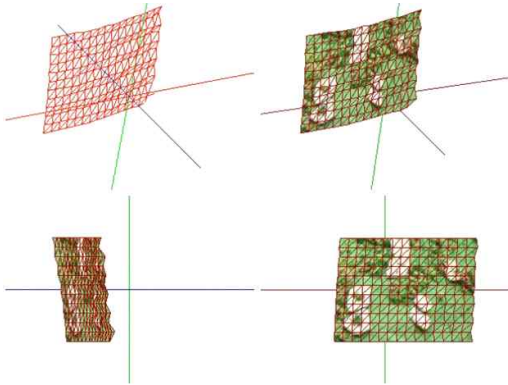


그림 5. 스캔 결과와 영상 텍스처 결과
Fig. 5 Scan Result and Image Texturing

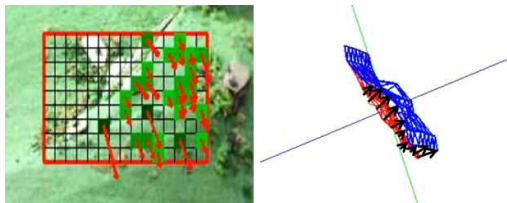


그림 6. 광류 발생 블록과 부분 스캔 결과
Fig. 6 Detecting optical flow region and the result of the partial scan

계측기의 정밀스캔으로부터 얻어진 3D 정보를 기반으로 2차 판별을 수행한다.

2차 판별은 광류 발생이 큰 코너 특징들이 속한 블록들에 대해 정밀 스캔하여 초기 경사면 모델과 비교하여 관심 영역 내에 변위의 레이저 계측기의 3D 정보를 이용하여 경사면 붕괴 여부를 검증한다.

그림 5는 초기 스캔의 결과와 영상 텍스처의 결과, 그림 6은 관심영역 내에서 광류가 발생한 블록과 광류의 방향을 보여준다. 그림 5의 초기 스캔 결과와 그림 6의 부분스캔결과를 비교하여 보면 광류가 나타난 부분의 변화를 알 수 있다.

그림 6과 같이 광류가 나타난 블록은 녹색으로 표시하고 더 많은 광류가 발생 시에 더 진한 색으로 나타낸다. 그리고 광류가 나타난 해당 블록만을 부분 스캔하여 레이저 계측기의 스캔 시간을 단축함으로써 경사면 붕괴와 같은 위급 상황을 신속하게 판단한다.

2차 상황 판별은 1차 판별로부터 경사면 붕괴 가능성이 높은 후보 블록들에 대해 부분 스캔을 통해 획득한 거리 정보와 초기 경사면 모델의 비교를

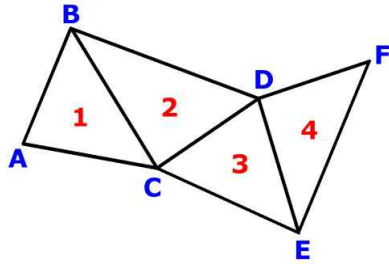


그림 7. 삼각형 스트립 기법
Fig. 7 Triangle strip scheme

통해 변화된 코너 특징점의 개수 N_c 를 계산한다. 판별식 2는 총 초기 경사면 모델의 관심영역 블록 수 N 과 거리 정보가 변화된 블록 수 N_c 의 비율로 식 (12)으로 정의한다. 판별식 2의 값이 문턱치보다 클 경우에 산사태나 경사면의 붕괴와 같은 위급 상황이 발생한 것으로 최종 판단한다.

$$D_2(N, N_c) = \frac{N_c}{N} \quad (12)$$

여기서 N 는 식 (10)에서 제시되었던 관심영역의 총 스캔 점인 코너 특징점의 개수이며, 판별식 D_2 가 사전 정의된 문턱값 T_2 다 크면 산사태나 위급한 상황이 발생했다고 판단한다.

4. 깊이 정보의 표현

초기 경사면 부분 스캔의 결과는 시각적 편의를 제공하기 위해 레이저 계측기로부터 획득된 거리 정보를 3차원 입체영상으로 표현한다. 그리고 3차원 입체영상을 사실감 있게 표현하기 위해 각 스캔 점을 기점으로 실제 영상의 텍스처(texture)로 렌더링한다.

렌더링을 위해 먼저 각 스캔 점을 삼각형 스트립 기법을 이용하여 입체 좌표계에 나타낸다. 그림 7에서 보이는 것과 같이 삼각형 스트립 기법은 다수 삼각형으로 입체 평면을 구성하기 때문에 각각의 삼각형을 개별적으로 그리는 것은 비효율적이다. 삼각형 스트립 기법은 3개의 정점을 이용해 삼각형을 그린 후, 정점을 추가하면서 객체를 표현한다.

위와 같이 삼각형 스트립 기법을 이용한 경사면을 표현한 후 카메라에서 획득된 영상의 텍스트 정보를 적용하여 렌더링한다. 그림 8은 초기 경사면 모델과 부분 스캔으로 획득한 깊이정보에 영상 텍스처를 이용하여 렌더링한 결과를 보여준다.

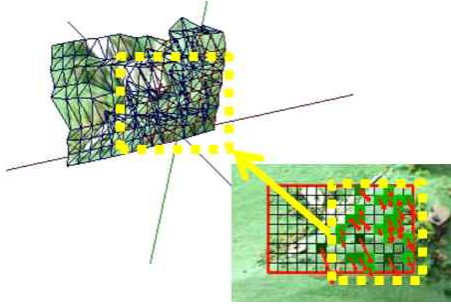
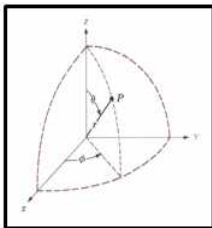


그림 8. 초기 경사면 모델과 부분 스캔을 영상 텍스처로 렌더링

Fig. 8 Rendering the initial slope model and the partial scan area with the image texture



$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta \cos \phi \\ y &= r \cos \theta \sin \phi \\ z &= r \sin \theta + H \end{aligned}$$

그림 9. 측정값의 좌표 변환

Fig. 9 Coordinate transformation of a measured value

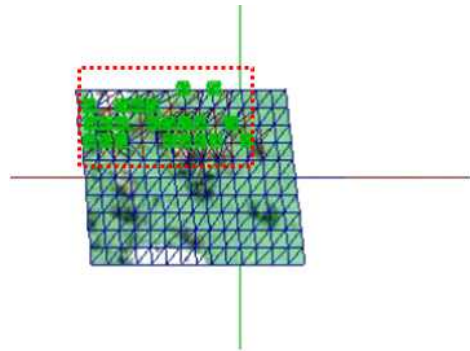
5. 변위량 계산

모든 상황인식이 끝나게 되면 정확한 변위량을 계산하기 위해 변위가 발생한 지역에 대해 변위 부피를 계산한다. 변위 부피는 1차 판단 시에 나타난 광류가 발생한 블록을 정밀하게 스캔함으로써 측정된다. 레이저 계측기의 측정값은 구 좌표계의 거리와 각도 정보로 획득된다.

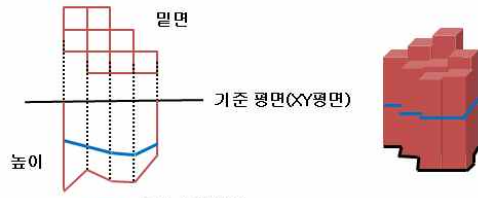
측정된 정보는 카메라의 보정 기술[12]을 이용하여 측정 정보를 영상의 대응점으로 정합시킨다. 하지만 변위량의 계산은 실제 측정 정보를 바탕으로 한다. 레이저 계측기를 기준으로 각각의 각도와 거리정보를 그림 9처럼 3D 직각좌표계 상의 x, y, z로 변환한다.

변위량은 측정 블록의 부피를 측정해서 계산된다. 직각좌표계의 XY평면을 기준으로 초기 경사면 모델과 정밀 스캔 결과의 차를 통해 부피를 측정한다. 그림 10(a)는 광류가 발생한 블록을 정밀 스캔한 결과이다.

실제 한 블록은 그림 11(a)와 같이 사각 기둥과 유사각 기둥으로 나뉜다. 광류가 발생하여 정밀 스



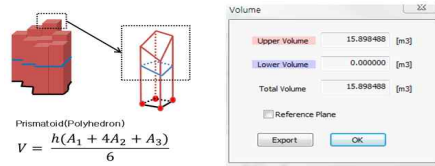
(a)



(b)

그림 10. 정밀 스캔과 변위량 계산

Fig. 10 Deliberate scan and calculation of a quantity of displacements



(a)

(b)

그림 11. 변위 발생 영역의 부피 측정

Fig. 11 Measuring the volume of the changed area

캔한 한 블록의 부피는 유사각기둥과 사각기둥의 부피의 합으로 그림 11와 같다.

III. 실험 및 분석

제안하는 시스템의 성능을 평가하기 위해 표 2에 제시한 환경에서 실험을 수행 하였다. 본 실험의 정확한 성능의 평가를 위해 100mm×200mm 크기의 경사면의 모형을 제작하여 실험하였다. 본 논문의 도로 경사면의 상황인식 시스템은 기존 시스템

표 2. 실험 환경

Table 2. Test Environment

레이저 계측기	Model	IS-300
	OS	Windows CE.NET 4.2
	레이저 광원	Class1
실험 PC	CPU	Core(TM) i7-3770 CPU @ 3.40GHz
	RAM	8G
	OS	Windows 7
	Compiler	Visual Studio 2010

표 3. 토털스테이션 5601의 재원

Table 3. Total-station 5601

측각	측정정확도	1"
	최소측정단위	0.1"
거리 측정 정확도	2 ~ 200(m)	±(3mm+ 3ppm)
	200 ~ 600(m)	±(5mm+ 3ppm)

의 단점을 보완하고 정확한 변위 검출과 신속한 상황인식을 수행할 수 있다. 구현된 시스템의 정확한 성능평가를 위해 기존의 토털스테이션을 이용한 경사면 감시 시스템[6]과 비교를 통해서 성능을 검증하였다.

토털스테이션은 각도와 거리를 함께 측정할 수 있는 측량기로 전자식 세오돌라이트와 광파측거리가 하나의 기기로 통합되어 있어 측정한 자료를 빠른 시간 안에 처리하고, 결과를 출력하는 전자식 측거·측각기이다. 기존 실험에서 사용된 토털스테이션은 5601 토털스테이션이며, 표 3은 측정을 위해 사용된 장비의 재원이다.

본 논문의 도로 경사면의 상황인식 시스템에서 사용한 레이저 계측기는 톱콘사의 이미지스테이션을 이용하였다. 이미지스테이션은 기존의 토털스테이션과 레이저 스캐너의 기능을 융합한 측량기이다.

표 4는 제안하는 시스템에서 사용된 장비의 재원이다.

국내 산사태의 대부분은 심층부의 붕괴보다는

표 4. 이미지스테이션 300의 재원

Table 4. Image-station 300

측각	측정정확도	1"
	최소측정단위	0.5"
거리 측정 정확도	1.5 ~ 250(m)	±(2mm+ 2ppm)
	5 ~ 2000(m)	±(10mm+ 10ppm)
카메라부	Wide (Angle of Field)	33°/1.3M Pixel
	Telescope (Angle of Field)	1°/1.3M Pixel
	Image Speed	10 frame/sec
	Field of View	1° 30'

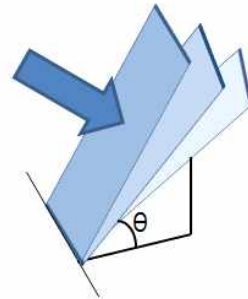


그림 12. 모형 사면의 실험

Fig. 12 Test of Slope Model

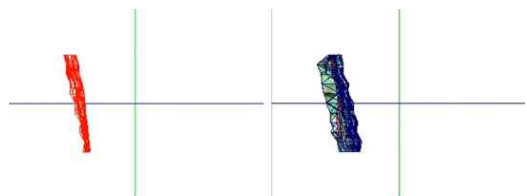


그림 13. 초기 경사면 모델과 60mm 변위가 발생되었을 때 부분 스캔의 결과

Fig. 13 The initial slope model and the partial scan when the displacement was generated in 60mm

표층 붕괴의 형태로 타나는 경우가 대부분이다. 따라서 제안하는 시스템의 성능을 실험하기 위해 그림 12처럼 모형 경사면을 기술여 레이저 측정기로부터 경사면까지의 거리가 3m가 되는 지점으로부터 경사면 중심까지 10mm, 20mm, 30mm, 60mm 변위가 발생하도록 하였다.

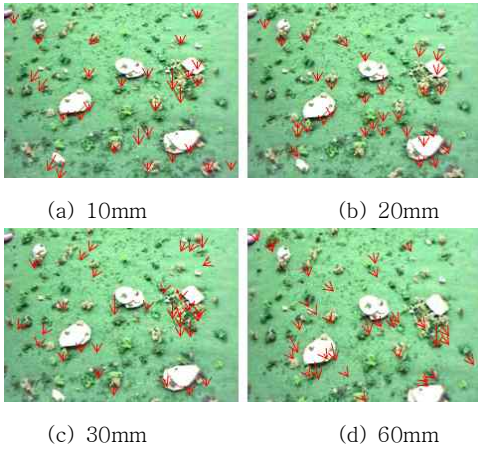


그림 14. 경사면 변위별 광류 측정
 Fig. 14 Measuring optical flows with each displacement of the slope model

표 5. 모형 사면 실험
 Table 5. Slope Model test result

변위	검출 광류	변위량(mm ³)	측정 시간(초)
10mm	44	764.752	89
20mm	67	945.007	118
30mm	78	1041.988	150
60mm	92	2010.813	176

표 6. 기존 토탈스테이션 시스템과 제안한 시스템의 비교

Table 6. Comparing the proposed system with the conventional total-station system

	Total-Station	Image-Station	Proposed
Scan point	66	210	216
Scan point Interval	30 pixels	10 pixels	10 pixels
Performance time	480sec	1420sec	413sec

그림 13은 모형 경사면을 기울여 60mm 변위를 발생시켜 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘을 적용한 1차 판단과 부분 스캔을 통한 2차 판단의 비교

결과를 보여주고 있다.

그림 14는 모형 경사면을 기울여 4단계 변위를 발생시켜 영상에 검출된 광류 벡터를 보여준다. 이 결과는 영상에서의 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘을 이용한 1차 판정과 레이저 계측기의 스캔 기능을 이용한 2차 판정을 통해 경사면의 작은 변화도 검출함을 보여준다.

표 5는 모형 경사면 실험에서 획득한 데이터를 보여준다. 검출 광류의 개수는 영상에서 나타나지 않은 작은 벡터까지 포함하였다. 이 결과는 영상을 통한 변위검출에 있어서 작은 변위에도 강인하게 검출하는 것을 알 수 있으며 위치와 방향, 변위량을 측정할 수 있다.

표 6은 토탈스테이션을 이용한 경사면 변위 검출 방식과 제안한 시스템의 변위 검출 방식의 변위 측정 속도를 비교한 결과를 보여준다. 토탈스테이션을 이용한 변위 검출의 경우 기존 논문에서의 검출 결과를 참조하였다[6].

표 6에서 알 수 있듯이 토탈스테이션을 이용한 경우, 측정된 점 개수는 모두 66개이고 점 간격은 약 30픽셀이며 측정시간은 약 8분정도가 소요되었다. 또한 기존 이미지스테이션의 시스템을 이용한 경우, 동일 관심영역에 측정된 점 개수는 모두 210개이고 점 간격은 10픽셀이며 측정시간은 약 24분이 소요되었다. 반면, 제안한 시스템의 경우 측정된 점 개수는 216개이고 점 간격은 10화소이지만 측정시간은 6분 53초가 소요되었다. 변위의 측정에 있어서는 스캔 점 간격을 줄여 스캔 점을 늘림으로써 보다 정확한 변위를 신속하게 측정함을 보여주었다.

IV. 결 론

본 논문은 기존 시스템이 산사태나 경사면의 변위 측정하는데 갖는 느린 처리속도와 비정확성을 해결하기 위해 레이저 계측기를 이용한 경사면의 변위측정을 통한 도로 경사면의 상황인식 시스템을 제안하였다. 정확한 변위 검출을 위해 레이저 계측기로부터 3차원 정보를 획득하였다. 기존의 영상만을 이용한 방법보다 제안하는 기법은 외부 환경의 변화에도 강인하게 변위를 검출할 수 있었다. 수행시간의 개선을 위해 Pyramid Lucas-Kanade 알고리즘으로부터 광량을 계산한 후 일정 크기의 광량이 발생한 지역만을 부분 스캔함으로써 변위 검출시간을 단축시켰다. 향후, 복잡한 작업환경에서도

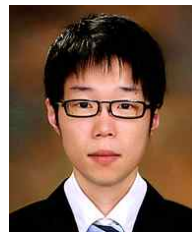
향상된 속도와 안정적인 변위 측정이 가능하도록 변위 검출 방법에 대한 연구와 정확한 변위량을 측정하기 위한 레이저 계측기의 세밀한 제어 및 스캔 점들 간의 비는 구간에 대한 연구가 더 필요하다.

References

- [1] H.J. Oh, "Landslide Detection and Landslide Susceptibility Mapping using Aerial Photos and Artificial Neural Networks," Journal of Korean Society of Remote Sensing, Vol. 26, No. 1, pp. 47-57, 2010 (in Korean).
- [2] J.K. Lee, C.S. Kim, "An Implementation for Disaster Information Service and Search Function based on Smartphone Application," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 15, No. 2, pp. 273-280, 2012 (in Korean).
- [3] M.J. Lee, S.R. Lee, S.W. Jeon, "Landslide Hazard Mapping and Verification Using Probability Rainfall and Artificial Neural Networks," Journal of Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 2, No. 2, pp. 57-70, 2012 (in Korean).
- [4] J.S. Shin, D.S. Kang, "A Study on Landslide Detection Algorithm Using Advanced Blocking Method," Journal of Korea Institute of Information Technology, Vol. 11, No. 10, pp. 163-169, 2013 (in Korean).
- [5] S.K. Yoo, K.S. Lee, "Establishing PC-based Object-Oriented Urban Infrastructure Information System using GPS and TotalStation," Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 1, No. 1, pp. 41-49, 2000 (in Korean).
- [6] I.T. Yang, J.K. Park, D.M. Kim, "Monitoring the Symptoms of landslide using the non-prism total station," Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 293-301, 2007 (in Korean).
- [7] W.H. Schulz, "Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records," Engineering Geology, Vol. 89, No. 1-2, pp. 67-87, 2007.
- [8] <http://www.topcon.co.kr/SV/Product/GLS-1500> L/GLS-1500L.html
- [9] B.D. Lucas, T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 121-130, 1981.
- [10] J.Y. Bouguet, "Pyramidal Implementation of the Affine Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm," Intel Corporation, 2001.
- [11] J. Shi, C. Tomasi, "Good Features to Track," Proceedings of Institute of Electrical and Electronics Engineers Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 593-600, 1994.
- [12] Z. Zhang, "Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations," Microsoft Research, 1998.

저 자 소 개

한상훈



2013년 숭실대학교 정보통신전자공학부 공학사.
현재, 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정.
관심분야: 영상처리.

Email: loup86@naver.com

한영준



1996년 숭실대학교 전자공학과 공학사.

1998년 숭실대학교 전자공학과 공학석사.

2003년 숭실대학교 전자공학과 공학박사.

현재, 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수.

관심분야: 로봇 비전, 컴퓨터 비전, 비주얼 서보잉.

Email: young@ssu.ac.kr