

논문 2015-52-4-19

# 광패턴을 이용한 능동형 수위 및 거리 측정 기법

## ( Active Water-Level and Distance Measurement Algorithm using Light Beam Pattern )

김낙우\*, 손승철\*, 이문섭\*, 민기현\*, 이병탁\*

(Nac-Woo Kim<sup>©</sup>, Seung-Chul Son, Mun-Seob Lee, Gi-Hyeon Min, and Byung-Tak Lee)

### 요약

본 논문은 광패턴 조사를 통한 능동형 수위 및 거리 측정 기법을 제안한다. 기존 압력식, 부자식, 초음파식, 레이더식 등의 수위측정기법과 달리 최근에는 수위측정의 정확성과 모니터링 편리성을 강조한 영상기반 수위측정기법이 활용되고 있다. 본 논문에서는 참조용 광패턴을 교각이나 제방 등에 동적으로 조사(照射)하고, 카메라 장치로부터 조사된 광패턴 영상을 실시간 분석·처리하여 자동 수위측정 및 조사(照射) 대상물까지의 거리측정을 위한 새로운 방법을 제시한다. 기존 방법이 교각에 기(既) 부착된 수위표나 마커 인식을 위해 수동적으로 영상데이터를 분석하는 것이었다면, 본 기법은 교각 설치 환경에 대응하여 능동적으로 참조 광패턴을 생성하여 사용함으로써, 난시야(難視野) 환경 및 잡음 대응에 효과적이고, 포터블 형태로 주야간 이용이 가능하며, 별도 조명 설치를 요구하지 않는 등의 강건한 수위 측정을 지원한다. 본 실험은 실내 시험 환경을 구성하여 시뮬레이션 하였으며, 0.4-1.4m 거리 13.5-32.5cm 높이에서 수위 및 거리 측정을 수행하였다.

### Abstract

In this paper, we propose an active water level and distance measurement algorithm using a light beam pattern. On behalf of conventional water level gauge types of pressure, float-well, ultrasonic, radar, and others, recently, extensive research for video analysis based water level measurement methods is gradually increasing as an importance of accurate measurement, monitoring convenience, and much more has been emphasized. By turning a reference light beam pattern on bridge or embankment actively, we suggest a new approach that analyzes and processes the projected light beam pattern image obtained from camera device, measures automatically water level and distance between a camera and a bridge or a levee. As contrasted with conventional methods that passively have to analyze captured video information for recognition of a watermark attached on a bridge or specific marker, we actively use the reference light beam pattern suited to the installed bridge environment. So, our method offers a robust water level measurement. The reasons are as follows. At first, our algorithm is effective against unfavorable visual field, pollution or damage of watermark, and so on, and in the next, this is possible to monitor in real-time the portable-based local situation by day and night. Furthermore, our method is not need additional floodlight. Tests are simulated under indoor environment conditions from distance measurement over 0.4-1.4m and height measurement over 13.5-32.5cm.

**Keywords :** Light beam pattern, water-level measurement, distance measurement

\* 정회원, 한국전자통신연구원 관제디바이스연구실  
(ETRI, IT Management Device Research Section)

© Corresponding Author(E-mail: nwkim@etri.re.kr)

※ 본 연구는 정부출연금사업인 ETRI R&D사업(과제명:지역 광부품 고도화를 위한 광융합 기술 개발,15ZC2310)의 일환으로 수행하였음.

Received ; November 27, 2014 Revised ; February 26, 2015

Accepted ; March 26, 2015

### I. 서론

최근 세계적인 기후 변화의 영향으로 우리나라도 해마다 일우량 80mm이상의 집중호우 발생 빈도가 증가하고 있으며 이로 인해 대형하천뿐 아니라 중소하천에서도 홍수가 발생, 도심 침수 사례가 빈번히 제기되고

있다<sup>[1]</sup>. 예로부터 치수(治水) 혹은 이수(利水)법은 작물 생산을 위한 관개(灌溉), 용수관리, 홍수예방, 가뭄대비 등의 목적으로 항상 주목 받았으며, 특히 우리나라의 지리적 여건으로 인한 우기 동안의 태풍이나 집중 호우 피해 예방을 위해서도 지속적으로 연구되고 있다. 이에 따라, 대부분의 교각이나 제방에는 수위 측정을 위한 수위표가 부착되어 있거나, 혹은 압력식<sup>[2]</sup>, 부자식<sup>[3]</sup>, 초음파식<sup>[4]</sup>, 레이더식<sup>[5,6]</sup> 등의 수위 측정 장비가 설치되어 있고, 이를 통해 획득한 수위 측정 정보는 침수 예측이나 재해 방지 활동 등에 이용된다.

최근에는 상기의 수위 측정 방식뿐 아니라, 카메라와 같은 영상 촬영 장치를 설치하여 동시 사용하는 영상 기반 수위 측정 방식 이용이 늘고 있다. 기존 방식은 수위 감지를 원격에서 모니터링 할 수는 있으나, 장치의 오작동 및 미작동 발생 시 문제 대응이 어려웠다. 이에 관측 지점 주변의 영상을 직접 모니터링하여 사용자가 기기의 오동작을 직접 확인할 수 있도록 영상 촬영 장치 설치가 일반화 되고 있다. 이러한 카메라 영상의 획득은 기존 수위 측정 기법의 양상 변화도 가져오고 있는데, 기존 수위 측정 센서 없이 영상처리기술 만을 이용한 방식의 영상식 수위 측정 기법이 제안되고 있다. 최근 교량에 부착된 마커 인식을 통해 상대적으로 수위를 계측하는 방법<sup>[7]</sup>, Mean-shift 알고리즘과 Watershed 기법을 통해 영상에서의 수면 경계를 구분한 후 수위를 검출하는 방법<sup>[8]</sup>, 영상에서의 수평 에지 분석을 통해 수면 인식 및 마커를 인식하고 이를 통해 수위를 측정하는 기법<sup>[9]</sup> 등이 제안되고 있다.

본 논문에서는 광패턴 조사를 통한 영상기반 수위 측정 기법을 제안하고 있다. 실외 환경에서는 참조용 광패턴을 능동적으로 피측정 대상물(교각이나 제방 등)에 조사하고, 카메라 장치로 조사된 참조용 광패턴과 주변 제방 환경을 동시에 촬영하여, 입력된 영상을 처리·분석 후 자동 수위측정 및 대상물과의 거리 측정을 수행한다. 실내 환경에서는 CoAP<sup>[10]</sup> 등을 통해 가정 내 에너지 관리 시스템과 연결하여 물관리 등에 사용할 수 있는데<sup>[11]</sup>, 어항 등에 참조용 광패턴을 소형 액정 화면 등을 통해 노출하고, 외부 카메라 장치 입력을 통해 영상 처리하여 자동 물갈이 및 수위 조절 등에 사용이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 본 논문에서 새롭게 제안하는 광패턴 기반 수위측정 기법

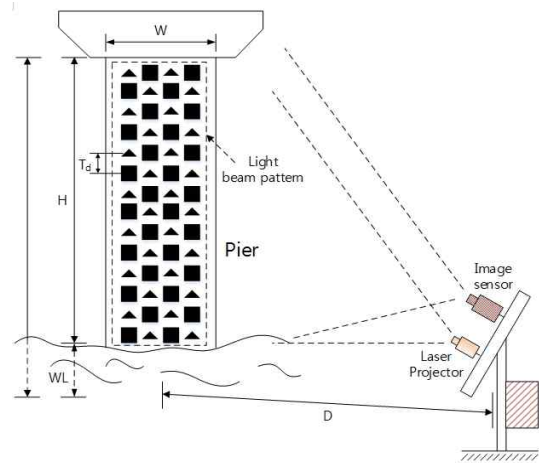


그림 1. 광패턴 기반 수위 및 거리 측정 시스템 구성 환경

Fig. 1. System implementation environment for light beam pattern based water level and distance measurement.

에 대해 상세히 소개하고, III장에서 시험 환경 및 실험 결과를 보인다. 최종적으로 IV장에서 결론을 맺는다. 그림 1은 광패턴 기반 수위 및 거리 측정 기법 적용을 위한 가상의 수위 측정 시스템 구성 환경을 보이고 있다.

## II. 광패턴 기반 수위 및 거리 측정 기법

### 1. 참조 광패턴의 생성

피측정 대상물에 대한 수위 측정용 참조 광패턴은 그림 2와 같이 인코딩된다. 레이저 프로젝터나 광센서를 통해 조사되는 참조 광패턴은 피측정 대상물의 폭(W), 높이(H), 거리(D)에 따라 패턴의 배열 크기를 달

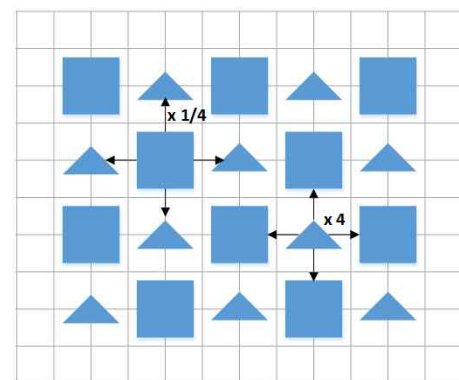


그림 2. 참조 광패턴에서 인접 단위패턴과의 배율 비교  
Fig. 2. Magnification comparison between adjacent unit patterns in reference light beam pattern.

리한다. 그림 2와 같이 각 단위패턴의 모양은 미리 정의되어 있으며, 인접한 단위패턴들과의 비율 비교를 통해 각 단위패턴의 영역을 신뢰성있게 인식하기 때문에, 거리(D)에 따라 단위패턴의 영역 변화가 크게 생기더라도, 전체 패턴을 처리하여 인식하는 데 문제가 생기지 않는다. 다만, 하나의 단위패턴과 다른 단위패턴 간의 중심 거리(d)가 최종 수위 측정 결과의 해상력(resolution)을 결정하기 때문에, 영상 처리 시 각 단위패턴이 서로 중첩되지 않는 한, 두 단위패턴의 거리는 가까울수록 좋다.

2. 제안하는 수위 및 거리 측정 기법

본 논문에서 제안하는 수위측정 기법의 처리 순서는 그림 3과 같다. 먼저, 영상기반 자동수위 측정을 위해 카메라와 같은 영상 센서로부터 피측정 대상물에 조사된 광패턴 영상을 프레임 단위로 실시간 입력받는다. 영상 처리 시간 및 오류 발생으로 인한 측정오차를 줄이기 위해, 입력 영상 중 광패턴 조사 영역만을 대상으

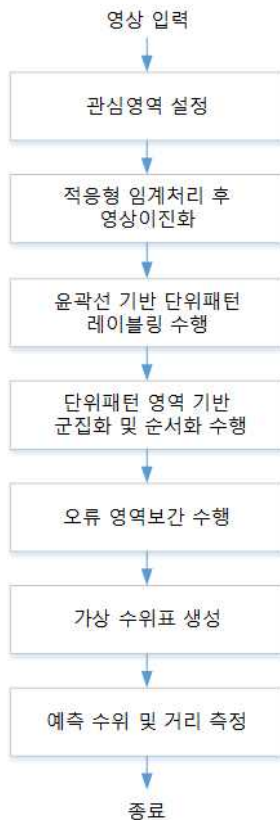
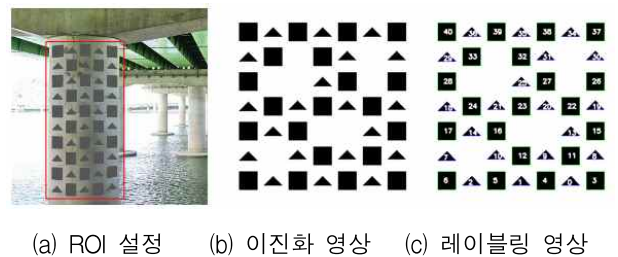


그림 3. 광패턴기반 수위 및 거리 측정 순서도  
 Fig. 3. Flow chart for light beam pattern based water level and distance measurement.

로 ROI(Region of Interest) 설정한다 (그림 4(a) 참조). 입력 영상은 외부 잡음 처리 결과를 보이기 위해 패턴 중간에 빈 영역을 임의로 삽입하였다. 설정된 ROI를 대상으로 5x5 커널 기반 Morphology(CLOSE) 연산을 수행하여 잡음을 제거한 후 적응형 임계처리를 수행한다. 잡음의 제거는 레이블링 시 불필요한 분산 스팟 영역을 제거하기 위해 필수적이다. 적응형 임계값  $T_{x,y}$ 는 ROI 영상의 (x, y) 화소 주변 11x11 블록에 대해 각 화소별로 Gaussian 형태의 가중치를 부여하여 계산한 가중치 평균값이 된다. 이진화 처리 결과는 그림 4(b)와 같다. 다음으로, 윤곽선(contour) 기반으로 단위패턴에 대한 레이블링을 수행하기 위해 Suzuki의 Border Following Algorithm(BFA)<sup>[12]</sup>을 사용하였다. BFA는 영상 내 화소단위 연결요소를 기반으로 레이블 영역, 둘레, 토폴로지 구조 등을 계산하기 위해 사용된다. 오검출 영역에 강건한 신뢰성있는 영역 레이블링을 위해, BFA기법 적용후 Iterative End-point Fit 기법<sup>[13,14]</sup>을 수행하여 단위패턴과 동일 모양인 모서리 개수가 3개나 4개인 영역만 선택 필터링하여 레이블링 한다 (그림 4(c) 참조). 이를 통해 각 레이블의 중심좌표와 영역 크기 등을 알 수 있다.

카메라에서 입력된 각 단위패턴의 시작좌표는 Y 좌표를 기준으로 모두 동일하지 않기 때문에, 그림 4(c)에서와 같이 레이블링된 영역의 순서는 좌에서 우 혹은 위에서 아래 순으로 차례대로 나열되지 않는다. 따라서,



(a) ROI 설정 (b) 이진화 영상 (c) 레이블링 영상



(d) 순서화 처리 (e) 단위패턴 영역 보간 (f) 가상 수위표

그림 4. 수위 및 거리 측정을 위한 영상처리 결과  
 Fig. 4. Image processing results for water level and distance measurement.

유사한 Y 좌표를 갖는 레이블 영역끼리 군집화를 수행한 후 순서화한다. 유사한 Y 좌표의 기준은 하나의 영상프레임에서 각 단위패턴 간의 평균거리 d를 구하고, 임의의 단위패턴을 하나 선택한 후 해당 레이블의 중심 좌표를 기준으로 상하로  $\frac{d}{2}$  내에 위치한 영역을 말하는 것으로, 이 영역 내의 모든 단위패턴을 동일한 군집으로 처리하여 재(再) 레이블링한다. 재 레이블링된 단위패턴을 제외한 나머지 단위패턴 중 임의의 것을 선택하여 동일 과정을 반복함으로써 모든 단위패턴을 군집화한다. 군집화된 레이블들의 Y 좌표를 기준으로 sorting을 통해 순서대로 재나열한다. 같은 방법으로 X 좌표 기준으로도 동일 과정을 거친다. 결과적으로 그림 4(d)와 같이 X, Y 좌표를 기준으로 재순서화된 레이블을 얻는다.

다음으로 참조 광패턴 조사 과정이나 영상 획득 과정에서 오류로 인해 누락된 단위패턴 영역에 대한 보간이 수행된다. 이미 Morphology(CLOSE) 및 Iterative End-point Fit 기법과 같은 전처리를 통해 오류 영역을 계속 제거하였기 때문에, 현재 처리된 레이블 영역의 신뢰성은 매우 높은 편이나, 그림 2에서처럼 인접 단위패턴과의 배율 비교를 통해 현재 레이블 영역의 신뢰성을 재평가한다. 참조 광패턴과 같이 현재 레이블 영역 크기에 비교하여 상하좌우에 위치한 인접 레이블 영역의 크기가 4배 혹은 1/4배가 되면 현재 레이블 영역을 신뢰성 높은 ‘유효 레이블’로 구분한다. 그림 5와 같이 현재 레이블 영역 (i, j)가 비어있다면, 3개 이상의 인접 레이블 영역이 ‘유효 레이블’인지 확인하고 보간을 통해 새로운 레이블 영역 (i, j)’를 생성한다. 그림 4(e)에서 각 레이블 영역 중앙 점이 기존의 ‘유효 레이블’ 영역과 새롭게 보간된 레이블 영역 위치를 의미한다.

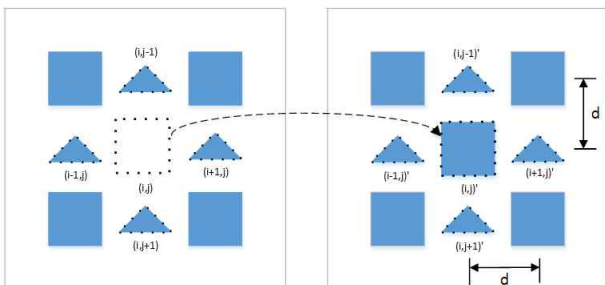


그림 5. 단위패턴 영역의 보간  
Fig. 5. Region interpolation in unit patterns.

### 3. 예측 수위 및 거리 측정 방법

참조 패턴광의 동일 Y 좌표를 갖는 단위패턴의 총개수, 즉 X축 상의 단위패턴의 총개수( $X_t$ )를 기준으로 현재 보간 수행된 레이블 영역에서의 X축 상의 ‘유효 레이블’ 개수, 즉 유사한 Y좌표를 갖는 k번째 군집에서의 ‘유효 레이블’ 개수 ( $pX_t^k$ ) 와 비교하여 임계치( $\alpha$ )이상이면 Y축에 수직으로 해당 X축 기준의 가상선을 생성한다 (수식 1 참조). Y축에 수직한 모든 각 군집에 대해 반복 수행하며, 그림 4(f)와 같이 가상 수위표를 완성한다.

$$Y^k = \begin{cases} 1 & \text{for } \alpha \geq \frac{pX_t^k}{X_t} \\ 0 & \text{for } \alpha < \frac{pX_t^k}{X_t} \end{cases}, \text{ where } 0 < \alpha < 1 \quad (1)$$

이 때, 참조 패턴광의 총 가로선 수를 M이라 할 때, 생성된 가상 가로선의 총합 N은

$$N = \sum_{k=1}^M Y^k \quad (2)$$

이고, 그림 1에서 교각 상단에서 수위까지의 높이 H는

$$H = N * Td \quad (3)$$

이 되며, 최종 예측 수위 WL은 원교각 높이 P에서 H

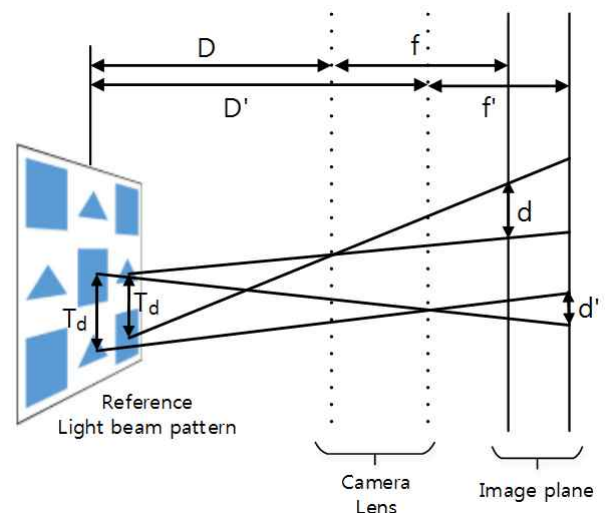


그림 6. 예측 거리 측정  
Fig. 6. Estimated distance measurement.

를 빼서 구한다.

$$WL = P - H \tag{4}$$

다음으로, 피측정 대상물과 카메라 장치 간 거리(D)를 측정한다. 카메라 초점거리를 f, 투사된 참조 패턴광에서의 각 단위패턴 간 평균거리를  $T_d$ , 카메라에 입력된 영상프레임에서 각 단위패턴 간 평균거리를 d라 할 때, 수식 (5)를 통해 D를 구할 수 있다 (그림 6 참조). 참조 패턴광을 조사할 때,  $T_d$ 는 현장에서 측정하여, d의 최소 화소 거리 기준을 만족시켜야 하는데, 이 때, f값이 고정되어 수치로 확인가능하고, 최종적으로 영상처리를 통해 d의 값을 계산함으로써, D를 얻을 수 있다.

$$D = \frac{f \cdot T_d}{d} \tag{5}$$

### III. 실험 결과 및 성능 평가

#### 1. 실험 환경 설정

본 논문에서 제안하는 수위 및 거리 측정 기법을 검증하기 위한 실험 환경은 그림 7과 같다. 정확한 수위, 거리 측정 및 오차 분석을 위하여, 실내 설치 환경에서 예측 모델을 시뮬레이션을 하였다. LCD 모니터 상에 既 생성된 패턴을 디스플레이하고, 워터펌프를 통해 수조에 담긴 물 높이를 조정하여 수위를 통제한다. 카메라는 수조를 거쳐 LCD 화면의 패턴을 입력받는다. 디스플레이 된 패턴에서 카메라까지의 최소거리는 D1에서 D3까지의 33cm이고, 최대거리는 D1에서 D4까지의 153cm 이다.

#### 2. 실험 결과

##### 가. 수위 측정 결과

본 실험은 각기 다른 카메라 위치에서 20mm 수위를 조정하며, 실측치와 가상 수위표 상의 예측 수위를 비교한다. 유색 물감이 혼합된 수조의 액체 수위를 조정함에 따라, 가상 수위표 상의 가상선의 개수가 증감하며, 이를 통해 수위 측정을 측정한다. 그림 8의 수위 측정 실험 결과는 카메라 #1과 카메라 #2의 실측치와 수위 추정치를 비교하고 있으며, 표 1에서 보이는 바와 같이 카메라 #1에서 평균절대오차(MAE)는 약 3mm, 평

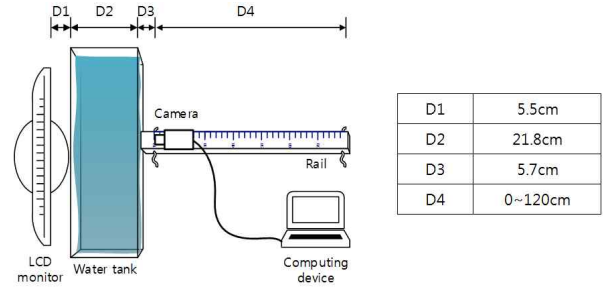


그림 7. 수위 및 거리 측정 실험 환경  
Fig. 7. Simulation environment for water level and distance measurement.

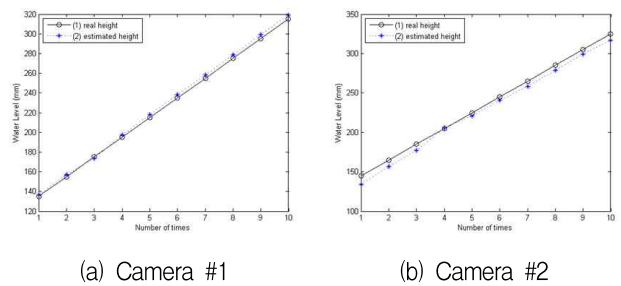


그림 8. 수위 측정 결과  
Fig. 8. Results for water level measurement.

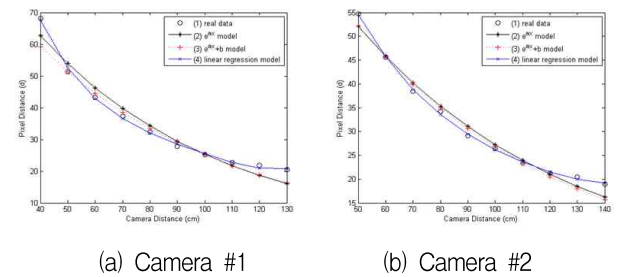


그림 9. 거리 측정 모델 시뮬레이션  
Fig. 9. Simulation results for distance measurement model.

표 1. 수위 측정 오차  
Table 1. Water level measurement error.

Classification		Camera #1	Camera #2
Specification	Resolution	1920 x 1080	1920 x 1080
	Focal length	1395.798, 1395.948	1353.173, 1349.142
	Test height	13.5cm~31.5cm	14.5cm - 32.5cm
MSE		0.098	0.469
MAE		0.299	0.631

균제곱오차(MSE)는 약 0.1 로써 비교적 정확한 수위 예측을 나타내고 있다. 카메라 #2 실험에서는 단위패턴들 사이에 수위가 위치하도록 조정하여 최대오차가 발생하도록 시험하였다. 이때의 평균절대오차(MAE)는 약



6mm, 평균제곱오차(MSE)는 약 0.6으로써 적은 오차 범위에서 정확한 수위를 예측하고 있다. 2.1장에 설명된 바와 같이 단위패턴 간의 중심 거리(d)가 수위 측정 결과의 해상력(resolution)을 결정하기 때문에, 실험에 사용한 단위패턴 간 거리가 최대 오차거리가 될 수 있다.

나. 거리 측정 결과

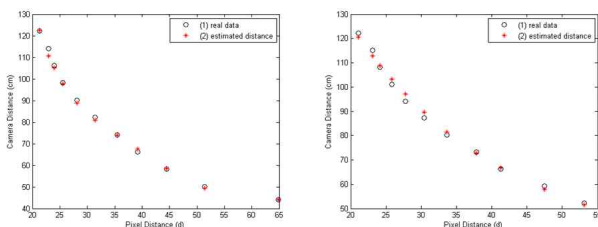
본 장에서는 카메라와 피측정 대상물(교각이나 제방 등)까지의 거리 예측 모델을 생성하고, 이에 따른 측정 결과를 보인다. 그림 9의 거리 측정 시뮬레이션에서 나타난 바와 같이, 실측 데이터 값을 기준으로 자연지수 함수모델과 선형회귀모델을 적용하여 적합도를 평가하였다. 적합도 평가는 결정 계수  $R^2$ (Coefficient of Determination)를 이용하였다.  $R^2$ 는 수식 (6)과 같이 정의되며, 일반적으로 회귀 모델의 적합도를 재는 척도로 사용된다. 종속 변수가 가지는 총 변량 중 회귀 모델을 통해 예측한 변량의 비율을 나타내며, '1'에 가까울수록 높은 상관 관계를 나타내므로 좋은 예측 모델로 생각할 수 있다.  $SS_{resid}$ 는 회귀 모델로부터의 잔여제곱값의 합이고,  $SS_{total}$ 은 종속 변수 평균값으로부터의 제곱차합을 나타낸다.

$$R^2 = 1 - SS_{resid} / SS_{total} \quad (6)$$

그림 9(b)의 카메라 #2 실험에서는  $e^{ax}$ 모델의  $R^2$ 값은 0.979,  $e^{ax}+b$ 모델의  $R^2$ 값은 0.9773, 선형회귀모델의  $R^2$ 값은 0.994를 나타내었다. 이 때, 선형회귀모델은 수식 (7)과 같이 정의하고, 예측모델의 계수는 표 2와 같다.

$$y_{pd} = a_0 + a_1d + a_2d^2 + a_3d^3 + a_4d^4 \quad (7)$$

그림 10은 선형회귀모델을 통해 얻은 수식을 이용하여 거리 예측값을 추정하고, 이를 실측값과 비교한 거



(a) Camera #1

(b) Camera #2

그림 10. 거리 측정 결과

Fig. 10. Estimated results for distance measurement.

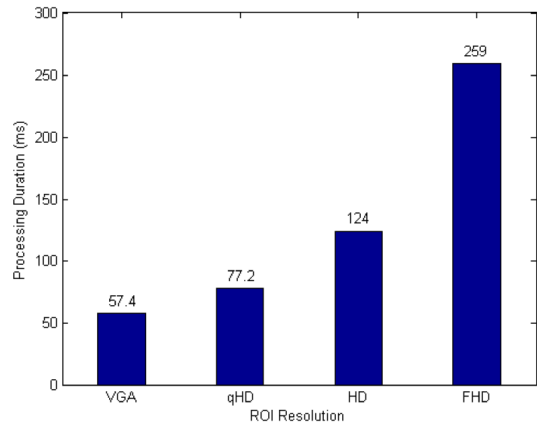


그림 11. ROI 해상도 별 처리 시간 비교

Fig. 11. Processing time comparison for each ROI resolution.

표 2. 예측 모델 계수

Table 2. Estimated model coefficient.

Classification		Camera #1	Camera #2
Estimated model coefficient	a0	964.3417	156.1243
	a1	-98.1131	-3.4307
	a2	4.4208	0.0369
	a3	-0.0998	-0.0002
	a4	0.0011	0

표 3. 거리 측정 오차

Table 3. Distance measurement error.

Classification		Camera #1	Camera #2
Specification	Resolution	1920 x 1080	1920 x 1080
	Focal length	1395.798, 1395.948	1353.173, 1349.142
	Test height	40cm-130cm	50cm - 140cm
$R^2$		0.997	0.994
MSE		1.836	2.880
MAE		1.005	1.496

리 측정 결과이다. 표 3에서 보듯이, 카메라 #1에서  $R^2$ 는 0.997, 평균절대오차(MAE)는 약 1cm, 평균제곱오차(MSE)는 약 1.8 로써 좋은 거리 예측 성능을 보인다. 카메라 #2 실험에서는 평균절대오차(MAE)는 약 1.5cm, 평균제곱오차(MSE)는 약 2.9를 측정하였는데, 카메라 #2의 경우 카메라의 radial distortion이 카메라 #1보다 매우 심하여 un-distortion 처리를 거치면서 패턴영역 경계화소가 균일화되지 않은 영향 등인 것으로 예측된다.

그림 11은 ROI 해상도 대비 수위 및 거리 측정 처리 시간을 비교한 것이다. ROI 영역을 VGA(640x480), qHD(960x540), HD(1280x720), FHD(1920x1080)으로 나누고 처리 시간을 각각 비교하였다. FHD 영상에서 광

패턴에 대한 ROI 선택 시 VGA 정도의 영역 선택이 일반적이다. 이 때 처리 시간은 57ms 정도로써 초당 17.5 프레임 처리가 가능하다. ROI 영역이 FHD일 경우 초당 4프레임을 처리하나, 현재 일반적으로 사용되고 있는 원격 강수위 측정 기법이 초당 1회 정도를 기록·전송하고 있으므로 충분한 처리 시간일 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

기존 영상식 수위 측정 방식은 교각이나 하천 등에 미리 설치된 수위표나 마커를 인식하여 처리하는 방식으로 외부 환경 변화에 따른 오염, 손상, 멸실 등의 우려가 있으며, 또한, 스모그, 안개, 연기 등으로 인하여 시야 확보가 어려울 경우 영상 촬영계를 통해 수위표나 마커 자체가 인식되지 않을 수도 있다. 또한, 수위표 인식을 위한 별도의 조명 및 카메라 설치가 어려운 환경일 경우 지지대 등의 추가적인 시설물 설치가 필요할 수도 있다. 마커 등의 참조 영상없이 순수 영상 처리만을 이용하여 교각 상의 강수위를 측정하는 방법도 제안되고 있으나, 오차 발생 확률이 높아 실제적인 사용은 어렵다. 이에, 본 논문에서는 카메라 장치와 함께 광조사 장치를 설치하여 참조 광패턴을 교각이나 보로 직접 조사하는 방법을 이용함으로써, 기존의 수위표 오염, 손상, 멸실 등을 문제에서 벗어날 뿐 아니라, 능동형 광조사를 통한 패턴의 사용으로 난시야(亂視野)환경 (열은 연기나 안개가 낀 환경, 야간 환경)에서의 가시거리 제한 상황에서도 보다 정확한 수위 및 피측정 대상과의 거리 계산이 가능하도록 하였다. 시뮬레이션 결과는 측정 거리 약 1.5m, 측정 수위 32.5cm 기준으로 수위 측정 시 평균절대오차는 3mm~6mm, 거리 측정 시 평균절대오차는 1.8cm~3cm 값을 나타내면서 비교적 좋은 예측 성능을 보이고 있다.

#### REFERENCES

- [1] Y.S. Kim, J.H. Seong, and J.H. Lee, "Analysis of the Recent Flood Characteristics in Korea," *Magazine of Korea water resources association*, Vol. 47, no. 5, pp. 35-40, 2014.
- [2] C.W. Park and H.S. Park, "A water level measurement system using pressure sensor," *Proceedings of the KIEE Conference*, pp. 2708-2710, 2005.
- [3] B.Y. Lee, J.C. Park, S.W. Jang, and J.S. Han, "Observation characteristic of float-well type water-level recorder," *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*, pp. 209-210, 2006.
- [4] J.H. Eom, "Characteristic consideration of ultrasonic wave based level sensor for non-contacting type water-level recorder," *Environmental engineer*, Vol. 162, pp. 30-36, 2000.
- [5] D. Brumbi, "Low power FMCW radar system for gaging," *IEEE MTT-S international microwave symposium digest*, Vol. 3, pp. 11-16, 2000.
- [6] K.U. Shin and S.T. Hong, "Best Measurement Capability and Standard Test Facility for the Water-level Gauges," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, Vol. 13, no. 10, pp. 1012-1017, 2007.
- [7] J.S. Shin and D.S. Kang, "A Study on Measure Method of Water Level Using Marker Recognition and Rotation Algorithm," *Journal of KIIT*, Vol. 11, no. 5, pp. 167-173, 2013.
- [8] U. Hwang, J.S. Yoo, and J.C. Jeong, "Computer Vision based Water-level Detection," *Proceedings of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference*, pp. 303-306, 2013.
- [9] J. Yu and H. Hahn, "Remote detection and monitoring of a water level using narrow band channel," *Journal of information science and engineering*, Vol. 26, pp. 71-82, 2010.
- [10] "The Constrained Application Protocol (CoAP)" *IETF RFC 7252*, 2014. 06.
- [11] Z. Zhao, W.C. Lee, L.Y. Shin, and K.B. Song, "An Optimal Power Scheduling Method Applied in Home Energy Management System Based on Demand Response," *ETRI journal*, Vol. 35, no. 4, pp. 677-686, 2013.
- [12] S. Suzuki and K. Abe, "Topological structural analysis of digitized binary images by border following," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 30, no. 1, pp. 32-46, 1985.
- [13] U. Ramer, "An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 1, no. 3, pp. 244-256, 1972.
- [14] D. Douglas and T. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required to

represent a digitized line or its caricature," *The Canadian Cartographer*, Vol. 10, no. 2, pp. 112 - 122, 1973.

— 저 자 소 개 —

김 낙 우(정회원)

대한전자공학회논문지 TC편 제 52권 제 3호 참조

손 승 철(정회원)

대한전자공학회논문지 TC편 제 52권 제 3호 참조



이 문 섭(정회원)

2000년 충남대학교 물리학과  
석사 졸업

2003년~한국전자통신연구원  
신입연구원 재직중

<주관심분야 : 홀로그래피,  
Quantitative Phase Imaging, 광통  
신네트워크 등>



민 기 현(정회원)

2014년 광주과학기술원 정보통신  
공학과 박사 졸업

2014년~한국전자통신연구원  
연구원 재직중

<주관심분야 : 광기반 이미징, 디  
지털 홀로그래피, 스펙트로스코피  
신호 분석 등>

이 병 탁(정회원)

대한전자공학회논문지 TC편 제 52권 제 3호 참조