

협대역 영상전송을 이용한 원격 수위 계측시스템

김기중[#], 이남기^{*}, 한영준^{**}, 한현수^{**}

A Remote Measurement of Water Level Using Narrow-band Image Transmission

Kijoong Kim[#], NamKi Lee^{*}, Youngjoon Han^{**} and Hernsoo Hahn^{**}

ABSTRACT

To measure water levels from remote cites using a narrowband channel, this paper developed a difference image based JPEG communication scheme and a water level measurement scheme using the sparsely sampled images in time domain. In the slave system located in the field, the images are compressed using JPEG after changed to difference images, among which in a period of data collection those showing larger changes are sampled and transmitted. To measure the water level from the images received in the master system which may contain noises caused by various sources, the averaging scheme and Gaussian filter are used to reduce the noise effects and the Y axis profile of an edge image is used to read the water level. Considering the wild condition of the field, a simplified camera calibration scheme is also introduced. The implemented slave system was installed at a river and its performance has been tested with the data collected for a month.

Key Words : Water level measurement (수위계측), Difference image (차영상), Narrow band image transmission (협대역 영상 송신), Camera calibration (카메라 보정)

1. 서론

최근 수자원이 국가의 소중한 자원으로 인식¹되면서 수자원 확보 및 공급의 안정화를 위한 기초자료와 국가적인 수자원 양의 계량화가 필수적으로 요구되고 있다. 또한 농·어업 등에 대한 활용, 홍수나 태풍 등의 재해 예·경보를 위한 자료, 기타 수문 관련 연구 목적 등에서 많은 수요가 창출되고 있다. 이러한 수자원 양을 계측하기 위해 사용

하는 수위 계측방법은 크게 압력식, 초음파식, 열식, 영상 정보를 이용한 방식 등 크게 4 가지로 분류할 수 있다.²⁻⁶

압력식은 일반적으로 물이 가지는 질량과 중력가속도가 곱해져 단위 면적당 힘이라는 형태로 표시되며 단위 면적 위에 존재하는 물의 양으로 환산하여 수위를 결정하게 된다.⁷ 압력식 센서들은 대부분 수입에 의존하고 있으며 장기간 사용할 때에는 자주 센서를 보정해야 하며 수압에 의한

☛ 접수일: 2007 년 5 월 17 일; 게재승인일: 2007 년 8 월 26 일

교신저자 : 숭실대학교 전자공학과

E-mail: skyainesis@ssu.ac.kr Tel. (02) 821-2050

* 제아정보통신부

** 숭실대학교 정보통신전자공학부

잡은 고장 등의 단점을 가지고 있다. 초음파식은 초음파 센서에서 발사된 초음파 펄스가 피측정물(액체 또는 분체)의 표면에서 반사되어 들어오는 시간을 측정하여 수위를 계측하는 방식이다.⁸ 이러한 초음파 방식은 탐지 거리의 제한, 장애물이나 외부환경의 변화 시에 이상 관측, 수면에 부유물질이 있을 때의 오차등과 같은 단점을 가지고 있다.⁹ 열식의 측정원리는 고온의 고체가 저온의 유체와 접촉하고 있을 경우, 고체표면으로부터 유체로 대류에 의한 열전달이 발생하여 고체의 냉각이 이루어지며, 이때 발생하는 고체의 온도 강하는 고체와 유체의 온도차와 접한 면적, 유체의 종류 등에 의해 결정된다는 것이다.¹⁰ 열식의 단점으로는 열적 특성을 고려한 절연 설계가 필요하다는 점, 계측지점에서의 적정 발열량 제어가 있어야 하는 점, 그리고 특수한 분야¹¹에서만 활용이 가능하다는 단점을 가지고 있다.

이와 같이 측정이 부분적인 정보를 활용하는 위의 3 가지 방식과는 달리, 영상정보를 이용한 방식은 수위측정의 기준이 되는 수위표를 직접 촬영하여 수위 정보와 수위표 영상을 눈으로 직접 확인할 수도 있고, 수위를 주변의 고정물과 대비한 광역정보를 동시에 제공해주기 때문에 정확하고, 효율적으로 수위를 측정할 수 있다. 또한 주위 영상을 실시간으로 전송함으로써 현장에 방문하지 않고 주변 상황을 모니터링 할 수 있는 점이 영상을 이용한 수위 계측 시스템의 큰 장점이라 할 수 있다.¹²⁻¹³ 하지만 이러한 영상 수위 감시 및 계측 방법 역시 정보량이 큰 감시 영상의 저장 공간을 확보해야 하는 문제, 많은 지역이 광대역 통신 채널이 확보되지 않아 영상정보의 데이터를 실시간으로 보낼 수 있는 통신망을 확보해야 하는 문제점들을 안고 있다.

이런 문제점들을 해결하고 영상기반 측정시스템의 다양한 장점을 최대한 활용하기 위해, 본 논문에서는 협대역 통신망에서 실현이 가능한 영상 정보 기반의 원격 수위 계측 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 영상정보를 이용한 원격 수위계측 시스템은 Fig. 1 에서 보여주는 것처럼 크게 세 부분으로 구성된다.

첫 번째는 카메라에서 획득된 영상에 기반한 수위 계측기(카메라 및 슬레이브 컴퓨터로 구성됨), 두 번째는 원격지에서 관찰지로 영상을 전송하는 영상 송신장치(수위 계측기와 공유하는 슬레이브

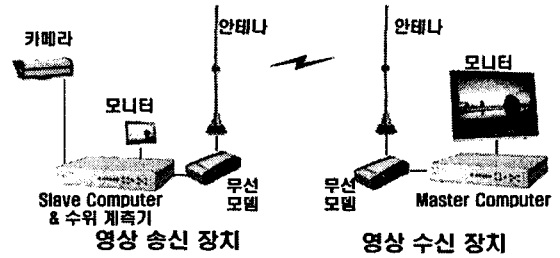


Fig. 1 System configuration

컴퓨터와 무선모뎀으로 구성), 마지막으로 전송된 영상을 복원하여 결과 영상을 표출하는 영상수신장치(마스터 컴퓨터, 모니터, 그리고 무선모뎀으로 구성)이다.

수위 계측기는 카메라 보정과 입력 영상의 영상처리 기법을 이용하여 원거리 관측지점에서 수위를 계측한다. 송신장치에서는 차영상 기반의 JPEG 방식으로 영상을 압축하여 수위 데이터와 함께 영상 수신장치로 전송한다. 수신장치에서는 참조영상과 수신한 압축 영상정보를 이용하여 원 영상을 복원하고 수위 데이터와 함께 복원영상을 모니터에 출력한다. 차영상은 참조영상과 현재영상의 차로부터 구해지며 JPEG 방식으로 압축된다. 압축된 차영상은 홍수 예경보 협대역 주파수 대에서 고속으로 전송이 가능하여 감시 영상의 저장 공간도 크게 줄일 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 카메라 보정 기법, 영상 기반 수위계측시스템에 대해 설명하고, 3 장에서는 차영상 JPEG 압축 기법에 대해 설명한 후 영상 송신장치 및 영상 수신장치에 대해 고찰한다. 4 장에서는 영상 기반 수위계측 시스템의 정확성을 시험하며, 현장 적용 실험을 통해 제안하는 시스템에 대한 평가를 수행한다.

2. 영상 기반 수위 계측기법

영상정보를 분석하여 수위를 계측하기 위해서는 카메라 보정 과정이 선행되어야 한다. 카메라 보정은 실세계 좌표상의 한 점이 컴퓨터 영상 좌표상의 어느 점과 일치되는지, 혹은 역으로 컴퓨터 영상 좌표의 한 점이 실세계 좌표계의 어느 위치에 대응하는지를 결정하기 위한 내부변수와 외부변수들을 결정하는 과정이다. 본 논문에서는 카

메라 렌즈에 의해서 발생하는 왜곡을 선형 처리하였으며, 참조물체에 포함된 다수의 특징점들을 이용하여 보정하는 방법을 사용하였다.

2.1 참조물체를 이용한 카메라 보정기법

카메라의 외부변수를 측정하는 과정을 단순화하기 위해 참조물체의 특징점들은 같은 평면에 위치한다고 가정한다. Fig. 2 에서처럼 5 개의 특징점들은 물체 좌표계{O}의 XY 평면상에 놓인다.

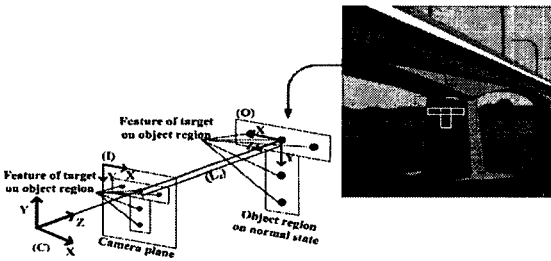


Fig. 2 Pin-hole camera model to project ${}^C P_i$ on the image frame

각 특징점 ${}^O P_i$ 는 식 (1)과 같이 물체 좌표계 {O}에서의 동차벡터로 표현된다.

$${}^O P_i = ({}^O X_i, {}^O Y_i, {}^O Z_i, 1)' \quad (i = \{1, 2, \dots, 5\}) \quad (1)$$

그리고 카메라 좌표계 {C}에서 대응되는 참조물체의 특징점의 위치는 ${}^C P_i$ 로 표현한다. 식 (2)는 물체 좌표계와 카메라 좌표계 사이의 관계식을 보여준다.

$${}^C P_i = {}^C H_0 \cdot {}^O P_i$$

$${}^C H_0 = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, 동차행렬 ${}^C H_0$ 는 물체 좌표와 카메라 좌표간에 관계를 표현하며 R 은 회전행렬이고 T 는 이동벡터이다.

카메라 좌표에서의 각각의 특징 점 ${}^C P_i$ 는 핀홀 카메라 모델에 의해 2 차원 영상 좌표점으로 투영된다. 핀홀 카메라 모델을 사용한 투시사상은 카메라 좌표의 3 차원 점 ${}^C P_i = ({}^C X_i, {}^C Y_i, {}^C Z_i, 1)$ 를 식

(3)을 이용하여 영상 좌표의 한 점 $p_i = (x_i, y_i, 1)$ 으로 투영한다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{{}^C Z_i} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^C X_i \\ {}^C Y_i \\ {}^C Z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 f 는 카메라의 초점거리이다.

영상좌표의 p_i 와 대응되는 물체 좌표의 ${}^C P_i$ 사이의 관계를 얻기 위해 p_i 는 식 (4)로부터 컴퓨터 영상 좌표 상에서 카메라의 내부변수를 사용하여 표현된다.

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fs_x & fs_y & u_0 \\ 0 & fs_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서, fs_x 와 fs_y 는 각각 영상 화소의 수평과 수직의 단위크기이다. fs_0 는 0 에 가까운 영상 화소의 비틀림이다. 그리고 (u_0, v_0) 는 카메라 렌즈의 광학 축이 컴퓨터 영상 공간에 투사된 좌표점이다. 이들 카메라 내부변수에 대한 값은 카메라 외부변수를 결정하기 전에 Tsai 의 알고리즘으로 결정하였다.¹⁴

특징점들은 Fig. 2 처럼 물체 좌표계 {O}의 동일 X-Y 평면에 위치하기 때문에, Z 좌표는 0 이고 ${}^C P_i = ({}^C X_i, {}^C Y_i, 0, 1)$ ($i = 1, 2, \dots, 5$)로 표현된다. 이러한 점들은 컴퓨터 영상 좌표에서 (u_i, v_i) 로 표현되며 식 (2)-(4)로부터 다음의 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$fs_x \cdot {}^O X_i \frac{R_{11}}{T_z} + fs_x \cdot {}^O Y_i \frac{R_{12}}{T_z} - (u_i - u_0) \cdot {}^O X_i \frac{R_{31}}{T_z} - (u_i - u_0) \cdot {}^O Y_i \frac{R_{32}}{T_z} + fs_x \frac{T_x}{T_z} = u_i - u_0$$

$$fs_y \cdot {}^O X_i \frac{R_{21}}{T_z} + fs_y \cdot {}^O Y_i \frac{R_{22}}{T_z} - (v_i - v_0) \cdot {}^O X_i \frac{R_{31}}{T_z} - (v_i - v_0) \cdot {}^O Y_i \frac{R_{32}}{T_z} + fs_y \frac{T_y}{T_z} = v_i - v_0 \quad (5)$$

물체 좌표에서 5 개의 특징 점들의 좌표를 식 (5)에 대입하면 모든 요소들을 포함하는 식 (6)이

얻어진다.

$$AK = B$$

$$K = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{21} & R_{22} & R_{31} & R_{32} & T_x & T_y \\ T_z & T_z & T_z & T_z & T_z & T_z & T_z & T_z \end{bmatrix}^T$$

$$B = [u_1 - u_0 \quad v_1 - v_0 \quad u_2 - u_0 \quad v_2 - v_0 \quad \dots \quad u_n - u_0 \quad v_n - v_0]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} f_x^0 X_1 & f_x^0 Y_1 & 0 & 0 & -(u_1 - u_0) X_1 & -(u_1 - u_0) Y_1 & f_x & 0 \\ 0 & 0 & f_y^0 X_1 & f_y^0 Y_1 & -(v_1 - v_0) X_1 & -(v_1 - v_0) Y_1 & 0 & f_y \\ f_x^0 X_2 & f_x^0 Y_2 & 0 & 0 & -(u_2 - u_0) X_2 & -(u_2 - u_0) Y_2 & f_x & 0 \\ 0 & 0 & f_y^0 X_2 & f_y^0 Y_2 & -(v_2 - v_0) X_2 & -(v_2 - v_0) Y_2 & 0 & f_y \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_x^0 X_n & f_x^0 Y_n & 0 & 0 & -(u_n - u_0) X_n & -(u_n - u_0) Y_n & f_x & 0 \\ 0 & 0 & f_y^0 X_n & f_y^0 Y_n & -(v_n - v_0) X_n & -(v_n - v_0) Y_n & 0 & f_y \end{bmatrix} \quad (6)$$

특징점들의 좌표값 대입에 의해 최소자승법 (least mean square method)을 이용하여 **K** 벡터는 식 (7)로부터 계산된다.

$$K = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (7)$$

K 벡터에서 T_z 는 회전행렬(**R**)에서 열벡터들이 직교한다는 특성과 T_z 가 f 보다 매우 크다는 조건을 이용하여 다음 식 (8)로부터 측정할 수 있다.

$$T_z = f + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{K_1^2 + K_3^2 + K_5^2}} + \frac{1}{\sqrt{K_1^2 + K_3^2 + K_5^2}} \right) \quad (8)$$

여기서 K_i 는 벡터 **K** 의 i 번째 요소이다. T_z 의 해가 얻어짐으로써 카메라 좌표와 물체 좌표 사이의 관계식인 동차변환행렬 cH_0 가 구해진다. 동차변환행렬 cH_0 는 물체 좌표상에 한 점을 카메라 좌표계로 변환시키며 카메라 내부변수를 통해 카메라 좌표점은 컴퓨터 영상 좌표점으로 변환된다.

2.2 수위 계측기법

카메라에서 획득된 입력 영상으로부터 수위를 계측하기 전에 교각의 윗부분에 참조물체를 설치하고 카메라를 고정시킨 후, 앞 절에서 제안한 카메라 보정 알고리즘을 적용하여 물체 좌표에 대한 카메라의 외부변수를 결정한다. 카메라 보정을 마치면 참조물체를 제거한 후 영상전송 및 수위 계

측을 위해 차영상 기반 JPEG 압축방식을 통해 영상을 전송한다.

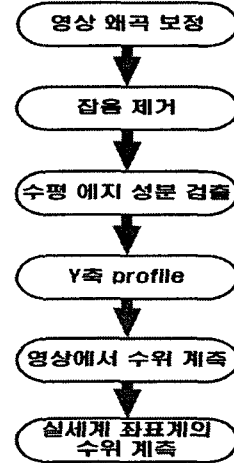


Fig. 3 The process of determining the water level from field image

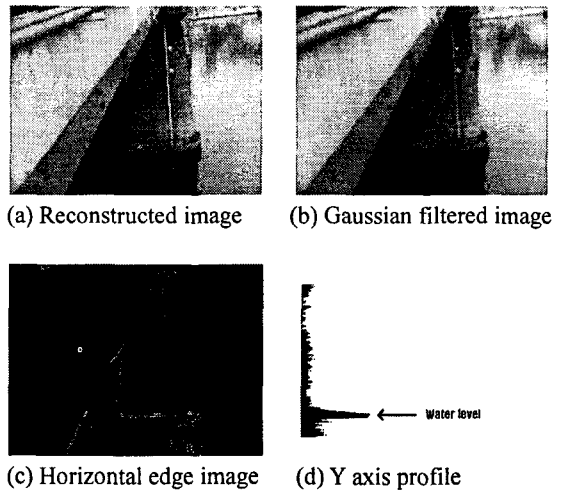


Fig. 4 Images processing for water level

카메라로부터 획득된 입력영상으로부터 수위 계측을 위해 Fig. 3 의 제안하는 알고리즘을 적용한다. 먼저, Fig. 4(b)처럼 수위 계측기는 영상 잡음을 줄이기 위해 Fig. 4(a)의 입력영상에 대해 저주파 공간적 필터링을 수행한다. 그리고, 영상에서 수평 성분의 물 높이를 검출하기 위해 수평 에지 검출 알고리즘을 적용한다(Fig. 4(c)). 마지막으로 Fig. 4(d)처럼 에지 검출 성분을 Y 축에 투영시켜

Y 축 프로파일(Profile)을 얻어 영상 좌표의 수위점 $p_i(x_i, y_i)$ 를 찾아낸다. Fig. 4(c)에서 보듯이 물 높이를 측정하는 계측 범위를 교각 부근으로 제한하면 영상에서 객체는 크게 교각과 물로 분리될 수 있다.

카메라의 X 축이 수면과 평행하게 설치됨으로 물의 경계는 교각에서 가장 긴 수평선으로 나타난다. 따라서, Fig. 4 처럼 수평 에지 영상은 소벨 마스크(sobel mask)¹⁵를 사용하여 추출하고 교각에서 Y 축으로 에지 성분을 투영함으로써 가장 큰 값을 가지는 수평선의 위치를 찾는다.

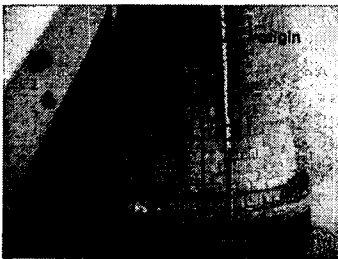


Fig. 5 method of measuring water level

Fig. 5 는 Y 축 프로파일(Profile) 영상의 수평선의 Y 좌표를 이용하여 수위를 계측하는 방법을 보여준다. 물체 좌표계 {O}의 Y 축이 그림처럼 교각의 수직 축과 평행하도록 설치되며 D 는 참조 물체의 원점과 수면과의 거리를 의미한다. 따라서 실제 수위는 다음 식 (9)로 결정된다.

$$L_{water} = L_{Origin} - D \quad (9)$$

여기서, L_{water} 는 측정된 실제 수위를 의미하며 L_{origin} 은 참조물체 원점의 실제 높이이다. 따라서 실제수위는 기준점에 대한 물체좌표 원점의 높이로부터 기준점과 수면과의 거리 D 의 차이로 결정된다.

3. 고속 영상전송 기법

영상전송 시스템은 영상 송신장치와 영상 수신장치로 이루어진다. 영상 전송장치는 인간이 접근하기 어려운 곳에 설치되어 원격으로 제어된다. 또한, 카메라 영상으로부터 구해진 참조영상과 차영상은 JPEG 방식으로 압축되어 영상 수신장치에 전

송된다. 영상 수신장치는 차영상을 받아 참조영상에 더함으로써 원영상을 복원한다.

3.1 차영상 기반 JPEG 압축 영상전송 기법

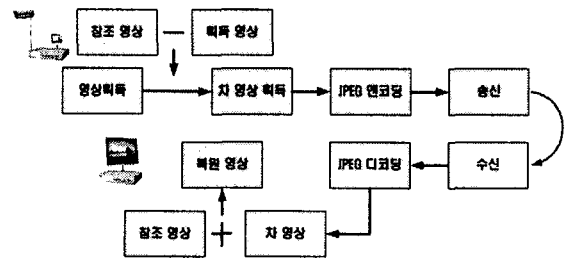


Fig. 6 Block diagram of Algorithm of a Image Transmission

Fig. 6 은 본 논문에서 제안하는 차영상 기반 JPEG 압축 영상 전송 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 먼저, 차영상이 전송되기 전에 참조영상에 해당되는 배경영상을 무손실 방식으로 JPEG 압축시켜 수신장치에 전송한다. 송신장치와 수신장치에 동일 참조영상이 준비되면, 전송 채널을 통해 압축된 차영상을 전송한다.

차영상은 카메라에서 얻어진 현재영상과 사전 준비된 참조영상의 차로부터 구해지며 손실 JPEG 방식으로 압축된다. 압축된 차영상 정보는 초단파(VHF: very high frequency) 모뎀을 사용하여 9600bps 속도로 전송된다. 수신장치는 손실 JPEG 방식으로 압축된 차영상 정보를 받아 참조영상을 이용하여 영상을 복원한다.

3.2 차영상 기반 JPEG 압축 기법

위와 같이 9600bps 의 통신대역폭에서 고속으로 영상을 전송하려면 무엇보다도 전송 데이터 크기를 줄여야 한다. 본 논문에서는 9600bps 협대역 전송채널에서 영상을 전송하기 위해, 전송장치에서 추출된 차영상을 정지영상에서 뛰어난 압축률을 보이는 손실 JPEG 방식으로 압축한다.¹⁵ Fig. 7 은 차영상을 기반으로 한 JPEG 압축 기법의 흐름을 보여준다.

손실 JPEG 압축을 위한 차영상($R_d(x,y), G_d(x,y), B_d(x,y)$)은 다음 식과 같이 사전 준비된 참조영상($R_r(x,y), G_r(x,y), B_r(x,y)$)으로부터 현재영상($(R_c(x,y), G_c(x,y), B_c(x,y))$)을 뺌으로써 추출된다.

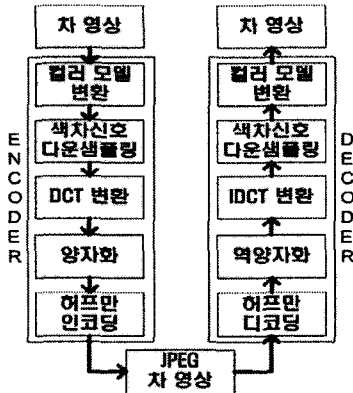


Fig. 7 Block diagram of algorithm for JPEG compression based on difference image

$$\begin{aligned}
 R_d(x, y) &= (R_r(x, y) - R_c(x, y) + 255) / 2 \\
 G_d(x, y) &= (G_r(x, y) - G_c(x, y) + 255) / 2 \\
 B_d(x, y) &= (B_r(x, y) - B_c(x, y) + 255) / 2
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

여기서, 밀침자 d 는 차영상(Difference image)을, 밀침자 r 은 참조영상(Reference image)을, 그리고 밀침자 c 는 현재영상(Current image)을 표현한다. Fig. 8 은 차영상을 추출하는 과정의 예를 보여준다.

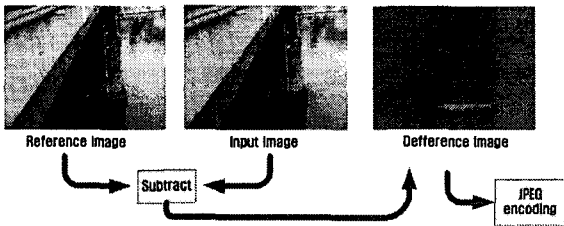


Fig. 8 Difference image extraction

전송된 JPEG 압축 차영상은 Fig. 7 의 Decoder 를 거쳐 압축 해제 된다. 압축 해제 후 영상을 복원하는 과정은 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_r(x, y) &= R_c(x, y) - (R_d(x, y) \times 2 - 255) \\
 G_r(x, y) &= G_c(x, y) - (G_d(x, y) \times 2 - 255) \\
 B_r(x, y) &= B_c(x, y) - (B_d(x, y) \times 2 - 255)
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

여기서, 밀침자 d 는 차영상(Difference image)을, 밀침자 r 은 참조영상(Reference image)을, 그리고 밀침자 rc 는 복원영상(Reconstruct image)을 의미한다.

Fig. 9 는 JPEG 압축 차영상의 압축해제 후 복원하는 과정을 보여준다.

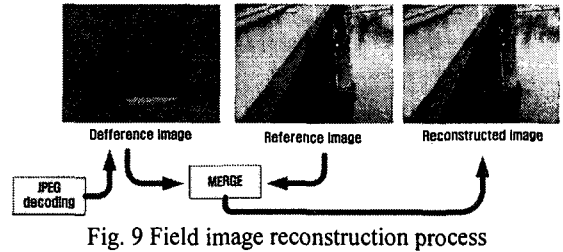


Fig. 9 Field image reconstruction process

차영상은 참조영상과 현재영상의 차이값에 255 를 더한 후 2 로 나누어 보정하였기 때문에 영상이 변한 부분을 제외하고는 데이터의 대부분이 유사한 RGB 값(예: 128-130)을 가지게 되므로 압축률이 높아진다.

4. 실험

제안하는 수위 계측 시스템의 마스터 컴퓨터와 슬레이브 컴퓨터는 환경을 고려하여 Pentium 4 급의 산업용 컴퓨터를 사용하였고, 영상 포착기는 640×480 해상도의 영상을 15fps 로 획득이 가능한 Matrox 의 CronosPlus 를 사용하였다. 수위계측을 위해 카메라에서 입력되는 640×480 해상도의 칼라 영상을 사용하였으며, 협대역 통신망에서 실시

Table 1 Specification of an image send-recv system

Camera	SCC-B2305 (Zoom: GL-A80Z10C - 10 배)
Computer	Pentium 4 (1GHz) , Memory : 512 M HDD : 250Gbytes * 2, OS : Windows XP Pro SP2
Frame grabber	Matrox CronosPlus 640 * 480, 12.27Mhz (similar NTSC resolution and frame rate)

Table 2 Specification of a wireless modem

Frequency Range	150~170 MHz
Channel Spacing	6.25 kHz
Modulation technique	DBPSK, DQPSK, D8PSK, and D16QAM
Max. distance range	50 miles / 80 km
Maximum data transfer rate	9.6Kbps

간으로 영상을 전송하기 위해 320×240 해상도의 크기로 입력 영상을 줄였다. 본 논문에서 사용되는 시스템 각각의 명세를 Table 1 에, 사용된 모델의 명세를 Table 2 에 각각 명시하였다. 여기서 영상정보를 전송하기에 매우 제한적인 홍수 예·경보 주파수 대의 무선모델은 기존 홍수 재난 통신망과의 수월한 연동과 주파수 입대를 피할 수 있는 장점을 가지고 있다.

제안하는 시스템의 성능을 평가하기 위해 참조물체 영상을 이용한 카메라의 보정을 통한 수위 계측의 정확성, 차영상 기반 JPEG 압축 방식에 의한 전송률과 수위 계측을 위한 현장 적용 등의 3 가지 실험을 수행하였다.

4.1 참조 물체 영상을 이용한 카메라 보정을 통한 수위 계측의 정확성에 관한 실험

참조물체 영상으로부터 카메라 보정을 수행한 후 물체 좌표 상에 놓인 수면의 높이를 정확하게 계측하기 위해, 참조물체 영상에 대한 카메라 보정의 외부 변수가 정확하게 측정되어야 한다. 영상을 통한 카메라의 자세 측정에서는 크게 영상 내의 잡음과 카메라 렌즈 왜곡으로부터 오차가 발생하게 된다. 이러한 변수들은 카메라와 참조물체의 사이의 상대적 위치에 따라 자세 측정값의 정확도에 영향을 준다. 카메라 자세 측정의 정확성에 대한 실험은 물체 좌표에 대해 카메라 좌표를 (0.00, 0.00, 50.00m)에 위치시킨 상태에서 카메라 각 축의 회전운동과 병진운동에 관한 실험을 수행하였다. 원거리의 참조물체의 특징점들을 검출하기 위해 10 배줌이 가능한 렌즈를 사용하였다. 실험 결과는 Table 3 에 보여준다.

각 축에 대한 회전 변위는 10[deg]씩이며, 2 개 축의 조합된 변위를 가진다. 회전운동에 대한 평균 오차는 0.14[deg]이며, 평균 분산값은 1.04[deg²]이다. 영상에서 광학축에 대한 회전성분의 잘 표현되기 때문에 롤링(Rolling)에 대한 측정이 요잉(Yawing)이나 피칭(Pitching)보다 평균에러와 분산값이 상대적으로 작다. 병진운동에 대한 평균 오차는 0.83[cm]이며, 평균 분산값은 1.82[cm²]이다. 카메라와 참조물체 사이의 거리는 50m 에 대해 실험하였다. 또한 참조물체의 특징점 사이의 물리적 간격이 클수록 병진운동에 대한 측정값이 정확하다.

Table 4 는 카메라 보정이 성공적으로 수행된 후, 수위 계측의 정확성에 관한 실험을 3 가지 실험한

Table 3 Experimental result of camera movements

(a) Rotation results

Experimental environments[deg]			Avg. err. [deg]	Variance [deg ²]
Pitching	Yawing	Rolling		
±10	0	±10	0.86	1.03
0	±10	±10	0.94	1.05
±10	±10	0	0.98	1.06
No movements			0.03	1.05
Average			0.14	1.04

(b) Translation results

Experimental environments[cm]			Avg. err. [cm]	Variance [cm ²]
X axis	Y axis	Z axis		
+200	0	±1500	0.88	1.89
0	±1000	±1500	0.94	2.10
+200	±1000	0	0.96	2.17
No movements			0.57	1.13
Average			0.83	1.82

Table 4 Experimental results about moving point

Experimental environments		Avg. err. [cm]	Variance [cm ²]
Camera position	Translation		
T(700,-1300,3000) R(25,-15,-90)	+250	0.60	1.31
	+500	0.59	1.40
	+750	0.56	1.15
Average		0.58	1.29
T(700,-1300,5000) R(14,-8,-90)	+250	0.83	1.93
	+500	0.75	1.86
	+750	0.72	1.98
Average		0.77	1.92
T(700,-1300,7000) R(10,-6,-90)	+250	1.29	2.51
	+500	1.16	2.03
	+750	1.08	2.13
Average		1.18	2.22

경에서 수행한 결과이다. 카메라 좌표에 관해 물체 좌표를 XYZ 축으로 (30, 20, -90)만큼 회전시킨 상태에서 (700, -1300, 3000), (700, -1300, 5000), 그리고 (700, -1300, 7000)에 병진 이동시키면서 수위 계측하는 실험을 수행하였다. 수위 계측을 위해 물체 좌표의 +Y 축 방향으로 지름이 100cm 인 빨간

색 점을 250cm 만큼 증가시키면서 750cm 일 때까지 계측하는 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 카메라의 위치에 따라 카메라의 방위각이 정해진다. 그러나, 카메라의 위치와 방위각은 실험이 이루어지는 동안 고정된 값을 가지기 때문에 이러한 변위에 대해 고려하지 않는다. 따라서, 실험결과에 차이는 카메라와 참조물체와의 상대거리인 Z 축에 대한 변위에 의해 결정된다. 참조물체와 대상물의 거리가 30m 일 때의 평균에러는 0.58[cm]이며, 평균 분산값은 1.29[cm²]이다. 50m 일 때와 70m 일 때의 실험결과를 비교해 보면, 참조물체와의 거리에 반비례함을 알 수 있다. 가장 큰 요인으로는 카메라의 해상도에 따른 영상 내에서의 대상물체의 크기의 변화를 꼽을 수 있다. 또한 직관적으로 이해할 수 있는 거리의 증가에 따른 오차범위의 증가도 하나의 요인으로 작용한다고 볼 수 있다.

이들 실험들의 결과는 카메라 보정의 에러를 줄이기 위한 참조물체의 특징점 선별이나 측정 잡음에 대한 정보를 제공한다.

4.2 제안하는 시스템의 압축 전송률과 현장 적용 실험

제안한 시스템의 압축 전송률과 현장 적용 실험을 위해 낙동강 유역의 가산 관측소에서 관측 교량과 직선 거리로 60m 떨어진 곳에 슬레이브 컴퓨터와 카메라를 설치하였으며 마스터 컴퓨터는 2Km 떨어진 곳에 설치하여 관측하였다. 야간이나 비 오는 날에 외부조명을 켜서 조명의 영향을 최소화했다.

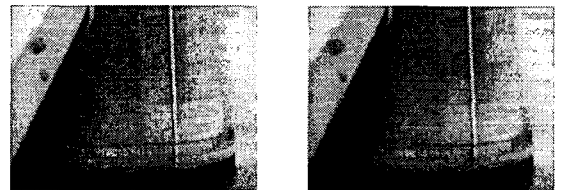
Table 5 Average compressibility by image quality

Q	Reference image (Kbytes)	Difference image (KBYTES)
100	50	30
90	24	14
80	13	10
70	11	4

Table 5에서는 영상의 질에 대한 수준(Q)에 따른 압축률을 보여준다. 영상은 320×240 크기의 칼라영상으로 영상품질이 70%일 때 원영상은 11

Kbytes 이지만, 차 영상은 4Kbytes 로서 뛰어난 압축률을 보인다. 이러한 압축률은 9600bps 의 협대역 통신채널에서도 고속전송이 가능하다는 것을 보여준다. 실험에서 참조영상의 갱신은 1 시간 주기로 하였으며 이것은 사용자가 환경을 고려하여 조정할 수 있다. 차 영상 전송은 평균 4.5 초가 걸렸으며 분당 16frame 을 전송하는 수준이다. 전송 시간은 아무런 변화가 일어나지 않았을 경우에는 영상 데이터가 1kbytes 전후로 나타나기 때문에 아주 높은 전송속도를 보였으며 변화가 크면 클수록 전송속도는 지연되었다. 하지만 실제 수위는 몇 초 만에 급격하게 변화하는 것이 아니기 때문에 수위를 계측하는데 있어서 전송속도는 크게 문제가 되지 않았다.

Fig. 10(a)는 마스터 시스템에서 전송된 차영상을 복원한 영상이다. Fig. 10(b)는 이 영상을 흑백영상으로 변환 후 가우시안 필터링을 거쳐 노이즈를 제거한 영상을 보여주고 있다. Fig. 10(c)는 수평 에지 영상이며 이 영상의 Y 축 프로파일링 영상이 Fig. 10(d)이다. Fig. 10(d)의 기준 수위는 이미 알고 있으므로 식 (9)를 이용하여 수위를 구한다.



(a) Reconstructed field image (b) Gaussian filtered image



(c) Horizontal edge image (d) Y axis profile

Fig. 10 Images used in the experiments

Table 6 과 7 은 관측소에서 수위표와 초음파 수위 계측기, 그리고 제안하는 시스템을 이용하여 맑은 날과 비 오는 날에 각각 계측하여 성능을 비교하여 도시한 것이다. Table 6 은 2006년 7월 4일 맑은 날에 측정된 비교 수위이고, Table 7 은 2006

년 7 월 20 일 비 오는 흐린 날 측정한 비교 수위를 각각 나타낸다.

Table 6 Water level measurement per hour on sunny day

Time	Eyes (m)	Ultrasonic Sensor		Image Sensor	
		Measurement(m)	Abs. error(m)	Measurement(m)	Abs. error(m)
6:00	1.54	1.56	0.02	1.55	0.01
7:00	1.50	1.50	0.00	1.50	0.00
8:00	1.48	1.46	0.02	1.47	0.01
9:00	1.42	1.41	0.01	1.42	0.00
10:00	1.38	1.39	0.01	1.39	0.01
11:00	1.37	1.37	0.00	1.37	0.00
12:00	1.37	1.38	0.01	1.37	0.00
13:00	1.39	1.40	0.01	1.42	0.02
14:00	1.42	1.43	0.01	1.44	0.02
15:00	1.43	1.43	0.00	1.41	0.01
16:00	1.45	1.45	0.00	1.44	0.00
17:00	1.46	1.47	0.01	1.46	0.00
18:00	1.46	1.46	0.00	1.46	0.00
19:00	1.43	1.45	0.02	1.44	0.01
Avg.			0.0076		0.0064

Table 7 Water level measurement per hour on rainy day

Time	Eyes (m)	Ultrasonic Sensor		Image Sensor	
		Measurement(m)	Abs. error(m)	Measurement(m)	Abs. error(m)
6:00	4.94	4.97	0.03	4.96	0.02
7:00	4.90	4.92	0.02	4.91	0.01
8:00	4.89	4.90	0.01	4.91	0.02
9:00	4.88	4.90	0.02	4.90	0.02
10:00	4.87	4.85	0.02	4.89	0.02
11:00	4.82	4.80	0.02	4.85	0.03
12:00	4.79	4.82	0.03	4.81	0.02
13:00	4.76	4.79	0.03	4.78	0.02
14:00	4.70	4.72	0.02	4.73	0.03
15:00	4.70	4.73	0.03	4.71	0.01
16:00	4.69	4.72	0.03	4.72	0.03
17:00	4.66	4.68	0.02	4.68	0.02
18:00	4.64	4.67	0.03	4.66	0.02
19:00	4.62	4.63	0.01	4.63	0.00
Avg.			0.02285		0.01928

각각의 표에서 첫 행은 교각에 붙어있는 수위표를 눈으로 직접 읽어 측정한 수위로서 기준 수위로 사용하였다. Table 6 에서 오후 1 시부터 3 시 사이에 큰 오차는 강한 햇빛에 의해 수면의 경계가 명확하지 못한 결과이다. Table 7 에서 보이는 오차는 수면의 파고가 커짐에 따라 수면의 높이가 일정하지 못한 결과이며 초음파 센서에서도 큰 오차를 보여준다. 그리고, 갑작스런 오차가 발생하였을 시 부유물질과 같은 외부적 환경에 의한 오차

의 여부를 확인토록 하였다. 본 논문에서 제안하는 영상을 이용한 수위 측정은 초음파 센서를 이용한 수위 측정결과와 비교하여 약 15 - 18%의 우수한 성능을 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 영상 수위 측정에서 문제가 되었던 부가적인 수위표 설치, 광대역 채널 확보, 그리고 대용량의 영상을 저장하는 공간문제를 해결하였다. 카메라 보정은 참조물체를 사용하여 수행하였으며 카메라에서 획득된 입력 영상으로부터 수위를 정확하게 측정할 수 있었다. 차 영상을 JPEG 방식으로 압축하여 영상 데이터의 크기를 줄임으로써 광대역 채널의 확보 없이 홍수 예·경보 주파수 대에서 영상을 전송하였다. 본 연구에서 제안하는 수위 측정시스템은 일반적으로 주로 사용되는 초음파 센서보다 우수한 성능을 보였다.

향후 추가적인 연구과제는 눈이나 비가 내리는 악천후 또는 햇빛에 의한 영상의 잡음을 개선하여 환경에 강한 시스템을 구현하는 것이다.

참고문헌

1. Yurdusev, M. A. and O'connell, P. E., "Environmentally-Sensitive Water Resources Planning," Journal of Water Resources Management, Vol. 19, No. 4, pp. 375-397, 2005.
2. Park, C. W., Park, H. S. and Nam, H. S., "A remote water level measurement system using GIS," 2005 Summer Conference of Korea Institute of Information & Telecommunication Facilities Engineering, Vol. 1, pp. 22-26, 2005.
3. Lee, J. W., Jung, J. H., Shin, H. Y., Jung, S. Y. and Kim, S. S., "Realtime monitoring and counter-measure of flood and erosion in the railroad bridge for safe train services," Spring Conferences of Korean Society For Railway, pp. 40-46, 2006.
4. Lee, J. U. and Park, Y. K., "Weather prevention of disasters system status in preexistence railroad," J. of Korean Geotechnical Society, Vol. 22, No. 8, pp. 7-14, 2006.
5. Tokieda, Y., Sugawara, H., Niimura, S. and Fujise, T.,

- “High Precision Water Level Gauge with an FMCW Radar under Limited Bandwidth,” European Microwave Conference, Vol. 3, pp. 4-6, 2005.
6. Kim, J. T., Park, K. W. and Ju, U. J., “Reservoir Water Monitoring System with Automatic Level Meter,” Journal of the KCID, Vol. 12, No. 1, pp. 60-68, 2005.
7. Lee, B. Y. and Park, B. Y., “Development of High Precision Underground Water Level Meter Using a Buoyant Rod Load Cell Technique,” Journal of the KSAFM, Vol. 1, No. 1, pp. 1-5, 1999.
8. Um, J. H., “Inquiry of Special quality of supersonic sensor for water level by non-contact,” The Bulletin of Korea Environment Engineers Association, Vol. 162, pp. 30-36, 2000.
9. Jeong, D. H., “Water level measurement techniques by digital Way,” Proceeding of Instrumentation Technology, Vol. 13, No. 4, 2005.
10. Yoon, J. Y., Seong, N. W. and Lee, C. H., “Development of Thermal Type Fluid Level Transmitter for Water Level Measurement Containment Building in Nuclear Power Plant,” Conference of Korean Fluid Machinery Association, pp. 404-410, 2001.
11. Kothare, M. V., Mettler, B., Morari, M., Bendotti, P., and Falinower, C. M., “Level Control in the Steam Generator of a Nuclear Power Plant,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 55-69, 2000.
12. Park, Y. K., Yoon, H. T., Kim, S. J., Shin, M. H. and Jung, S. Y., “Development of Real time Flood Monitoring System composed of CCD Camera and Water Level Gauge,” Fall Conferences of Korean Society For Railway, pp. 72-76, 2004.
13. Kim, W., Kim, C. Y., Kim, D. K. and Lee, C. J., “Development of the Image Stage Gauge using the Image Process Technique,” Conferences of Korea Water Resource Association, pp. 500-504, 2006.
14. Tsai, R. Y., “A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the Shelf TV Cameras and Lenses,” IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, 1987.
15. Crane, R., “A Simplified Approach to Image Processing: Classical and Modern Techniques in C,” Prentice Hall, 1996.