

지능형 CCTV를 이용한 수위감지 경보시스템에 대한 실험 및 해석적 연구 Experimental and Analytical Study on the Water Level Detection and Early Warning System with Intelligent CCTV

SangWan Hong^{a,*}, YoungJin Park^{b,1}, HaCheol Lee^{c,2}

^a Strategic Planning Team, UDP Technology Ltd, 240-21 Yeomchang-dong, Gangseo-Gu, Seoul 157-779, Republic of Korea

^b Disaster Information Research Division, National Disaster Management Institute, 136 Mapo-daero, Mapo-Gu, Seoul 121-719, Republic of Korea

^c Dept. of Information and Communication Eng., Yuhan University, 185-34 Goean-Dong, Sosa-Gu, Bucheon, Gyeonggi-Do 422-749, Republic of Korea

ABSTRACT

In this research, we developed video analytic algorithms to detect water-level automatically and a system for proactive alarming using intelligent CCTV cameras. We applied these algorithms and a system to test-beds and verified for practical use. We made camera-selection policies and operation plans to keep the detection accuracy high and to optimize the suitability for the ever-changing weather condition, while the environmental factors such as camera shaking and weather condition can affect to detection accuracy. The estimation result of algorithms showed 90% detection accuracy for all CCTV camera types. For water level detection, NIR camera performed great. NIR camera performed over 95% accuracy in day or night, suitable in natural weather condition such as shaking condition, fog, and low light, needs similar installment skills with common cameras, and spends only 15% high cost. As a result, we practically tested water level detection algorithms and operation system based on intelligent CCTV camera. Furthermore, we expect the positive evidences when it is applied for public use.

KEYWORDS

Intelligent CCTV camera
Automatic water level detection
Accuracy deduction prevention
Proactive alarm system
NIR camera

본 연구에서는 지능형 CCTV를 이용하여 자동 수위감지 알고리즘과 사전 경보시스템을 개발하고 Test-Bed에 적용하여 실용화 가능성을 검증하고자 한다. 이를 위하여 현장여건에 적합한 지능형 CCTV 기반의 자동 수위감지 알고리즘을 개발하고 자동인식을 가변 요소에 대한 성능저하 방지대책을 수립하여 CCTV 카메라 기종별 수위감지 성능과 적합성을 평가하고 실용화에 따른 최적 적용방안을 도출한다. 그 결과, CCTV 카메라 기종별 수위감지 성능이 90%으로 도출되었다. CCTV 카메라 기종에 따른 적합성 평가 결과, 자동 수위감지용으로 NIR카메라가 정밀도에서 주·야간 95%이상의 성능을, 떨림·안개·저조도 등 자연환경에서 가장 우수한 성능을, 설치용이성에서는 일반카메라와 대등한 성능을, 가격측면에서 일반카메라 대비 15% 최소 상승분으로 가장 우수했다. 따라서 본 연구개발의 성과물인 지능형 CCTV를 이용한 수위감지 경보시스템의 실용화 가능성을 확인하였으며 향후 실용화가 예상된다.

지능형 CCTV
자동 수위감지
성능저하 방지대책
사전 경보시스템
NIR 카메라

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-2-2093-3005. Fax. 82-2-2605-1489.

Email. antony@udptechnology.com

1 Tel. 82-2-2078-7770. Email. clubpark@korea.kr

2 Tel. 82-2-2610-0846. Email. hclee@yuhan.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Mar. 08, 2014

Revised Mar. 10, 2014

Accepted Mar. 12, 2014

1. 서론

최근 기후온난화에 따른 예측하기 어려운 자연재해·인적재난이 동시 다발적으로 발생할 가능성을 감한할 때 향후 24시간 365일 효율적으로 대응하기 위한 사전 예·경보시스템 개발이 시급하다. 일례로, 임진강 수난사고('09.09) 현장에 있던 무인자동관측시스템이 사고당일 전일에 시스템 고장을 일으켰으나 시스템 설치 및 담당기관이 이를 간과하고 상황인식을 못한 점검체계상의 문제점을 들어냈다. 특히, 문제가 되었던 것은 무인자동관측시스템의 오류로 인해 수위상승에 대한 위험통지가 부재했더라도 CCTV(Closed Circuit Television)영상은 지자체 재난상황실로 입력되고 있었기 때문에 해당기관에서 상시 재난영상모니터링 미준수로 초래한 대형 인재(人災)라는 지적이다.

일반적으로 CCTV 모니터링 시점부터 의사결정 시점까지 응시 시간이 20분 이상 초과하게 되면 집중도나 업무효율성이 떨어진다고 한다. 다시 말해 재난관리를 위해 설치된 많은 CCTV를 제한된 인원으로 24시간 모니터링하며 상황대기 하기관 무리가 있다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 수위센서나 감시요원 부재로 인한 재난관리 허점을 보완하여 제2의 임진강사태방지를 위해 방범·치안에서 활용되던 지능형 영상감지기술을 재난관리에 활용하는 방안과 스마트 재난관리시스템 실용화를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 지능형 CCTV 기술 동향

2.1 국내 CCTV 도입 현황

최근 정부부처와 공공기관, 전국 지자체에서 설치 운영 중인 공공 CCTV만 35만여 대이며, 개인이 설치한 CCTV를 포함한 전체 설치 현황은 274만대 이상으로 추정하고 있다. 2010년 기준 서울 전체의 방범용 CCTV 설치 대수는 1998년 2,043대에서 300% 이상 증가한 8,197대이며 같은 기간 서울지역 범죄발생 건수는 39만 건에서 34만 건으로 약 11% 감소했다. 서울에 국한된 통계 수치라 해도 CCTV의 확장이 범죄발생 건수를 감소시키고 있음을 알 수 있어 앞으로 CCTV 수가 더욱 늘어날 가능성이 높다. 한편 2010년 3월 기준으로 서울시 1개 구청이 보유한 CCTV는 평균 450대이나, 모니터링 요원은 평균 6명에 불과하다는 점도 주목해야 할 부분이다. 현실적으로 모니터링 요원이 365일 24시간 감시하는 것은 불가능하다. 또한, 시스템의 구조적인 문제로 인하여 결정적이고 중요한 상황을 놓쳐서 문제의 원인을 확인할 수 없는 상황이 발생하기도 한다. 따라서 일반 CCTV 시스템 운영의 근본적인 문제점을 구조적으로 개선하고 사전 예방 체계로의 전환을 위해 정부에서 핵심기술로서 지능형 CCTV를 적용할 필요가 있음을 인지하고 고도화를 위한 사업을 추진하고 있다.

2.2 IP카메라 기술 현황

CCTV 시스템은 보안용 카메라, 전송장치, 저장장치 등으로 구성된다. 그 중에 가장 중요한 기능을 하는 보안용 CCTV 카메라는 주로 27만 화소 혹은 41만 화소 CCD(Charge Coupled Device) 센서 기반의 아날로그 카메라이다. 최근 디지털 카메라의 메가픽셀화와 TV의 HD(High Definition) 추세에 맞추어 IP(Internet Protocol) 카메라의 고해상도 경향이 두드러지게 되었다. 초기에는 1.3메가 해상도의 CCD 센서 또는 CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 센서로 시작한 것이 최근에는 Full frame(초당 30 프레임)의 2메가 IP 카메라가 보편화되기 시작했다. 5메가 까지도 다수 출현하고 현재 10메가 해상도의 IP 카메라 제품까지 시장에 출시되어 있다.

영상압축방식은 초기에는 MPEG으로 시작하였으나 동영상 압축방식으로 점차 전환하면서 H.263, MPEG4로 발전하고 최근에는 H.264 방식이 새로운 각광을 받기 시작했다. 동시에 다중 압축방식을 채택하는 것이 보편화되면서 H.264와 MJPEG을 동시에 지원하는 듀얼코덱이 다수 제품에 적용되고 있으며 세 가지 이상의 압축방식을 지원하는 다중코덱도 있다. 다중 압축방식 뿐만 아니라 또 다른 새로운 기술동향이 다중전송(Multiple Profile 또는 Multiple Streaming)이다. 이는 하나의 IP 카메라가 몇 개의 서로 다른 압축방식, 해상도, 프레임 수 등으로 필요한 사용자에게 동시에 전송해 주는 기술이다. 영상처리기술과 반도체 기술 등의 발전으로 이 분야에 있어서 IP 카메라에의 기술접목도 매우 빠르게 진행되고 있는 추세다.

2.3 지능형 CCTV 기술 동향

수년 전부터 나타나기 시작한 지능형 IP 카메라는 점차 시장에서 적용범위를 넓혀가고 있고, 최근 IP 카메라 활용의 또 다른 특징점으로 강력히 부상하여 시장을 주도할 가능성이 매우 크다. 이를 기술적으로 IVS(Intelligent Video System) 또는 VCA(Video Contents Analysis) 등으로 불리며, 현재 대표적으로 사용되는 지능형의 기능은 물체의 나타남·없어짐의 탐지, 경계선 침입 탐지 또는 People Counting에서부터 여러 종류의 인식 기능 즉 자동차번호판 인식, 얼굴인식 또는 행동패턴인식 등 그 활용도는 제한이 없이 점차 확장되어 가고 있는 추세다.

이러한 지능형 기능들은 소프트웨어 패키지(영상관제 소프트웨어나 중앙집중형 보안관리 소프트웨어, 또는 인식 기능 중심의 영상처리 소프트웨어 등)로 처리하는 것으로 시작되었으나 수년 전부터 이러한 기능들을 임베디드화하여 IP 카메라 자체가 지능화하는 방식으로 발전하고 있다.

지능형 영상감지 기술은 ObjectVideo, iOmniScient, AgentVi, Bosch 등의 업체가 주도하고 있으며, 물체와 상황인지 및 추적 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. Bosch Security Systems는 지능형 영상인식솔루션을 보유하고 있고, ObjectVideo는 지능형 영상인식 기능이 탑재된 오보젝트비디오 온보드(Objectvideo On-board)를 출시해 물체분석, 탐지, 식별, 실시간 통보 기능 등을 소프트웨어 패키지 형태로 제공하고 있다.

반면 국내 기업들은 CCTV와 DVR(Digital Video Recorder) 장비에서 높은 수준의 기술력을 가지고 있고, 특히 DVR에서는 외국 기술을 선도하고 있다 해도 과언이 아니나, 지능형 시스템으로의 교체 요구는 충족시키지 못하고 있다. 지능형 영상감지 기술은 대부분의 국내업체가 외산 기술을 도입하여 사용하는 현실이며, 소수의 국내 기업만이 연구개발을 통해 자체 기술력을 확보하고 있다.

3. 지능형 CCTV를 이용한 자동 수위감지 알고리즘 및 사전경고 시스템

지능형 영상감지 기술은 카메라에서 입력되는 영상을 기반으로 컴퓨터의 소프트웨어 또는 DSP(Digital Signal Processor)를 통해 실시간 영상분석(Video Analytics)하는 과정이다. 보안 관리자가 설정한 규칙(Rule)들과 비교해 이 규칙에 위반되거나 벗어나는 경우, 우선 경고(Alert)하고 해당자에게 경보(Alarm)를 전송하는 기술로써 운영요원으로 하여금 사전 예방활동(Proactive Behavior)을 가능하게 하거나 즉각적인 대응(Response)을 할 수 있도록 해 효율성을 향상시키는 차세대 기술이다.

본 연구에서는 지능형 영상감지기술을 적용하여 하천범람 위험상황을 감지·판독·분석·표출할 수 있는 기능을 구현하고 기준값 이상의 변화감지 시 경보알림 및 해당 영상 표출하는 수위감지 사전경고 시스템을 개발하여 현장 검증을 통해 검증하고자 한다.

3.1 현장 환경에 적합한 자동 수위감지 알고리즘

(1) 자동 수위감지 알고리즘 개요

실제 지능형 수위감지시스템에서 가장 중요한 요소는 낮과 밤의 변화와 같은 주위 환경의 변화이다. 자동 수위감지 알고리즘은 입력되는 영상을 분석하여 임계값을 자동으로 변경시켜 물의 영역을 찾는다. 이를 통해 사용자는 환경에 따라 임계값을 변경시키는 작업을 하지 않아도 된다.

기존의 수위감지 알고리즘은 물의 색상 정보만을 통해 물과 물이 아닌 영역을 구분한다. 야간에 조명이 밝지 않는 상황이나 폭우가 내리는 경우에는 색상 정보만으로는 물과 물이 아닌 영역을 구분하기 어렵다. 이를 해결하기 위해서 물의 색상 정보뿐만 아니라 물의 흔들림(Rippling Pattern of Water Surface)을 분석하여 물과 물이 아닌 영역을 구분한다.

또한 시간과 공간에 대한 필터링을 추가하여 빗물, 물결, 카메라의 화이트 노이즈 등 다양한 노이즈를 제거하여 안정적으로 수위분포를 분석한다.

(2) 자동 수위감지 알고리즘 수행절차

자동 수위감지 알고리즘은 Fig. 1과 같은 방식으로 수행된다.

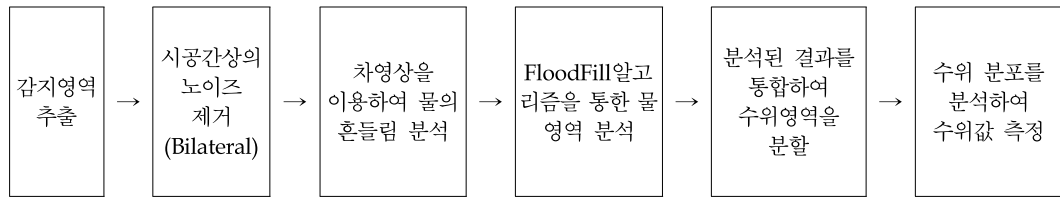


Fig. 1. Procedure for improved water level detection algorithm

VAFramework을 통해 저장된 영상파일 뿐만 아니라 실시간으로 수신한 영상을 수위감지 알고리즘의 원본 입력 영상으로 사용한다. VAFramework에서 해당 영상을 입력하여 수위감지 대상 영역을 Fig. 2과 같이 추출한다.

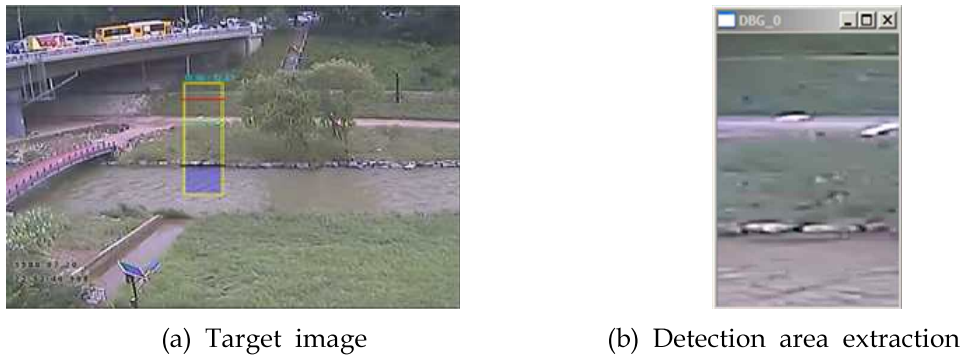


Fig. 2. Detection area extraction through VAFramework

추출한 감지 대상 영역에 대해서 Bilateral filter을 적용하여 Fig 3과 같이 수위를 측정하기 전에 경계선을 보존하고 노이즈를 줄여 수위감지 알고리즘의 성능을 향상 시킨다. Bilateral filter는 식 (1)과 같이 구성된다.

$$h(x) = k_d^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) c(\xi - x) d\xi \tag{1}$$

여기서, $f(x)$ 는 입력 영상, $h(x)$ 는 출력 영상, $c(\xi - x)$ 는 현재 영상 x 와 인접 지점의 영상 ξ 사이의 기하학적 친밀(근사)도를 측정하는 함수, $k_d(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} c(\xi - x) \xi$ 이다.



(a) Time domain noise reduction (b) Space domain noise reduction (c) Rippling pattern analysis

Fig. 3. Noise reduction and rippling pattern analysis of water surface by Bilateral filter

입력되는 영상을 일정 시간 동안 중첩시켜 중첩된 영상을 이용하여 수위 감지를 실행한다. 이를 통해서 시간상 발생하는 노이즈(White Noise & 순간 나타는 물체)를 줄여 수위감지 알고리즘의 성능을 향상 시킨다.

하지만, 수위 감지가 즉시 적용이 되지 않고 일정 시간 안정화 단계(learning scene)를 거쳐야 정상적으로 동작하는 단점이 있다.

$$acc(x,y) \leftarrow (1-\alpha) \cdot acc(x,y) + \alpha \cdot image(x,y), \text{ if } mask(x,y) \neq 0 \tag{2}$$

여기서, $acc(x,y)$ 는 이전의 축적영상, $image(x,y)$ 는 현재 영상, α 는 상수이다.

차영상을 이용한 물의 흔들림 분석방법은 Bilateral filter를 거친 영상에 대해서 이전 영상과의 차를 통해 움직임을 감지한다. 이전 영상은 200ms 간격으로 저장되기 때문에 순간적으로 나타는 벌레나 빗물에 대한 영향을 줄일 수 있다. 또한 차영상을 일정 시간 동안 평균값을 취하여 안정적으로 물의 흔들림을 분석한다.

차영상 분석을 통해 얻은 흔들림 정도와 히스토그램 분석에 의해 Floodfill기법에 적용되는 Threshold가 자동적으로 갱신된다. 이를 통해서 밤·낮, 비오는 날, 조명의 변화 등에 대해 Threshold를 갱신시켜 최적의 값을 유지한다. Threshold 값을 생성하는 방법으로는 영상 기준좌표와 비교할 영상의 좌표를 이용하여 Threshold값을 얻는 절대값 비교 방법과, 기준좌표 주위에 있는 현재 영상좌표와 비교할 영상의 좌표를 이용하여 Threshold값을 얻는 상대값 비교방법이 있다. 두 가지 Floodfill기법을 혼용할 경우 정밀하게 물의 위치를 찾을 수 있다. Floodfill기법은 식 (3)과 같은 상대값 비교에 의한 수식과 식 (4)와 같은 절대값 비교에 의한 수식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} src(x',y')_r - loDiff_r &\leq src(x,y)_r \leq src(x',y')_r + upDiff_r \\ src(x',y')_g - loDiff_g &\leq src(x,y)_g \leq src(x',y')_g + upDiff_g \\ src(x',y')_b - loDiff_b &\leq src(x,y)_b \leq src(x',y')_b + upDiff_b \end{aligned} \tag{3}$$

여기서, $src(x,y)$ 는 현재 영상의 좌표값, $src(x',y')$ 는 비교할 영상의 좌표값, $loDiff$ 는 low difference, $upDiff$ 는 upper difference, $r/g/b$ 는 색상 정보(Red, Green, Blue)이다.

$$\begin{aligned} src(seed.x,seed.y)_r - loDiff_r &\leq src(x,y)_r \leq src(seed.x,seed.y)_r + upDiff_r \\ src(seed.x,seed.y)_g - loDiff_g &\leq src(x,y)_g \leq src(seed.x,seed.y)_g + upDiff_g \\ src(seed.x,seed.y)_b - loDiff_b &\leq src(x,y)_b \leq src(seed.x,seed.y)_b + upDiff_b \end{aligned} \tag{4}$$

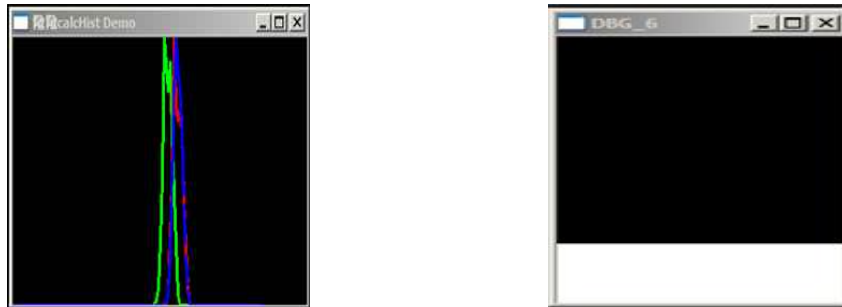
여기서, $src(seed.x,seed.y)$ 는 Floodfill 알고리즘을 적용할 경우의 영상 기준 좌표값이다.



(a) Image difference (b) Boundary surface by relative Floodfill (c) Boundary surface by absolute Floodfill
 Fig. 4. Rippling pattern analysis by image difference and boundary surface between water and non-water areas by Floodfill algorithm

Fig. 4는 차영상에 의한 흔들림 분석과 상대값·절대값 비교 방법에 의한 Floodfill 알고리즘을 적용하여 물과 물이 아닌 영역의 경계면을 찾는 영상이다.

Fig. 5의 좌측은 물 영역으로 지정된 20%의 영역에 대해 히스토그램의 R/G/B 성분 구하고 에너지의 80% 분포에 해당하는 영역을 Floodfill의 상하한 임계값으로 선택한 그림이다. 또한 RGB 히스토그램을 비교하여 3개의 성분이 비슷한 분포를 나타낼 경우 밤이나 흑백 카메라를 이용하는 상황으로 가정하여 낮과 밤에 대해서 다른 임계값을 적용할 수 있도록 하였다.



(a) R/G/B Histogram of water area (b) Separation of water and non-water area

Fig. 5. Threshold decision and water area separation by histogram analysis

식 (5)와 같이 물의 움직임 정도에 따라 Floodfill기법에 적용한 상하한 임계값에 대해 움직임에 대한 가중치 ($m_Mfactor$) 및 사용자의 민감도 조작요소($m_Sensitivity$)를 적용하여 최종적으로 상하한 임계값을 결정한다.

$$\begin{aligned}
 RlowBound &+= 2*m_Mfactor + m_Sensitivity & (5) \\
 RhighBound &+= 2*m_Mfactor + m_Sensitivity \\
 GlowBound &+= 2*m_Mfactor + m_Sensitivity \\
 GhighBound &+= 2*m_Mfactor + m_Sensitivity \\
 BlowBound &+= 2*m_Mfactor + m_Sensitivity \\
 BhighBound &+= 2*m_Mfactor + m_Sensitivity
 \end{aligned}$$

Fig. 5의 우측은 히스토그램 분석결과를 통한 물의 영역을 분리하는 방법으로 차영상을 통한 물의 움직임 분석에 대한 결과와 Floodfill기법을 이용한 색상 정보 분석 결과를 토대로 물의 영역을 분리한다. 분석된 결과를 블록으로 나누고 각 블록에 대한 평균값을 구하여 각 분석 결과를 식 (6)에 적용하여 물과 물이 아닌 영역을 분리해 낸다.

$$\begin{aligned}
 m_pProcessBlockData[i*m_BlockWidthCnt + j] &= MBlock * (127*m_Mfactor) & (6) \\
 &+ (CBlock1 * (64*(1 - m_Mfactor) + 63)) + (CBlock2 * (64*(1 - m_Mfactor) + 64))
 \end{aligned}$$

여기서, $m_pProcessBlockData$ 는 블록의 값, $m_BlockWidthCnt$ 는 블록의 폭, M 은 움직임, C 는 색상정보이다.

물 영역이 분석되면 블록 단위로 물의 위치를 찾아가기 때문에 빈틈이 생기게 되지만 대부분 수위는 균집을 이루고 있으므로 morphology transform을 통해 수위의 영역을 갱신해준다. 마지막으로 수위 분포를 통해 수위가 연속되는 분포를 가진 영역에서 50% 미만의 경계값을 가지는 곳을 수위 값으로 측정한다.

(3) 3D Calibration

수위감지 알고리즘에 3D calibration 기법을 적용하여 수위레벨 측정의 정확도를 보완할 수 있다. 실제 수위는 측

정할 수 없으나 아래와 같이 3D calibration을 통해서 CCTV 영상정보를 획득하고 실제 기준점에서 수위 상승 정보를 알 수 있다. 카메라의 내부적 특성인 FOV(Field of View)와 영상의 크기, 외부적 정보(설치 정보)인 높이 (Height), 화각(Tilt) 정보를 알면 영상에서 실제 사물의 크기를 알아낼 수 있다. 이러한 기술을 통해서 수위 분석된 영역의 위치 정보를 통해서 실제 수위의 높이를 산출해 낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} sx \\ sy \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

식 (7)과 같이 3X4 projection matrix을 구성하여 두 지점 간의 위치정보와 차를 통해서 상대적 수위 높이를 알 수 있다.

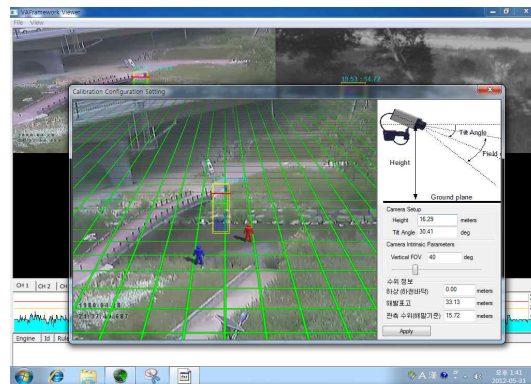


Fig. 6. Relative water level measurement by 3D calibration

3D Calibration을 통하여 취득한 수위 값은 실제의 수위의 높이가 아니라 감지영역의 하단 부분에서 물의 영역이 차지하고 있는 상단 부분의 높이이다. 실제 수위 데이터를 얻기 위해서는 해발 고도나 하상의 높이를 측정하여 3D Calibration 된 값에 보정 작업이 필요하다. Fig. 6은 3D calibration 기법을 적용하여 CCTV에 의해 수위 높이를 산출하는 영상이다.

3.2 지능형 CCTV를 이용한 자동 수위감지 사전경고 시스템



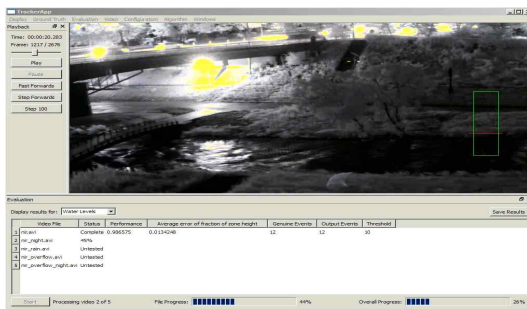
Fig. 7. Water level detection system configuration and operating scenarios by intelligent CCTV

지자체 하천 혹은 중·소·대 하천에 설치되어 있는 CCTV 카메라 혹은 국가재난관리시스템(NDMS : National Disaster Management System)으로부터 D1 16채널 이상의 영상을 수신하여 수위감지용 지능형 영상분석서버에 저장한다.

본 연구를 통해 개발한 자동수위감지 알고리즘은 수위감지용 영상분석 PC서버에서 실행되며 수위 높이를 자동으로 산출한다. CCTV로부터 산출한 수위 높이와 기존 수위계에서 측정한 수위 높이를 융·복합적으로 활용하여 위험도를 생성하고 위험상황 및 분석결과를 Meta-Data 포맷으로 자동수위감지 경보시스템으로 전송한다. 최종 위험상황은 통합관제센터에 기 구축되어 있는 전광판 및 방송시스템과 연계하여 하천 주변 사람들에게 신속하게 대피경보를 전달하며 문자 메시지를 통해서도 관련 피해정보를 통보하고 하천변 이동통행로를 통제한다. 또한, 최종 위험상황은 관제센터와 유관기관으로 전파된다.

4. CCTV 카메라 기종별 자동 수위감지 알고리즘 성능평가

CCTV 카메라 기종별 수위감지 알고리즘의 성능을 시험한 결과 CCTV 카메라 기종과 자연환경에 따라 성능 차이가 있었다. 본 성능평가는 다량의 계측 결과가 아니므로 CCTV 카메라 기종별 성능을 확정 지을 수는 없으나 현장시험 결과를 기반으로 CCTV 카메라 기종별 성능을 평가했다. 시간적 요인 및 환경적 요인에 의해 CCTV 카메라 기종별 성능의 차이점이 있을 수 있으며 환경에 맞게 CCTV 카메라 기종을 선정하여 적용하는 것이 현실적으로는 가장 적절한 선택으로 보인다.



(a) NIR Camera Image



(b) IR Camera Image



(c) Day & Night Camera Image



(d) Thermal Camera Image

Fig. 8. Performance test of water level detection by CCTV camera Models

일반 Day & Night 카메라, 850nm 파장의 LED를 사용하는 IR 카메라, 800nm~1300nm 파장을 통과시키는 필터를 적용한 NIR 카메라 및 열상 카메라를 대상으로 수위검출의 정확도를 높이기 위해 현장 설치위치에 따라 Calibration을 재설정 후 자동 수위감지 알고리즘을 적용하였고, 그에 따른 결과데이터를 비교 검토했다. 그 결과 NIR카메라의 오차율이 가장 작았으며 열상카메라가 가장 큰 오차율을 보였다.

수위감지 알고리즘의 정밀도는 수위계에 의한 계측수위와 영상분석에 의한 산출수위를 비교한다. Table 1은

Calibration 조정 후의 CCTV 기종별 산출수위와 수위계 계측수위의 오차율을 비교한 결과를 나타낸다. 산출수위에 대한 오차율은 NIR카메라가 가장 작았으며 IR카메라, 일반카메라, 열상카메라의 순으로 정확도가 다소 떨어졌다.

결론적으로 열상카메라를 제외한 NIR, IR 및 일반카메라의 수위감지 알고리즘에 의한 정확도가 90% 이상으로 증명되었다. 이는 양재천과 같은 소하천에 수위감지 정보시스템을 적용하는데 있어 충분한 성과라고 생각되며 이러한 성과지표를 기반으로 상용화 가능성을 확인하였다.

Table 1. Comparison of water level measurements between CCTV and water gauge [Unit : m]

구 분		수위계	NIR	IR	일반	열화상	비고(양재천)
주간	계측 평균값	11.45	11.39	11.32	11.80	12.35	11월11일 08~09시 (일출)
	계측오차	-	0.06	0.13	0.35	1.03	
야간	계측 평균값	11.73	11.25	11.13	12.44	12.85	11월11일 03~04시 (야간·저조도)
	계측오차	-	0.48	0.60	0.71	1.12	
오차율 (%)	주간	-	0.52%	1.14%	3.06%	9.00%	오차에 대한 백분율
	야간	-	4.09%	5.33%	6.05%	10.06%	

본 연구를 통해서 각각 상이한 CCTV 카메라 종류를 통해 수위감지에 맞는 카메라를 선택하기 위해 동일한 시범지역을 선정하여 현장검증을 실시했다. 이와 같이 재난방재용에 맞는 적절한 CCTV 카메라의 선택이 필수적이다. 일반 아날로그 카메라를 사용하게 될 경우 기존 서버와 연결을 위해서 비디오 인코더가 별도로 필요하고 밤과 같이 빛이 없어 영상을 구별 할 수 없는 상황에서는 영상 분석할 수 없는 단점이 있다. 적외선 카메라를 이용 할 경우 밤에 영상을 분석 할 수 있어 낮과 밤 구분 없이 영상을 분석할 수 있다. 또한 기존의 시스템과 연동을 위해서 IP기능이 내장된 제품이 필요하다.

열상카메라를 이용 할 경우 IR카메라보다 좋은 영상 분석을 할 수 있다. 예를 들어 수위의 경우 빛에 의한 반사와 같은 빛의 간섭이나 밤과 같이 빛이 없는 상황에서도 물의 온도에 의해서 색이 달라지므로 정확한 수위 감지가 가능하다. 또한 감시용으로도 밤과 같이 빛이 없는 상황에서 온도를 통해서 감지하기 때문에 다른 카메라보다 물체를 잘 인식 할 수 있다. 하지만, 일몰, 일출과 폭우 등과 같은 상황에서 물과 물이 아닌 영역의 온도차이가 없거나 유사할 경우 오보가 발생하는 치명적인 결과를 확인하였다. 또한 기존의 시스템과 연동을 위해서 IP기능이 내장된 제품이 필요하다.

NIR카메라는 일반 카메라와 달리 칼라 성분을 이용하지 않으므로 단색의 영상을 받아들일 수밖에 없는 단점을 가지고 있으나, DSS(Digital Show Shutter) 기능이 있어 광량이 부족할 경우 셔터의 속도를 늦추어 조도가 약한 환경에서 선명한 이미지를 얻을 수 있다. 하지만 DSS를 사용하게 될 경우 영상 전송속도가 떨어지게 되는 단점이 있다.

또한, NIR Mega-Pixel IP카메라를 이용할 경우 해상도가 높기 때문에 영상 분석의 성능을 향상시킬 수 있다. 열상카메라와 같이 빛이 없는 현상이나 빛에 의한 반사와 간섭현상에서도 우수한 성능을 보이고 안개에 대해서도 강인하다. 또한, 열상카메라의 단점인 일몰, 일출, 물과 물이 아닌 영역의 온도가 비슷할 경우 발생하는 정밀도 열화 현상이 발생하지 않는다.

이와 같이 일반 Day&Night 카메라에 NIR 영역(800nm ~ 1300nm)만을 통과할 수 있도록 필터를 사용하여 가시광선에서의 안개에 의한 영향을 줄이고 DSS를 이용하여 조도가 부족한 야간 환경에서 셔터의 스피드를 줄여 선명한 이미지를 제공하여 수위감지 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 가격대는 IR카메라와 비슷하고 설치가 용이하여 방재용 지능형 CCTV 카메라로 향후 실용화가 예상된다.

CCTV 기종에 따른 적합성 평가 결과 자동수위감지용으로 NIR카메라가 정밀도에서 주·야간 95%이상의 성능을, 떨림·안개·저조도 등 자연환경에서 가장 우수한 성능을, 설치용이성에서는 일반카메라와 대등한 성능을, 가격측면에서 일반카메라 대비 15% 최소 상승분으로 가장 우수함을 알 수 있었다.

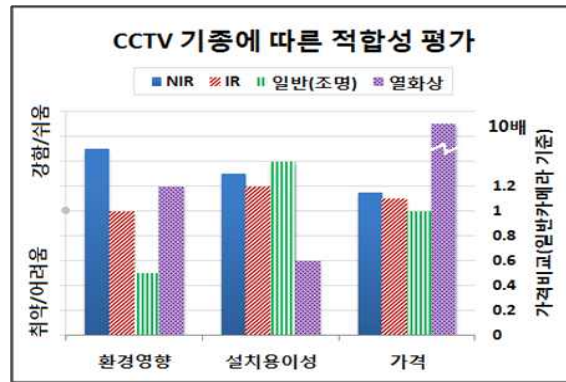


Fig. 9. Compatibility of water level detection by CCTV Camera Models

5. 결론

지능형 영상분석 기술을 활용한 수위감지 알고리즘 개발에 있어 다양한 외부환경에 적합한 알고리즘의 성능개선에 대한 연구가 진행되고 있으나 안개, 바람, 야간 및 악천후와 같은 성능저하 방지대책 수립에 의한 수위감지 알고리즘의 성능 및 정확도를 개선해야 한다. 또한, CCTV 카메라 기종별 원본 영상 품질에 따라 수위감지 알고리즘의 정확도가 달라지므로 CCTV 카메라 기종에 따른 성능평가 적용방안을 수립해야 한다.

본 연구에서는 현장여건에 적합한 지능형 CCTV 기반의 자동수위감지 알고리즘 개발과 자동인식률 가변요소에 대한 성능저하 방지대책을 수립하여 실용화에 따른 최적 적용방안을 도출하였다. 이를 위해 자동 수위감지 알고리즘을 개발하고 현장에 설치한 일반카메라, 열상카메라, IR카메라와 NIR카메라에 적용하여 CCTV 카메라 기종별 자동 수위감지 알고리즘 성능을 평가했다.

비 내리는 도심지역에 설치된 하천변의 수위계측 센서에 의한 수위 높이와 CCTV 영상에 의해 산출한 수위 높이의 정밀도를 비교분석하여 성능을 평가했다. 기존 알고리즘은 사용자가 최적의 임계값을 설정하도록 되어있기 때문에 현장 적용에 한계가 있었다. 개선된 알고리즘은 물의 영역을 구별하기위해 사용되는 임계값이 입력영상의 분석을 통해 자동으로 변경하기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있다. 조명의 변화 및 낮과 밤의 변화 등 주위 환경의 변화에 대한 최적의 임계값을 자동으로 설정하기 때문에 실제 현장적용 가능하고 관제 운영이 용이하다.

또한 색상 정보의 히스토그램 비교를 통해서만 물의 영역을 분리해 냈던 기존 알고리즘과 달리 물의 흔들림 정보를 부가적으로 사용하여 범람이나 홍수와 같은 상황에서 수위감지 성능을 개선했다. 수위 감지 알고리즘을 적용하기 전에 시공간 필터를 사용하여 노이즈를 먼저 제거하는 방법으로 알고리즘 성능이 향상되어 안정적으로 수위를 감지하게 되었다.

전반적으로 CCTV 카메라 기종별 수위감지 성능이 90% 이상 평가결과가 도출되었으나, 일반카메라와 열상카메라는 주야간 교차시간대에서 수위 검출값의 오차가 큰 것으로 나타나 조도와 온도에 의한 영향을 최소화하기 위한 알고리즘의 지속적인 개선이 필요하다. 또한, 이러한 수위검출 오차를 줄이기 위해 NIR카메라를 적용하여 수위감지 정확도를 향상시킴으로서 수위감지시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

CCTV 카메라 기종별 성능과 적합성을 고려한 결과 기 설치되어 수위감시용으로 운용되고 있는 일반카메라의 활용 가능성을 확인하였다. 즉 주위의 조명환경이 적합한 장소에 설치된 일반카메라에 수위감지 알고리즘을 적용할 경우 야간에도 실 운영이 가능함을 확인하였다. 열상카메라는 일반 Day&Night 카메라 및 NIR카메라 대비 우수한 성능을 보이지만 일몰, 일출, 물과 물 이외 지역의 온도가 같은 경우 수위 높이를 산출함에 있어 정밀도가 떨어짐을 확인했다. 타 기종의 CCTV 카메라와 비교하여 성능 대비 고가인 단점이 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해서만 NIR카메라를 적용할 경우 높은 해상도 때문에 다른 CCTV 카메라보다 정확한 영상 분석이 가능하다. 열상카메라와 같이 빛이 없는 현장이나 빛에 의한 반사와 간섭현상에서도 우수한 성능을 보이고 안개에 대해서도 강인하다. 또한 열상카메라의 단점인 일몰, 일출, 물과 물이 아닌 영역의 온도가 비슷할 경우

발생하는 정밀도 열화 현상이 발생하지 않는다. 이러한 장점에도 불구하고 가격대는 IR카메라와 비슷하여 향후 중 소하천의 수위감지용 카메라로 향후 실용화가 예상된다.

CCTV 카메라 기종에 따른 적합성 평가 결과 자동 수위감지용으로 NIR카메라가 정밀도에서 주·야간 95%이상의 성능을, 떨림·안개·저조도 등 자연환경에서 가장 우수한 성능을, 설치용이성에서는 일반카메라와 대등한 성능을, 가격측면에서 일반카메라 대비 15% 최소 상승분으로 가장 우수함을 알 수 있었다.

지능형 자동 수위감지 경보시스템은 국지성 호우나 게릴라성 폭우 등으로 갑자기 하천의 수위가 높아졌을 경우 혹은 재해 모니터링 운영자가 잠시 자리를 비웠을 경우 등 돌발 상황에 큰 위력을 발휘한다. 이와 같이 기존에 사람이 판단해왔던 부분을 본 시스템의 자동인식 및 판단 기능으로 대체하면 24시간 상황근무자의 업무부하를 저감하고 신속 정확한 상황판단으로 의사결정지원에 도움이 될 것이다.

감사의 글

이 논문은 소방방재청 자연재해저감사업의 지원(지능형 CCTV 재난활용 및 사전경고·대응 기술개발)을 받아 수행된 연구 결과이며 이에 감사드립니다.

References

- Jeong Taeseong, Jin Gyeonghyeok, Choi Seonhwa, Ku Sinhoe, Kwuan Dohyeon, National Disaster Management Institute (2008). Development of decision support system for mitigation of flood related damage. National Disaster Management Institute, Seoul.
- Minister of Land, Infrastructure, Park Jeongrim, Dongbu Engineering (2008). Complement the Basic plan of Flood Risk Map. Minister of Land, Infrastructure, Seoul.
- Korea Water Resources Corporation (2008), Flood disaster management Geographic Information System in Pyeongtaek, Korea Water Resources Corporation, KIWE-HRC-08-14.
- John Honovich (2012). Selection Standard of Video Analytics : How to Select Video Analytics. IPVM, http://ipvm.com/report/how_to_select_video_analytics.
- National Disaster Management Institute (2013). A study on Mid-Long term planning for CCTV based Smart Disaster Management. National Disaster Management Institute, Seoul.
- A Study of Quality Evaluation Model for Intelligent Video Surveillance Solution(2010)
- Korea Information Security Center (2010). Final Report : A Study on Construction DB and Certification Test Plans for Intelligent CCTV based on Behavior. Korea Information Security Center, KISA-WP-2012-0060.
- Digital Image Processing 2nd, Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods.
- A probabilistic model for flood detection in video sequences, Paulo Vinicius Koerich Borges, Joceli Mayer, Ebrouel Izquierdo OpenCV, <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>
- Bilateral Filtering for Gray and Color Images, http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MANDUCHI1/Bilateral_Filtering.html.