

컴퓨터 비전 기반의 수위 검출 시스템

*황 응 **유중상 ***정제창

한양대학교 전자컴퓨터통신학과

*hwangung@gmail.com **kar_pondier@hotmail.com ***jjeong@hanyang.ac.kr

Computer Vision based Water-level Detection

*Hwang, Ung **Yoo, Jongsang ***Jeong, Jechang

Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요약

최근 후쿠시마 원전, 쓰나미, 홍수와 눈사태와 같은 자연 재난들의 발생으로 인해 엄청난 수의 사상자와 막대한 재산피해가 초래되었다. 이런 재난을 미연에 방지하고자 하는 자동화된 조기 경보 시스템의 연구, 지능형 영상감지 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 지능형 영상감지기술을 적용하여 재난유형별 위험상황을 감지, 판독, 분석, 표출할 수 있는 기능을 구현하고자 통합된 카메라 영상정보를 활용하여 영상변화를 감지하여 자동식별과 판독을 통해 기준 값 이상의 변화감지 시 경보알림 및 해당 영상 표출을 제공하였다. 본 논문은 기존의 수위상승 감지는 수위계나 교량에 표시된 수위표의 숫자를 읽어 자동적으로 위험을 알려주거나 사람이 수위감지를 위해 설치된 카메라를 모니터링 하여 위험을 감지하도록 되어있던 점을 개선하여 기존 수위감지 목적으로 설치된 카메라의 영상을 분석하여 수위상승 위험을 알려주는 알고리즘을 제안하였다.

1. 서론

수자원은 인간에게 있어서 매우 중요한 자원들 중의 하나이다. 때문에 이러한 수자원에 대해서 수자원을 효율적으로 사용하는 방법, 재난을 방지하는 방법 등의 다양한 분야로 연구를 진행하였다. 오늘날에는 쓰나미, 홍수와 같은 재난들의 발생으로 인해 엄청난 수의 사상자와 막대한 재산피해가 초래되었다.

기존의 수위 상승 감지 시스템은 수위계를 이용한 것과 교량에 표시된 수위표를 읽는 방법, 모니터링 하는 방법이 존재한다. 수위계를 이용한 수위 상승 감지 시스템은 전체적으로 수위 상승을 감지하는 것이다 [1]. 하지만 이러한 경우 수위계에 문제가 생겨 오보나 알람이 발생해야 하나 발생하지 않을 경우 수위계의 문제를 직접 알아낼 수 없고 원하는 지점에 설치를 하더라도 영상을 볼 수 없기 때문에 현재 수위상태를 보기 위해서는 수위계와 카메라를 동시에 설치를 해야 된다. 또한 새로운 수위계 설치하는 기존의 시스템과 연계 및 설치를 위해 많은 비용이 소모된다. 교량에 표시된 수위표를 읽어 현재의 하천이나 강의 수위를 알아내는 방법은 수위표가 표시된 교량에 적용되고 다른 곳은 적용할 수 없기 때문에 알고리즘의 한계가 있다. 마지막으로 사람이 모든 카메라를 24시간 모니터링 하는 방법이 있을 수 있겠으나 이러한 방법의 경우 사람의 집중력이나 인건비 등의 문제로 실용적이지 않다.

이에 본 논문은 위에서 언급한 문제를 해결하고자 기존 수위감지 목적으로 설치된 카메라의 영상을 분석하여 수위상승 위험을 알려주는 알고리즘을 개발하였고 알고리즘 성능을 개선하기 위해 첫째로, 수위 감지 영역을 지정하여 영상 경계 보존과 필터링을 위한 Mean-shift 알고리즘을 적용하고 둘째로, Watershed 알고리즘을 이용하여 영상을 구분하였고 마지막으로 일정시간 수위감지를 통한 다양한 외적조건으

로 인한 오감지, 급격한 수위변화 파악 이후 현실성 검증을 통한 오감지 등을 방지하는 알고리즘을 제안하였다.

2. 제안하는 알고리즘

먼저 사용자가 해당 수위를 감지하고자 하는 부분을 좌표를 통해 수위 영상에 직접 지정한다. 이는 일종의 ROI (Region of Interest) 방법으로 주요 영역에 대한 처리만 수행함으로써 복잡도를 줄일 수 있다. 이후 Mean-shift 방법을 이용한 경계보존 평탄화 방법을 사용하고, 수위의 명확한 구분을 위해 Watershed 알고리즘을 사용한다.

2.1 Mean-shift 알고리즘

사용자가 직접 지정한 부분의 영상은 CCTV 자체의 노이즈와 시각적으로 수위감지에 방해가 되는 불필요한 부분들이 포함되어 있으므로 필터링 알고리즘을 이용하여 이들을 제거한다. 본 논문에서는 이러한 작업을 수행하기 위하여 영상의 경계를 잘 보존하는 Mean-shift 알고리즘을 적용하여 영상의 필터링을 수행하면서도 수위의 경계를 보존하였다. 먼저, Mean-shift 알고리즘을 적용하기 위해서는 커널 밀도 추정을 하여야 한다. 커널 밀도 추정은 확률 변수의 밀도 함수를 추정하는 비모수적 방법이다. 이것은 일반적으로 Parzen window 기술이라고 한다. 커널 K, 대역폭 파라미터 h 일 때 d 공간상에서의 커널 밀도함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

Mean-shift는 밀도 윤곽에 상승 기울기에 근거한다고 생각할 수 있고, 일반적인 상승 기울기는 다음과 같이 표현된다.

$$x_1 = x_0 + \eta f'(x_0) \quad (2)$$

식(2)를 커널 밀도 추정함수에 적용을 하여 $f'(x)$ 를 구하게 되면

$$\nabla \hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K' \left(\frac{x-x_i}{h} \right). \quad (3)$$

이때 식 (1)과 (3)을 0으로 가정한다면 우리는 최종적으로 다음과 같은 식을 얻게 된다.

$$\vec{x} = \frac{\sum_{i=1}^n K' \left(\frac{x-x_i}{h} \right) \vec{x}_i}{\sum_{i=1}^n K' \left(\frac{x-x_i}{h} \right)} \quad (4)$$

위에서 언급한 것과 같이 Mean-shift는 확률 밀도 함수로 특정 공간 사항을 처리하는 방법이다. 또한 특정 공간의 밀도 영역의 최대값 또는 모드를 지원한다. 때문에 각 데이터 포인트를 위해 Mean-shift 알고리즘을 수렴할 때까지 로컬 추정 밀도 구배 상승을 실행한다. 기울기 상승을 통해 얻어지는 정지 점이 밀도 함수의 형태를 나타내며 같은 정지 포인트에 연결된 모든 포인트는 동일한 클러스터에 속하게 된다. 식 (5)와 같이 가정을 하게 되면 최종적으로 얻게 되는 Mean-shift 알고리즘은 식 (6)처럼 표현이 된다.

$$g(x) = -K'(x) \quad (5)$$

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n g \left(\frac{x-x_i}{h} \right) x_i}{\sum_{i=1}^n g \left(\frac{x-x_i}{h} \right)} - x \quad (6)$$

위에서 설명한 과정을 쉽게 다시 설명하자면, Mean-shift 알고리즘은 필터링을 수행할 때 현재 픽셀과 가장 비슷한 값을 가지는 픽셀들 중에서의 중심이 되는 위치를 따라가며 최종적으로 중심이 변하지 않는 부분에서의 픽셀 값으로 현재 픽셀 값이 변경되게 된다. 그렇기 때문에 현재 픽셀 값과 비슷하지 않은 이미지 경계 밖의 부분들은 필터링을 할 경우에 고려되지 않게 된다. 그림 1은 Mean-shift 필터링을 수행한 결과를 보여준다.

2.2 Watershed 알고리즘

영상의 필터링 이후 영역에서 수위의 경계를 명확히 구분하기 위해 Watershed 알고리즘을 적용한다 [3]. Watershed 알고리즘은 주로 영상의 경계를 구분하기 위한 기법으로 사용되며 수위값지 알고리즘에서는 물과 지면이 시각적으로 구분되는 지점을 파악하기 위한 목적으로 사용하였다. 영상분할은 크게 Edge-based와 Region-based로 크



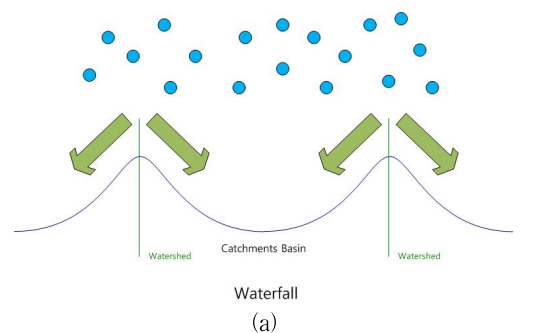
(a)



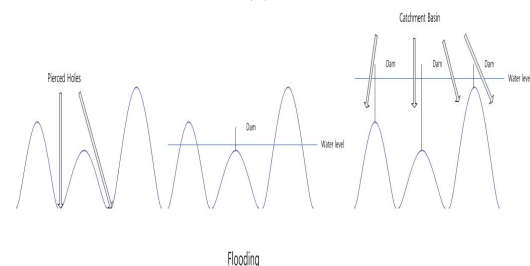
(b)

그림 1. 영상 경계영역 보존을 위한 필터링. (a) 원본 영상 (b) Mean-shift 필터링이 적용된 영상

게 나눌 수 있다. Edge-based 같은 경우는 경계선을 바탕으로 의미 있는 영역들을 추출하는 방법으로 잡음에 민감하고 폐곡선의 형태의 경계선을 얻기 어려운 단점이 있다. Region-based 같은 경우는 명암도의 유사성이 근거하는 방법으로 잡음이 많은 환경에서 물체를 분할하기 좋다. 하지만 잡음이나 경계선 부근에서의 번짐에 약한 단점이 있다. Watershed 알고리즘은 Region-based의 형태로 볼 수 있으며 영상의 픽셀 값의 크기를 높이로 보고 영상을 2차원 지형으로 가정, 물을 채웠을 때 하나의 윤곽선으로 둘러싸여진 웅덩이가 분할된 영역으로 분할하는 기술로 볼 수 있다. 높은 값을 갖는 픽셀들은 봉우리 또는



(a)



(b)

그림 2. 영상 경계 구분을 위한 각 Watershed 알고리즘의 종류.



(a)



(b)

그림 3. Watershed 알고리즘을 적용한 영상.

Watershed 라인으로 표현하고 낮은 값을 갖는 픽셀들은 골짜기 또는 국부 최소값으로 표현하여 영상내의 픽셀들의 집합을 하나의 지형으로 간주하고 높낮이를 분석하는 방법이다. Watershed는 크게 Rainfall, Flooding의 두 가지 방법으로 나눌 수 있으며 Rainfall은 지형의 고도가 높은 지점에서부터 물방울을 떨어뜨려 고도가 낮은 골짜기에 웅덩이를 형성시키는 방법이고 Flooding은 물을 떨어뜨리지 않고 고도가 낮은 골짜기부터 물을 채워 웅덩이를 형성시키는 방법이다. Watershed 알고리즘의 단계는 우선 입력 받은 영상을 전처리 과정을 거쳐 그 영상의 기울기를 계산하고 다음으로 이진화를 시키는 것이다. 전처리 과정에는 일반적으로 색상 공간 변환, 잡음 제거, 비선형 확산, 거리 변환 등으로 이루어져 있다. 기울기를 계산하는 방법은 우리가 알고 있는 것처럼 미적을 통하여 기울기를 획득한다. 기울기 값을 통하여 기준 값을 잡고 이진화 과정을 수행하게 되며 Watershed와 minima 지역으로 나뉘게 된다. 이런 일련의 과정을 거쳐 Watershed와 minima 지역이 분리되게 되면 Rainfall과 Flooding 알고리즘을 선택하여 수행하게 되면 최종적인 Waterfall 알고리즘이 완성된다.

우선 Rainfall부터 설명하면, 폭포수에서 물이 떨어지는 즉, 높은 곳에서 물이 떨어지는 현상을 이용한 것이다. 물방울이 떨어뜨리기 전에 영상내의 모든 국부 최소지점은 특정 태그를 할당 받게 되고 결과적으로 생성된 각각의 웅덩이는 태그 값으로 구분되게 된다. Flooding 기법은 각각의 웅덩이의 국부 최소지점에 구멍을 뚫고 이 구멍으로부터 서서히 물을 채우는 기법이다. 이 과정을 수행하게 되면 수면이 상대적으로 고도가 낮은 봉우리의 고도와 같아지고 이 때 댐을 세워 다른 웅덩이로 물이 흘러넘치는 것을 막아준다. 그림 2는 두 가지 종류의 Watershed 알고리즘이 어떻게 경계를 구분하는지에 대한 이해를 돕기 위한 그림이며 그림 3은 Watershed 알고리즘을 적용한 결과영상이다.

2.3 수위 오감지 방지

측정된 수위는 다양한 외부적 조건이나 화면의 변화로 인해 오감지의 가능성에 노출될 수 있다. 이를 위해 일정시간 동안 수위를 측정하여 가장 수위가 낮은 경우를 실제 수위 값으로 측정하게 하였다. 이는 물의 영역의 이미지가 지면의 이미지보다 안정적이며 변화가 적기 때문에 물 영역의 안정성을 기반으로 물의 영역으로 측정된 구간이 지면으로써 판정될 가능성이 낮은 것을 고려한 것이다. 측정된 수위 값이 측정하는 시간동안 실제 현실적으로 발생할 수 있는 수위 변화인지를 고려하여 비현실적인 수위 값을 실제 수위로 표시하고 오동작을 발생하지 않게 하였다.

3. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 실험에 사용한 수위 영상은 한강 홍수 통제소와 영산강 홍수 통제소에서 제공하는 수위 영상을 이용하였다 [4-5]. 실험은 처음에 입력 영상을 받아오고 ROI를 사용자가 직접 설정하고 그 부분에 대해서 일차적으로 Mean-shift 알고리즘을 적용하여 해당 부분의 노이즈와 시각적으로 수위 감지에 방해가 되는 불필요한 부분들을 평탄화 시킨다. 다음으로 Watershed 알고리즘을 적용하여 물과 지면이 시각적으로 구분되는 지점을 파악하여 최종적으로 수위 감지를 위해 사용하게 된다. 그림 4는 실험에 따른 수위감지 수행결과를 나타낸 것이다. 그림 4의 빨간선은 초기에 설정한 수위 경계선을 의미하며 파란선은 제안한 알고리즘을 통해 측정된 실제 수위를 표현한 것이다. 파란선이 빨간선 위로 넘어갈 경우 경고가 발생하게 된다.



(a)



(b)

그림 4. 수위감지 수행결과. (a) 안성천 수위감지 결과 (b) 선암교 수위감지 결과

4. 결론

본 논문에서는 정밀한 수위 인식을 위하여 우선 CCTV 자체의 노이즈와 시각적으로 수위감지에 방해가 되는 불필요한 부분들을 제거하기 위해 Mean-shift 알고리즘을 적용하였고, 다음으로 영상의 경계를 구분하기 위하여, 즉 물과 지면이 시각적으로 구분되는 지점을 파악하기 위하여 Watershed 알고리즘을 적용하였다. 이를 영상에 적용한 결과 그림 4와 같이 실제 수위를 적절하게 감지함을 보여준다.

5. 감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 산업전략기술개발사업의 연구결과로 수행 되었음”(10039627, 열화상감시를 통한 현장밀착형 원격 화재·방범 관리시스템

참고문헌

- [1] J. Kim, Y. Han, and H.Hahn, “Embedded implementation of image-based water-level measurement system,” *IET Computer Vision*, Vol. 5, Iss. 2, pp. 125-133, Dec. 2009.
- [2] Online available: http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~vision/courses/2004_2/files/mean_shift/mean_shift.ppt
- [3] Online available: http://www.math.tau.ac.il/~turkel/notes/watershed_Segmentation.ppt
- [4] 국토해양부 한강 홍수 통제소 수위 영상 제공 사이트. <http://www.hrfco.go.kr/html/flood/damMovie.jsp>
- [5] 영산강 홍수통제소 수위 영상 제공 사이트. <http://www.yeongsanriver.go.kr/phps/menu/menu.php?S=S01&M=010400000000>