

# 영상의 밝기와 텍스처를 이용한 조명 변화에 강인한 변화 검출

연승호<sup>†</sup>, 김재민<sup>\*\*</sup>

## 요 약

변화 검출 알고리즘은 두 영상 프레임을 비교하여 변화를 가져온 유입된 외부 객체의 영역을 검출 하는 것이다. 본 논문은 두 영상 간의 밝기 변화 요인을 유입 객체에 의한 요인, 객체의 표면에서 주변으로 반사된 반사광 및 그림자에 의한 요인, 내재된 잡음에 의한 요인 등으로 분류하고, 이를 바탕으로 유입된 객체의 영역을 정확하게 검출하는 새로운 변화 검출 방법을 제안한다. 변화 요인의 분류와 객체 영역의 검출을 위하여, 우선 두 영상 간의 밝기 변화 값의 히스토그램을 분석하여 다수의 임계값을 추정한다. 다음으로 유입 객체의 경계 후보 화소를 추정하고, 추정된 객체 경계 후보 화소와 임계값을 이용하여 영상을 다수의 영역으로 분할한다. 최종적으로 분할된 각 영역의 텍스처를 두 영상에서 각각 구하고 이들 간의 유사도를 이용하여 각 영역이 외부 유입 객체 영역인지 아닌지를 판단한다. 다른 조명 변화 특성을 가지는 다수의 영상에서 수행된 실험을 통하여 제안한 방법이 유입된 객체의 영역을 강인하게 검출함을 보여준다.

## Robust Illumination Change Detection Using Image Intensity and Texture

Seungho Yeon<sup>†</sup>, Jaemin Kim<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

Change detection algorithms take two image frames and return the locations of newly introduced objects which cause differences between the images. This paper presents a new change detection method, which classifies intensity changes due to introduced objects, reflected light and shadow from the objects to their neighborhood, and the noise, and exactly localizes the introduced objects. For classification and localization, first we analyze the histogram of the intensity difference between two images, and estimate multiple threshold values. Second we estimate candidate object boundaries using the gradient difference between two images. Using those threshold values and candidate object boundaries, we segment the frame difference image into multiple regions. Finally we classify whether each region belongs to the introduced objects or not using textures in the region. Experiments show that the proposed method exactly localizes the objects in various scenes with different lighting.

**Key words:** Change Detection(변화 검출), Image Intensity(영상 밝기), Image Texture(영상 텍스처)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김재민, 주소 : 서울시 송파구 오륜동 올림픽선수촌 아파트 252동 401호(608-743), 전화 : 02) 402-1634, FAX : 02) 320-1120, E-mail : jmkim@hongik.ac.kr

접수일 : 2013년 1월 7일, 수정일 : 2013년 2월 5일  
완료일 : 2013년 2월 15일

<sup>†</sup> 정회원, 홍익대학교 전기정보제어공학과  
(E-mail : jmkim@hongik.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 홍익대학교 전자전기공학부

※ 이 논문은 2010학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

## 1. 서 론

### 1.1 기존 변화 검출 방법

두 영상 프레임을 비교하여 영상에 변화를 가져온 요인(새롭게 유입된 객체)을 검출하는 것은 영상 감시에서의 새롭게 유입된 외부 객체 검출 등, 다양한 분야에서 필요로 한다. 주어진 배경에 새로운 유입된 객체는 영상에 변화를 가져오는데, 객체 유입으로 인한 밝기 분포의 변화는 영상에 내재된 잡음에 의한 밝기 분포와 다른 특성을 가지고 있으며, 이러한 특성의 차이를 이용한 변화 검출 방법들이 발표되었다.

밝기 차분 영상의 화소 밝기 분포를 나타내는 히스토그램은 두 구간으로 나눌 수 있다. 단순 잡음에 의한 밝기 변화가 있는 구간과 유입된 객체에 의한 밝기 변화가 있는 구간이다. 이 두 구간의 분포가 뚜렷한 다른 모드를 가지는 경우, 가우시안 혼합 모델(Gaussian mixture mode: GMM)과 기대치 최대(expectation and maximization: EM) 방법으로 모델 변수를 추정하고, 이를 바탕으로 오차가 최소가 되도록 배경과 객체를 분리하는 임계값을 구한다[1]. 하지만 많은 경우 히스토그램이 단일 모드만 가지게 되며, 이 경우 GMM 대신 다른 방법들이 사용되었다.

Otsu는 히스토그램을 임계값을 기준으로 두 구간으로 분할할 때, 분할된 두 구간에서의 분산 값의 합이 최소가 되도록 임계값으로 정하였다. 이 방법은 단일 객체가 배경과 다른 밝기 분포를 가질 경우에는 매우 효과적이지만, 객체 내부의 밝기 분포가 일정하지 않으면 객체의 일부분만을 검출하는 단점이 있다[2].

Rosin은 히스토그램의 수평축의 정점(최대 밝기 값)과 수직축의 정점(최대 빈도 수)을 연결하는 직선과 히스토그램 간의 거리가 최대인 히스토그램의 점의 값을 임계값으로 정하였다. 이 값은 차분 영상에 내재하는 잡음 표준편차의 3배 정도에 해당하는 값으로, 차분 영상의 잡음 특성을 추정하기 어려운 경우 효과적이다. 하지만 이 방법은 객체 영역뿐만 아니라 반사광에 의하여 생긴 변화 영역, 그림자 영역까지 검출하는 단점이 있다[3].

유입된 객체 영역과 배경 영역의 밝기 분포가 유사한 경우, 두 영상의 화소 밝기 차이 값이 매우 작기 때문에 화소 밝기 차이만을 이용한 변화 검출은 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 영상의 밝기와 텍스처 정보를 동시에 이용한 방법들이 발표

되었다.

Li 등은 두 영상 사이의 변화를 검출하기 위하여 화소 밝기의 차와 화소 기울기(gradient)의 차를 이용하였다. 밝기의 차가 유입 객체 검출에 기여하는 정도와 기울기 차가 유입 객체 검출에 기여하는 정도를 정의하고, 각각의 화소에서 두 기여도의 최적 가중치 합을 반복법으로 추정하였다. 그리고 이를 바탕으로 유입 객체 영역을 검출하였다. 이 방법은 단일 화소가 가지는 변화 정보만을 가지고는 객체의 영역을 신뢰도 높게 검출하는 것에 한계가 있어 반복법으로 특정 화소의 정보를 주변으로 확산하는 방법이지만, 가중치 값이 수렴하는데 50회 이상의 반복회수를 필요로 하며, 매번 반복 시 각각의 화소에서 다수의 연산량을 필요로 하기 때문에 실시간 연산에 어려움이 있다[4].

Khurram 등은 일차적으로 화소 밝기를 이용하여 변화를 검출하고 검출된 화소들을 다수의 영역으로 분할하고 분할된 영역의 경계 부근의 기울기를 이용하여 반사광에 의한 변화 영역과 그림자 변화 영역을 분리하였다. 이 방법은 객체와 주변 환경이 동일 영역으로 묶이는 경우 해결책이 없으며, 반사광의 의한 변화 영역 및 그림자의 의한 변화 영역의 경계에서 화소 밝기 값의 차이가 크면 객체 영역으로 판단하는 한계가 있다[5].

Heikkila 등은 지역 이진 패턴(local binary pattern:LBP)을 이용하여 객체와 배경을 분리하는 방법을 발표하였다. 이 방법은 영상을 다수의 사각형 블록으로 나누고 블록단위로 객체인지, 배경인지 판단한다. 현 영상의 블록에서의 지역 이진 패턴 히스토그램과 이전 영상의 동일 블록에서 학습된 지역 이진 패턴 히스토그램을 비교하여 블록 단위로 객체와 배경으로 분리하였다. 이 방법은 반사광의 의한 변화 영역 및 그림자의 의한 변화 영역을 객체 영역에서 제외시키는 장점이 있으나, 안정적 분리를 위해서는 블록이 일정 크기 이상이 되어야 하기 때문에 작은 객체를 정확하게 검출하는데 한계가 있다[6].

블록 단위로 변화를 검출하는 Heikkila 방법의 단점을 개선하기 위하여, Hung 등은 현 영상을 분할(segmentation)하고, 분할된 각 영역에서 두 영상의 텍스처를 비교하여 해당 영역이 배경에 속하는 것인지 유입된 객체에 속하는 것인지를 판단하였다[7]. 단순한 영상 분할 알고리즘들은 객체 영역과 배경의

영역을 하나의 영역으로 묶는 단점을 가지고 있는데, Huang 등은 뛰어난 영상 분할 알고리즘인 평균이동(mean shift) 기반 영상 분할 알고리즘을 이용하였다. 이 방법은 평균이동 필터를 적용하여 객체와 배경의 경계를 뚜렷하게 구분할 수 있게 만든 다음, 영역 확장 분할 방법을 적용하는 것으로, 평균이동 필터 과정에서 과도한 연산량이 소요되는 단점이 있다.

## 1.2 제안하는 방법

본 논문에서는 두 영상 화소 밝기 차이의 히스토그램을 생성한다. 히스토그램이 다수의 모드를 가지는 경우에는 기대치 최대 방법으로 GMM의 모드 변수를 추정하고, 각 모드에 해당하는 영상 영역을 추정한다. 히스토그램이 단일 모드만 가지는 경우에는 Rosin 방법으로 임계값을 구하여 단순 잡음에 의한 변화 분포 영역과 유입된 객체로 인하여 변화가 있는 영역으로 일차 분리하고, 이차로 유입된 객체로 인하여 변화가 있는 영역을 Otsu 방법으로 객체에 의한 큰 화소 밝기의 변화를 가지는 영역과 반사광 및 그림자에 의한 상대적으로 작은 화소 밝기의 변화를 가지는 영역으로 분리한다.

다수의 임계값들이 구해지면 이를 바탕으로 영상의 화소의 레벨 값을 부여하고, 이들 레벨을 이용하여 영역을 분할한다. 각 영역 내부의 텍스처를 현 영상과 이전 영상에서 각각 구한 후 그 유사도를 비교하여 유입된 객체의 영역을 검출한다. 하지만 객체 영역과 배경 영역에 동시에 동일 레벨을 가지게 되어 하나의 영역으로 묶여있는 경우에는, 텍스처 유사도를 이용한 객체 영역 검출은 효과적이지 않다. 이러한 문제를 방지하기 위하여 객체의 영역의 경계(boundary)에 해당하는 후보 화소(candidate pixel)들을 화소의 기울기(gradient)를 이용하여 추정한다. 각 레벨에 속한 영역은 종자 화소로부터 점차적으로 확장하여 영역 생성하게 되는데, 확장 시 선정된 객체 영역 경계 후보 화소들을 만나게 되면 확장을 멈추도록 한다. 이 방법으로 동일 레벨에 속한 한 영역을 각각의 객체 영역과 배경 영역으로 분리되도록 한다.

객체의 경계를 추출하는 방법은 현 영상에서 화소의 기울기 값의 크기가 이전 영상의 동일 화소에서의 기울기 값의 크기보다 임계값 이상으로 크거나, 혹은 동일한 위치의 두 화소의 기울기의 방향의 차이가

임계값보다 큰 경우 객체 경계의 후보 화소로 선정하였다. 임계값의 선정은 Otsu 방법으로 선정하였다.

## 1.3 제안한 변화 검출 방법의 차별성

제안하는 방법은 두 영상의 밝기 차의 히스토그램을 분석하여 객체에 의한 변화, 객체 표면의 반사광에 의한 변화, 잡음에 의한 변화로 분류할 수 있는 임계값을 추정하고, 객체의 외곽 경계 상의 화소들을 두 영상의 기울기의 비교하여 추정한다. 이를 바탕으로 객체와 배경이 섞이지 않으면서 유사한 변화 특성을 가진 화소들을 하나의 영역으로 묶을 수 있다. 이 방법은 평균이동 영역 분할과 같은 정교한 영상 분할 방법에 비하여 연산량이 매우 적다.

분할된 각 영역에서 두 영상의 텍스처를 비교하여 영역이 객체인지 배경에 해당하는지를 판단한다. 판단에 적용한 텍스처는 Li[4]가 사용한 기울기의 유사도와 Heikkil[7] LBP 패턴의 히스토그램 유사도를 각각 적용하였다. 제안한 방법은 Li 방법과 비교하여 기울기의 유사도를 텍스처로 사용함은 같으나, Li 방법은 5×5 영역을 단위로 판정을 하고 그 결과가 주변으로 확산함에 비하여, 제안한 방법은 동일 특성을 가진 화소를 하나의 영역으로 묶는 다음 판단하였다. 이 방법이 효과적임으로 실험에서 보여주고 있다. 정교한 영상 분할은 많은 연산량을 요구하기 때문에, Heikkil 방법은 영상을 N×N 블록으로 분할한 후 각 블록이 객체인지 배경인지 판단하였다. 제안한 방법과 비교하여 이 방법은 객체의 경계에서 정확도가 낮다. 변화 검출에 널리 사용되는 Otsu, Rosin, GMM의 방법은 화소 단위로 변화를 검출하기 때문에 주변 화소와의 상관관계를 이용하지 못함에 비하여 제안한 방법은 유사한 화소들을 한 그룹으로 묶음으로써 이를 효과적으로 이용하고 있다.

## 2. 본 론

기준 영상과 현 영상의 밝기를 비교하였을 때, 각 화소에서 여러 가지 원인으로 인한 밝기의 변화가 발생한다. 밝기 변화의 요인은 (가)영상에 내재된 잡음 및 조명 변화에 의한 밝기 변화, (나)유입된 객체의 그림자에 의한 밝기 변화, (다)유입된 객체 표면에서 주변으로 반사된 반사광에 의한 밝기 변화, (라)유입된 객체 표면과 배경의 밝기 차이에 의한 밝기 변

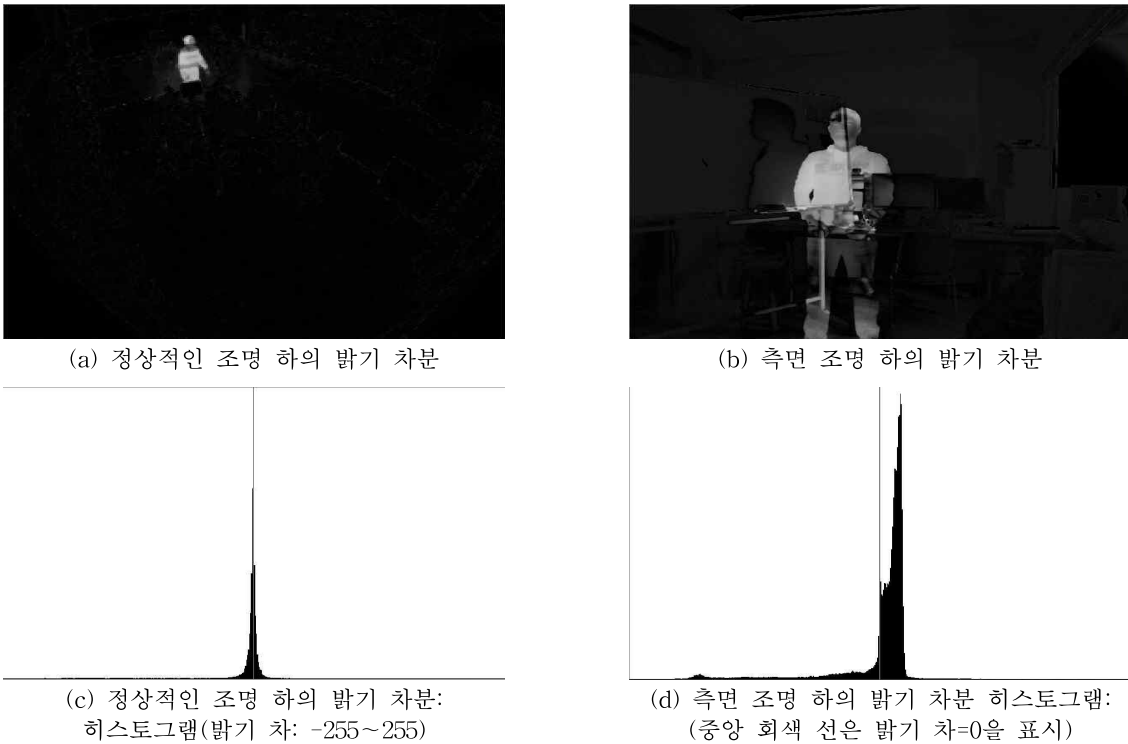


그림 1. 다른 조명 환경에서의 밝기 차분 영상 및 히스토그램.

화 등이 있다. Rosin, Otsu, GMM 등의 변화 검출 방법은 그림 1(a)와 같은 정상적인 조명 환경을 가정하고, 배경 영역에서의 화소 밝기 변화, (라)의 절대 값이 유입된 객체에 의한 화소 밝기 변화, (가),(나), (다)의 절대 값보다 작음을 가정하고, 이 둘을 나눌 수 있는 임계값을 설정함으로 변화를 검출한다. 그러나 그림 1(b)와 같이 측광이 있는 경우, 혹은 유입된 객체 표면에서 다양한 밝기 변화 분포를 가지는 경우가 가정이 성립되지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 다수의 임계값들과 유입 객체의 경계 후보 화소들을 이용하여 영상을 다수의 영역으로 분할하고, 각각의 분할된 영역에서 텍스처 특징을 분석하여 유입된 객체인지, 배경인지를 판단한다. 제안한 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 2와 같다.

### 2.1 각 모드의 임계값 추정

본 논문에서는 그림 2의 전체 흐름도 좌측과 같이 차분 영상에서 화소 밝기  $x$ 의 히스토그램  $h(x)$ 를 생성하고, 히스토그램을 분석하여 각 변화에 해당하는 밝기 차이의 범위를 추정한다. 외부 조명의 변화가 없다면 그림 1(c)와 같이 화소 밝기 차=0일 때 히스토그램의 정점이 발생하지만, 외부 조명이 변하여 두

영상의 평균값이 변하는 경우에는 그림 1(d)와 같이 밝기 차=30일 때 히스토그램의 정점이 발생한다. 생성된 히스토그램이 그림 1(d)와 같이 다수의 뚜렷한 국소 최대(local maximum)를 가지고 있는 경우에는, GMM으로 각 변화의 분포를 모델링하고 모델 변수 값을 기대치 최대화 알고리즘으로 각 변화의 분포를 추정한다. 각 변화의 분포가 추정되면 오차를 최소화하는 다수의 임계값들을 구한다. 이들 임계값을 이용하여 차분 영상을 4개의 레벨로 나누어 분할한 영상이 그림 3(b)에서 보여주고 있다.

히스토그램이 그림 1(c)와 같이 뚜렷한 국소 최대가 하나만 존재한다면 Rosin 과 Otsu 방법으로 두 임계값을 구한다. 첫 번째로 Rosin의 방법으로 임계값을 구한다. 이 임계값은 영상에 내재한 잡음에 의하여 밝기 변화와 유입된 객체에 의한 밝기 변화를 구분하는 임계값이 된다. 두 번째로는 유입된 객체에 의한 변화를 변화가 큰 객체 영역 내부의 변화와 변화가 작은 객체 영역 주변의 변화로 구분하는 임계값을 구한다. 이 임계값은 Otsu의 방법으로 구한다. 두 임계값을 이용하여 차분 영상을 3개의 레벨로 나누어 분할한 영상이 그림 3(a)에서 보여주고 있다.

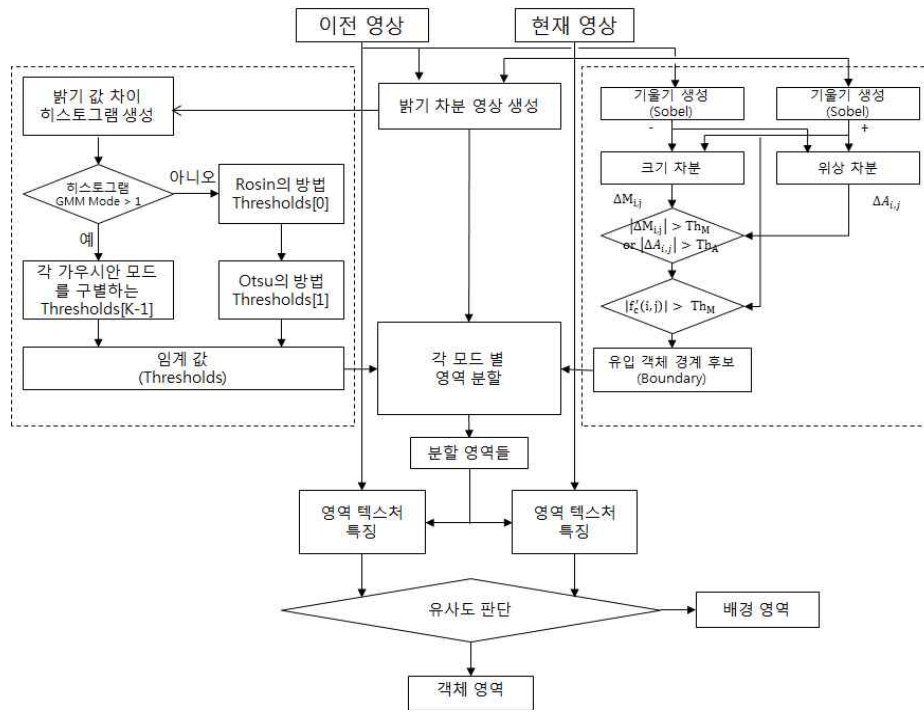
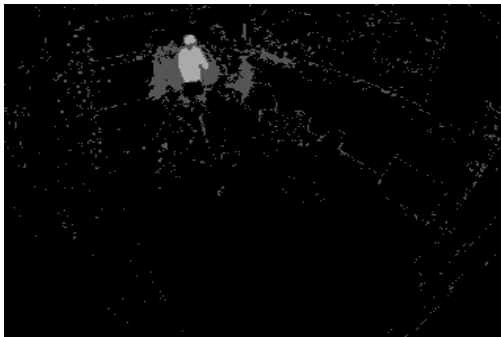


그림 2. 변화 검출 전체 흐름도



(a) 각 화소를 3 종류로 분류



(b) 각 화소를 4 종류로 분류

그림 3. 임계값을 이용하여 분할한 차분 영상; (a)히스토그램이 하나의 뚜렷한 모드만 가지고 있어 Otsu와 Rosin 방법으로 구현 두 임계값을 이용하여 화소를 3종류로 분류. 히스토그램이 4개의 뚜렷한 모드를 가지고 있어 화소를 4종류로 분류

2.2 유입 객체 경계 후보 화소 선택

2.1 절의 임계값들을 이용하여 영역을 분할한 하였을 때, 동일 분할 영역이 객체와 배경에 걸쳐있다면(그림 3(a)에서 사람 목 부근과 주변이 동일 레벨로 표시된 영역으로 묶여 있음), 한 영역 내의 유입 객체의 텍스처와 배경의 텍스처가 혼재하게 된다. 그 결과 영역 내의 텍스처를 분석하여 배경인지 객체인지를 판단하는 것은 신뢰도가 낮다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유입 객체의 경계(boundary)를 따로 추출하고, 영역 분할 시 경계 밖의 영역과 경계안의 영역이 동일 영역으로 묶이는 것을 방지하는

것이 필요하다. 이를 위해 유입 객체의 경계를 그림 2의 전체 흐름도 우측과 같이 추정한다.

유입된 객체는 배경과 다른 밝기 분포를 가지고 있기 때문에, 유입된 객체의 경계 상의 대부분 화소에서는 다음 두 가지 특성을 가지고 있다.

- 현 영상의 유입된 객체의 경계 상의 화소 기울기의 크기는 기준 영상의 동일 화소의 기울기 크기보다 크다.
- 현 영상의 유입된 객체의 경계 상의 화소 기울기의 방향은 기준 영상의 동일 화소의 기울기의 방향과 다르다.

본 논문에서는 흐름도 우측과 같이 위 두 조건 중 하나를 만족하는 화소를 유입 객체 경계 후보 화소로 선택하였다. 각 화소  $(i, j)$ 에서 기준 밝기 영상에서의 기울기 크기 및 방향을  $M_{prev}(i, j), A_{prev}(i, j)$ 라고 하고, 현 밝기 영상에서의 기울기 크기 및 방향을  $M_{curr}(i, j), A_{curr}(i, j)$ 라 한다면, 화소  $(i, j)$ 가 유입된 객체의 경계에 놓이는 조건은 다음과 같다.

$$\Delta M(i, j) = M_{curr}(i, j) - M_{prev}(i, j), \quad (1a)$$

$$\Delta A(i, j) = A_{curr}(i, j) - A_{prev}(i, j), \quad (1b)$$

$$(i, j) = \begin{cases} \text{object boundary candidate} & \text{if } \Delta M(i, j) \geq th_M, \\ \text{object boundary candidate} & \text{if } \Delta A(i, j) \geq th_A. \end{cases} \quad (1c)$$

식 (1c)의 임계값  $th_M$ 과  $th_A$ 는  $\Delta M$ 과  $\|\Delta A\|$ 의 히스토그램을 각각 생성하고 Otsu의 방법으로 각각 구하였다.

### 2.3 각 모드 별 영역 분할

2.1절과 2.2절에서 구한 임계값들과 영역의 경계 후보 화소들을 기반으로 영역의 분할을 수행한다. 먼저 2.1 절에서 구한 다수의 임계값들을 이용하여 영상을 다수의 레벨로 영역을 분할한다. 각 화소에 레벨 값을 부여하는 방법은 다음과 같다.

$$\Delta I(i, j) = I_{curr}(i, j) - I_{prev}(i, j); \quad (2a)$$

$$l = K + 2;$$

do {

$$\text{if } (\Delta I(i, j) \geq th[l]), \text{ level}(i, j) = l; \quad (2b)$$

$$l = l - 1;$$

} while (  $l \geq 1$  );

수식 (2a)에서 화소  $(i, j)$ 는 유입 객체 경계 후보 화소를 제외한 영상의 모든 화소이며, 수식 (2b)의  $th[l]$ 은 전 단계에서 구한 임계값 열이다. 수식 (2)에 따라 각 화소에 레벨 값을 부여하고, 동일 레벨을 가진 연속된 화소들을 하나의 영역으로 묶는다. 각각의 영역은 종자 화소로부터 점차적으로 확장하여 생성하는데, 확장 시 2.2 절에서 선정된 객체 영역 경계 후보 화소들을 만나면 확장을 멈춘다.

### 2.4 텍스처를 이용한 분할된 영역의 판단

분할된 각 영역이 유입된 객체에 해당하는지를 판단하기 위하여, 각 영역에 해당하는 현 영상의 화

소와 기준 영상의 화소에서 텍스처를 추출하고 이들의 유사도를 이용한다. 본 논문에서는 지역 이진 패턴의 히스토그램의 유사도[7]와 기울기의 유사도[4]를 각각 적용해보았다.

#### 2.4.1 지역 이진 패턴의 히스토그램을 이용한 영역 판단

우선 텍스처 해석에 널리 사용되는 지역 이진 패턴(local binary pattern)을 이용하여 영역이 객체인지 배경인지를 판단한다. 지역 이진 패턴은 주변 화소의 밝기 값이 중심 화소의 밝기 값보다 일정 마진 이상 크면 1 아니면 0으로 이진화하고, N개의 주변 화소에서 생성된 이진화 된 값을 통합하여 N비트 패턴으로 만든다. 이들 N비트 패턴은  $[0, L=2^N-1]$  구간의 값을 가진다[7]. 영역 내에서 두 패턴의 유사성의 판단은 Heikkila 등이 사용한 방법을 사용하며, 그 방법은 간략하게 다음과 같다.

$$H_{curr}(i), i = 0, \dots, L \quad (3a)$$

$$H_{prev}(i), i = 0, \dots, L \quad (3b)$$

$$\text{cost} = \sum_{i=0}^L \min(H_{curr}(i), H_{prev}(i)) \quad (3c)$$

$$\text{region} = \begin{cases} \text{foreground} & \text{if } \text{cost} \leq th_{LBP}, \\ \text{background} & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3d)$$

수식 (3a)는 영역에 해당하는 현 영상의 화소들의 지역 이진 패턴 히스토그램, 수식 (3b)는 영역에 해당하는 기준 영상의 화소들의 지역 이진 패턴 히스토그램 이다. 영역이 유입된 객체 내부에 놓이게 된다면 두 히스토그램은 유사도가 낮아지게 된다. 이때 수식 (3d)의 값이 작아진다. 이때 수식 (3d)의 값이 작아진다.

지역 이진 패턴 생성 시 사용하는 마진을 크게 하면 잡음의 영향을 줄일 수 있지만 반면에 물체 표면의 작은 변화를 고려하지 않게 된다. 또한 지역 이진 패턴의 히스토그램의 유사성이 신뢰도가 크기 위해서는 분할 영역이 일정 크기 이상이 되어야 하는 단점이 있다.

#### 2.4.2 기울기의 유사성을 이용한 영역 판단

분할된 각 영역이 유입된 객체인지 배경인지의 판단은 영역에 해당하는 현 영상의 화소와 기준 영상의 화소에서 기울기의 상관관계의 유사성을 이용해서 한다. 두 기울기 상관관계의 유사도의 비교는 Li 등

이 화소 단위의 객체 검출에 사용하였는데[4], 본 논문에서는 이 방법을 영역 단위의 객체 검출에 적용한다. 그 방법은 간략하게 다음과 같다.

$$\begin{aligned} similarity &= \frac{2 f'_{prev}(i,j) \cdot f'_{curr}(i,j)}{\|f'_{prev}(i,j)\|^2 + \|f'_{curr}(i,j)\|^2} \quad (4a) \\ &= \frac{2 \|f'_{prev}(i,j)\| \|f'_{curr}(i,j)\| \cos\theta}{\|f'_{prev}(i,j)\|^2 + \|f'_{curr}(i,j)\|^2} \end{aligned}$$

$$similarity_p = \frac{\sum_{(i,j) \in M_p} 2 \|f'_{prev}(i,j)\| \|f'_{curr}(i,j)\| \cos\theta}{\sum_{(i,j) \in M_p} (\|f'_{prev}(i,j)\|^2 + \|f'_{curr}(i,j)\|^2)} \quad (4b)$$

$$similarity_{Region} = \frac{\sum_{(i,j) \in Region} 2 \|f'_{prev}(i,j)\| \|f'_{curr}(i,j)\| \cos\theta}{\sum_{(i,j) \in Region} (\|f'_{prev}(i,j)\|^2 + \|f'_{curr}(i,j)\|^2)} \quad (4c)$$

수식 (4a)는 화소의 기울기의 교차-상관관계와 자기-상관관계를 이용한 유사도를 정하는 함수이다. 이 함수에 의해 두 기울기가 동일하면 1이고, 두 기울기가 90도 차이가 있으면 0으로 나타나는 유사도를 얻을 수 있다. Li 등은 이 기울기의 상관관계를 수식 (4b)와 같이 화소의 5×5 주변 영역(=  $M_p$ )에서 비교함으로 화소의 텍스처의 유사도를 정의하였으나, 본 논문에서는 영역 전체에서의 유사도를 수식 (4c)와 같이 계산하였다. 영역이 유입된 객체 내부에 놓이게 된다면 기준 영상과 현 영상의 기울기가 서로 다르게 되며 영역 전체의 유사도가 0 에 가깝게 얻어진다. 영역이 배경 영역이라면 기준 영상과 현 영상의 기울기가 서로 유사하여 영역 전체의 유사도가 1에 가깝게 얻어진다. 수식 (4c)를 통하여 얻어진 영역의 유사도를 이용하여 배경 영역과 객체 영역으로 판단한다. 임계값은 실험을 통하여 구하였으며 0.5를 사용하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 실험에 사용한 영상 데이터

실험에 사용되는 영상들은 다음과 같다.

- Intelligent room 영상 데이터: 변화 검출에 사용되는 공개된 데이터로 유입 객체 영역의 기본 참 값을 제공한다[8]. 정상적인 조명 상태에서 생성된 영상으로 영상에 내재된 잡음에 의한 밝기 변화, 유입된 객체 표면에서 주변으로 반사된 반사광에 의한 밝기 변화, 유입된 객체 표면과 배경의 밝기 차이에

의한 밝기 변화 등이 있다.

- 영상 데이터 II: 유입된 객체로 인하여 카메라의 자동 노출 값이 변하게 되고 그 결과 객체 주변의 배경에서 화소의 밝기 값의 변화가 크다.

- 영상 데이터 III: 측면 조명을 추가하여 생성한 영상으로, 유입된 객체와 배경의 사물에 의하여 그림자가 존재하며, 배경에서 전체의 밝기 평균이 30정도 증가하였다. 일부 배경의 사물에서 밝기 변화가 다른 배경에서의 밝기 변화와 다른 특징을 가지고 있다.

- 영상 데이터 IV: 변화 검출에서 널리 인용되는 Li[4]의 결과와 비교하기 위하여 Li의 논문에서 캡처한 영상이다. Li의 논문을 구현하지 않았기 때문에 Li 논문에서 발표한 결과와 간접적으로 비교하기 위하여 사용하였다.

#### 3.2 실험 결과

영상 데이터 III, IV를 이용한 실험에서는 Otus, Rosin, GMM, 지역이진패턴을 텍스처로 사용한 제안한 방법, 기울기를 텍스처로 사용한 제안한 방법을 비교하였다. 두 영상의 차분의 밝기 분포 히스토그램이 하나의 뚜렷한 국소 최대를 가지는 경우에는 GMM을 이용한 실험은 비교에 포함하지 않았다.

##### 3.2.1 Intelligent room 영상 데이터

두 영상 차분의 밝기 분포 히스토그램은 그림 1(c)와 같이 뚜렷한 국소 최대가 하나만 존재하여 Rosin과 Otsu 방법으로 두 임계값을 구하였다. 그림 4(d) Otsu의 방법은 좋은 결과를 보여주고 있는데, 이 영상의 특징이 Otsu의 이론 환경에 적합하기 때문이다. 그림 4(e) Rosin의 방법은 반사광과 조명 변화로 인한 변화를 추가로 검출하였다. 그림 4(g), 4(h)를 비교하였을 때 LBP 히스토그램을 텍스처로 사용하는 것보다는 기울기를 텍스처로 사용하는 것이 안정적임을 보여주고 있다. 정량적인 비교를 보여주는 표 1의 값으로 평가할 때 기울기를 텍스처로 사용한 제안 방법이 가장 오차가 작음을 보여주고 있다. GMM은 차분 밝기 분포의 히스토그램이 하나의 뚜렷한 모드만 가지고 있어 초기 설정에 따라 결과가 다르기 때문에 GMM은 비교 실험에 포함하지 않았다.

##### 3.2.2 영상 데이터 II

모든 방법이 카메라 조도 조절에 의한 화소 밝기

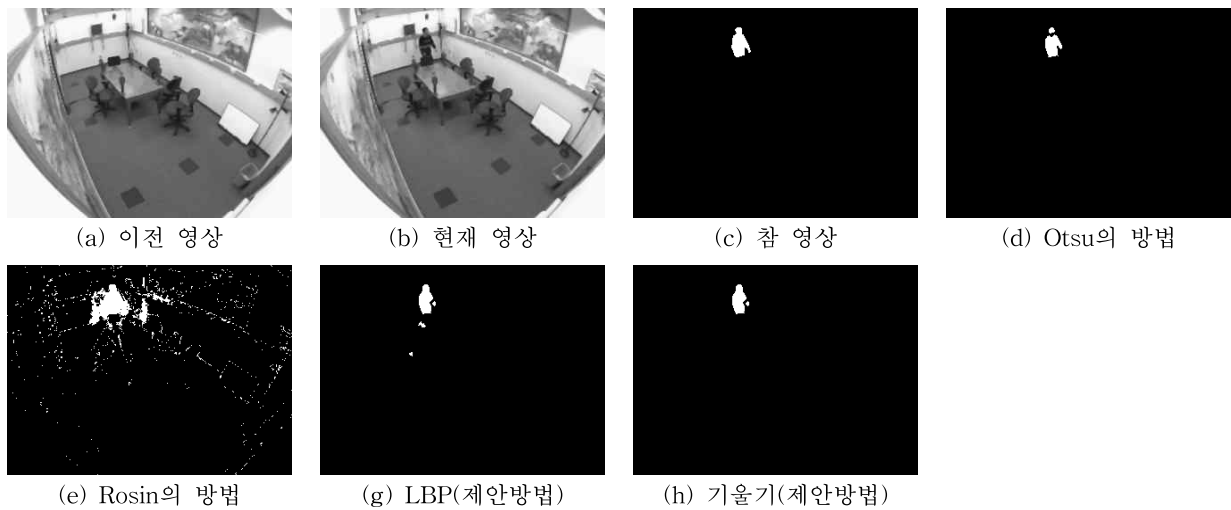


그림 4. Intelligent room 영상 데이터를 이용한 실험 결과

표 1. Intelligent room 영상 데이터를 이용한 실험 결과

|               | 거짓 양성 오차 | 거짓 음성 오차 | 총 오차     |
|---------------|----------|----------|----------|
| Otsu          | 0.000039 | 0.000937 | 0.000977 |
| Rosin         | 0.028464 | 0        | 0.028464 |
| 기울기 유사도       | 0.000104 | 0.000755 | 0.000859 |
| LBP 히스토그램 유사도 | 0.000677 | 0.000755 | 0.001432 |

변화에는 강인함을 보여주고 있다. 그림 5의 정성적인 결과와 표 2의 정량적인 값으로 평가할 때 기울기

를 텍스처로 사용한 제안한 방법이 가장 오차가 작음을 보여주고 있다.

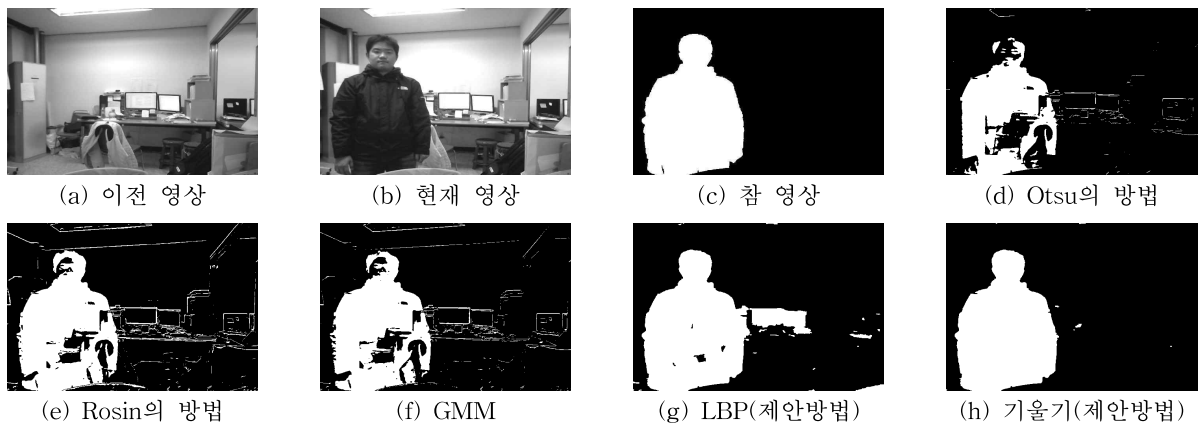


그림 5 영상 데이터 II를 이용한 실험 결과

표 2 영상 데이터 II를 이용한 실험 결과

|               | 거짓 양성 오차 | 거짓 음성 오차 | 총 오차     |
|---------------|----------|----------|----------|
| GMM           | 0.024661 | 0.044388 | 0.069049 |
| Otsu          | 0.011781 | 0.06763  | 0.079411 |
| Rosin         | 0.039375 | 0.035895 | 0.07527  |
| 기울기 유사도       | 0.010472 | 0.000892 | 0.011364 |
| LBP 히스토그램 유사도 | 0.019027 | 0.002904 | 0.02193  |



### 3.2.3 데이터 III

그림 6의 정성적인 결과와 표 3의 정량적인 값으로 평가할 때 기울기를 텍스처로 사용한 제안한 방법이 가장 오차가 작음을 보여주고 있다. 하지만 측광에 의하여 객체의 좌측에 생성된 그림자의 경계는 객체로부터 멀어질수록 그 값이 점차적으로 감소하는데, 그 점차적으로 밝기 값이 감소 구간이 약 10개 화소에 걸쳐있다. 때문에 이들을 포함한 분할된 영역에서 기울기 유사도가 낮게 나와 유입 객체로 오검출하였다.

### 3.2.4 영상 데이터 IV

그림 7의 정성적인 결과와 표 4의 정량적인 값으로 평가할 때, 기울기를 텍스처로 사용한 제안한 방법이 Li[4]의 방법보다 좋은 성능을 보여줌을 보여주고 있다. 하지만 유입 객체의 일부 경계 영역에서 객체 내부에서의 화소 밝기와 배경에서의 화소 밝기 값이 매우 유사하며, 동시에 기울기의 방향도 유사하여, 객체의 경계 상의 화소를 객체의 경계 후보 화소로 검출하지 못하여 유입 객체의 영역 일부를 검출하지 못하였다. Li의 논문에서는 모폴로지 필터를 최

종적으로 적용하였는데, 공정한 평가를 위해서 본 실험에서는 동일하게 모폴로지 필터를 적용하지 않은 결과 그림 7(f)를 비교대상으로 하였다.

상기 실험의 정량적인 수치와 정성적인 결과는 제안한 방법이 널리 사용되고 있는 변화 검출 방법에 비하여 우수한 성능을 가지고 있음을 보여주고 있다.

제안한 방법을 구현하는데 수행하는 연산은 (1)차분영상 생성, (2)히스토그램 생성, (3)히스토그램 분석, (4) 소벨(Sobel) 연산자를 이용한 수평 및 수직 화소 편차 생성, (4) 영역 분할, (5) 영역 내부에서 유사도 계산 등으로 이루어진다. 전체 연산량은 Li 방법의 한 번 반복에 수행되는 연산량(화소당 약 50개의 연산)에 영역 분할에 소요되는 연산량이 추가한 것이다. 참고로 Li의 방법은 수렴하는데 약 50번의 반복을 필요로 한다. 영역 분할은 임계값을 이용하여 각 화소에 레벨 값을 부여하는 연산이 필요하다. 레벨을 이용하여 종자 화소로부터 영역을 확장할 때 한 화소와 주변 4화소의 레벨을 비교하는 연산이 필요하다. 그 결과 영역 분할의 주 연산은 각 화소에서 6~8개의 비교 연산에 해당한다.

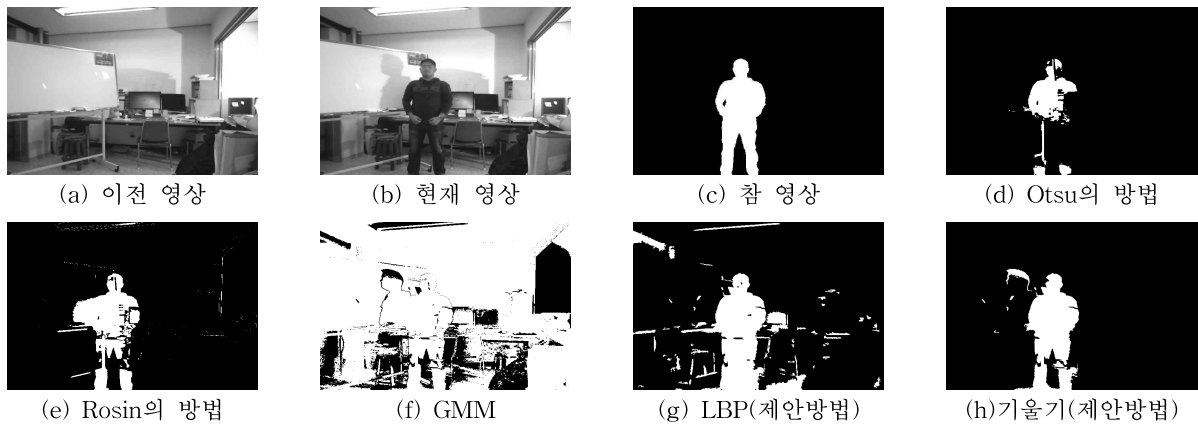


그림 6 영상 데이터 III를 이용한 실험 결과

표 3. 영상 데이터 III를 이용한 실험 결과

|               | 거짓 양성 오차 | 거짓 음성 오차 | 총 오차     |
|---------------|----------|----------|----------|
| GMM           | 0.69569  | 0.004346 | 0.700036 |
| Otsu          | 0.001048 | 0.042227 | 0.043275 |
| Rosin         | 0.015635 | 0.015937 | 0.031572 |
| 기울기 유사도       | 0.012311 | 0.003555 | 0.015866 |
| LBP 히스토그램 유사도 | 0.098418 | 0.001934 | 0.100352 |

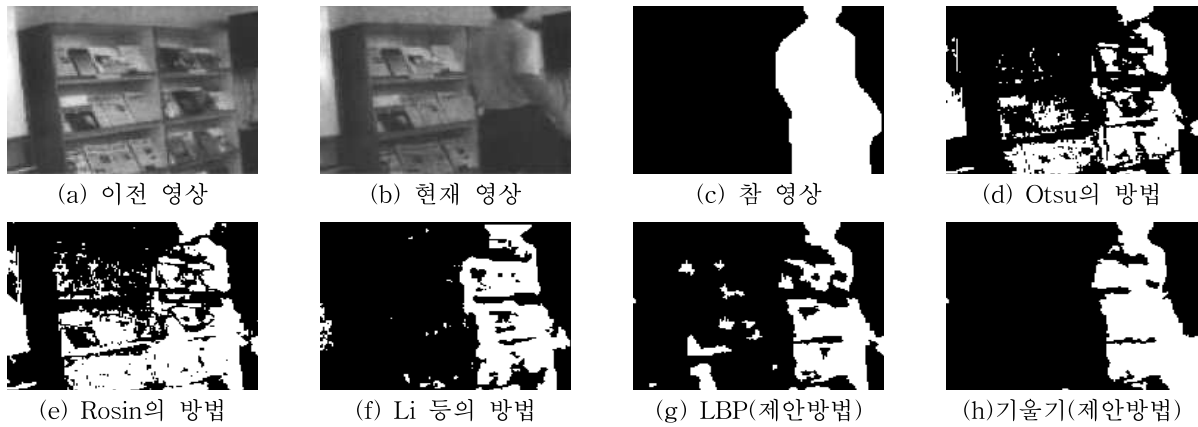


그림 7 영상 데이터 IV를 이용한 실험 결과

표 4. 영상 데이터 IV를 이용한 실험 결과

|               | 거짓 양성 오차 | 거짓 음성 오차 | 총 오차     |
|---------------|----------|----------|----------|
| GMM           | 0.249054 | 0.071255 | 0.320308 |
| Otsu          | 0.116279 | 0.144808 | 0.261087 |
| Rosin         | 0.155535 | 0.112674 | 0.268208 |
| Li            | 0.015639 | 0.088922 | 0.104561 |
| 기울기 유사도       | 0.016586 | 0.07112  | 0.087705 |
| LBP 히스토그램 유사도 | 0.03592  | 0.115693 | 0.151613 |

#### 4. 결 론

본 논문에서는 두 영상의 화소 밝기의 변화 요인을 첫째 유입된 객체에 의한 변화, 둘째 객체 표면으로부터 반사광에 의한 주변에서의 변화와 객체의 그림자에 의한 변화, 그리고 셋째로 내재된 잡음에 의한 변화로 구별할 수 있는 다수의 임계값들을 자동으로 추정하였다. 추정된 다수의 임계값들을 이용하여 각 화소에 레벨 값을 부여하고 차분 영상을 다수의 영역으로 분할하였다. 영역 분할 시 동일 레벨을 가지는 화소들이 객체 영역과 객체 외부 영역에 걸쳐서 하나의 영역으로 분할되는 것을 방지하기 위하여 유입된 객체의 경계 후보 화소를 추출하였다. 최종적으로 각 영역에 해당하는 기준 영상과 현 영상의 영역에서 텍스처를 추출하고 이들의 유사도를 비교하여, 유입된 객체에 의한 변화와 반사광 또는 그림자에 의한 밝기 변화를 분류하였다.

텍스처 특징 추출은 실시간 구현이 가능한 화소에서 기울기와 지역 이진 패턴을 각각 이용하였다. 지역 이진 패턴을 이용한 결과는 기울기의 상관관계를 이용하는 것에 비해서 상대적으로 나쁜 결과를 보여

주고 있는데, 그 원인은 다음과 같다.

- 삼차원 형상의 모서리에서 화소 값은 주변 조명에 의해서 그 값이 크게 변화될 수 있는데, 본 논문에서 수행한 실험에 의하면 기울기의 상관관계는 이러한 변화에 강인한 특성을 보여주고 있지만, LBP 패턴은 강인하지 못함을 보여주고 있다.

- 텍스처의 유사도를 비교함에 있어 기울기의 상관관계는 강인하여 적은 수의 화소로도 비교가 가능하였지만, LBP의 경우는 강인하지 못하여 영역 단위로 히스토그램을 생성하여 비교하였는데, 이 경우 안정적인 결과를 얻으려면 영역이 커야하는 단점이 있다.

제안한 방법은 다양한 조명 패턴과 영상에서 유입된 객체 영역을 높은 정확도와 신뢰도로 배경으로부터 분리할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

[1] J. Kittler and J. Illingworth, "Minimum Error Thresholding," *Pattern Recognition*, Vol. 19, No. 1, pp. 41-47, 1986.  
 [2] Otsu, N. "A Threshold Selection Method from

Gray-level Histograms," *IEEE Transaction Systems Man Cybernet.* Vol. 9, Issue 1, pp. 62-66, 1979.

[ 3 ] Paul L. Rosin, "Unimodal Thresholding," *Pattern Recognition*, Vol. 34, No. 11, pp. 2083-2096, 2001.

[ 4 ] Liyuan Li and Maylor K.H. Leung, "Integrating Intensity and Texture Differences for Robust Change Detection," *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 11, No. 2, pp. 105-112, 2002.

[ 5 ] O. Javed, K Shafique, and M. Shah "A Hierarchical Approach to Robust Background Subtraction using Color and Gradient Information," *IEEE Workshop on Motion and Video Computing*, pp. 22-27, 2002.

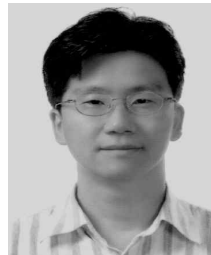
[ 6 ] M. Heikkil and M. Pietikainen, "A Texture-based Method for Modeling the Background and Detecting Moving Objects," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 28, No. 4, pp. 657-662, 2006.

[ 7 ] L. Huang, G. Zhang, and Y. Li, "An Object-based Change Detection Approach by Integrating Intensity and Texture Differences,"

*International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, Vol. 3, pp. 258-261, 2010.

[ 8 ] Intelligent Room, <http://cvrr.ucsd.edu/aton/shadow/index.html>, 2001.

[ 9 ] 이재원, 정지훈, 홍성훈, "자세인식을 위한 정확한 깊이정보에서의 3차원 다중 객체검출 및 추적," 멀티미디어학회논문지, 제15권, 제8호, pp. 963-976, 2012.



김 재 민

1984년 서울대학교 전기공학과 학사  
 1986년 서울대학교 전기공학과 석사  
 1994년 Rensselaer Polytechnic Institute 전기공학과 박사

2001년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수  
 관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터비전, 영상감시



연 승 호

2007년~2011년 홍익대학교 전자전기공학부 학사  
 2011년~현재 홍익대학교 전기정보제어공학과 석사  
 관심분야 : 객체검출, 객체인식