

# 다중 노출을 이용한 저비용 영상 이벤트 검출 방법

임유빈<sup>o</sup> 이강  
 한동대학교 전산전자공학부  
<sup>o</sup>trop100@naver.com yk@handong.edu

## A Low-Cost Vision-Based Event Detection Method Using Multiple Exposure

Yu-Bin Lim and Kang Yi  
 School of Computer Science and Electrical Engineering, Handong Global University, Korea

### 요 약

CCTV와 차량용 블랙박스 등의 영상기반 감시장비들로 사회안전망이 구축되고 있다. 하지만 디지털 영상 획득 센서는 실세계의 다이내믹 레인지를 온전히 감지하지 못한다는 한계점을 가지고 있는데 이로 인해 역광과 같은 특정 조명 조건하에서는 발생하는 움직임들을 감지하지 못하는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 종래에는 HDR 이미지를 사용하는데, 움직임이 많은 영상에 적용하기 어렵다. 별도의 WDR 이미지 센서를 사용할 수도 있으나 가격이 비싸고 영상처리가 복잡하다는 단점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 프레임을 목표 다이내믹 레인지별로 그룹핑하고 프레임 그룹별로 노출시간을 달리하는 다중노출 방식을 제안한다. 이 방식에 따르면 어떤 조명 조건 상황에서도 물체의 변화를 모두 검출할 수 있으며 기존 이미지 센서와 영상 감지 시스템을 그대로 사용하기에 저비용으로 구현이 가능하다는 장점이 있다.

### 1. 서론

테러, 자연재해, 범죄 증가로 사회안전망이 강조되면서 감시 카메라 시스템의 보급이 확산되고 있다. 고정형 실내외 CCTV 카메라, 차량에 설치된 블랙박스 카메라, 등 다양한 종류가 있다. 이러한 감시 카메라들은 점차 이벤트가 발생할 경우에만 녹화하는 지능형 시스템으로 발전하고 있다. 영상에서 물체의 움직임을 감지하면 이벤트로 판단하여 바로 경보를 발생시키거나, 움직임이 있는 영상을 다음 단계 처리 과정으로 보내어서 물체 식별이나 인식을 통하여 경보 발생 유무를 결정하기도 한다.

이러한, 영상을 활용한 이벤트 감지 방법에서 가장 어려운 문제 중 하나는, 다양한 주변 조명 조건에서 사건을 감지해야 한다는 것이다. 일반적인 이미지 센서의 입력 조도의 범위(다이내믹 레인지)는 60-70dB인데[1], 역광 상황 등에서 조도가 가장 높은 곳이나 가장 낮은 부분이 동시에 넓은 면적으로 존재하여 입력 범위를 초과하는 경우가 있다. 이 때, 센서의 출력 값이 쉽게 포화되어 어두운 곳 또는 지나치게 밝은 곳에서는 영상이 감지되지 않는 문제가 있을 수 있다. 일반 카메라에서는 프레임 내의 특정 영역이나 객체 또는 전체의 평균 픽셀의 밝기 값을 기준으로 단일 노출 값을 정하는데[2-4], 이 경우 일몰, 차량 하이빔, 역광 등으로 인하여 조도 값의 범위가 매우 넓은 경우에는 전체 프레임을 다 보여주는 적절한 하나의 노출 값을 정할 수가 없다[1].

이는 HDR(High Dynamic Range) 문제로서 정지영상 카메라에서는 여러 장의 사진을 각기 다른 노출 값으로 연사하고 합성함으로써 밝고 어두운 부분을 모두 표현 가능하게 하는 기

법을 쓰고 있다. 그러나, 이 방법은 촬영 대상체가 움직이지 않아야만 구현이 가능하기에 이동 물체를 감지하는 감시카메라에서는 적절하지 못하다[5]. 움직이는 물체에 대해서 넓은 범위의 조도 값 입력을 구현하기 위해서는 근본적으로 특수하게 개발된 WDR(Wide Dynamic Range) 이미지 센서를 사용해야(100dB 이상 범위)한다. 그러나, 이 방식은 비용이 많이 발생하고 센서단의 출력을 ISP(Image Signal Processing)단에서 처리하기가 복잡한 문제가 있다[1]. 무엇보다, 본 연구에서 목표로 하는 저비용 이벤트 검출에 상기의 방법들은 비용 및 복잡도 문제로 적합하지 않다.

따라서, 본 논문에서는 기존의 일반 이미지 센서를 이용하여 자연 상태의 다이내믹 레인지를 모두 포함하여 어떤 조명 상황에서도 사용할 수 있는 저비용 이벤트 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 입력 영상의 다이내믹 레인지를 확장시키기 위해 영상의 조도 조건을 판단하여 같은 노출 값  $E_n$ 을 가지는 프레임들을 그룹  $G_n$ 으로 그룹핑하고, 각 그룹 내에서 프레임의 픽셀 값을 비교함으로써 입력 영상에 존재하는 모든

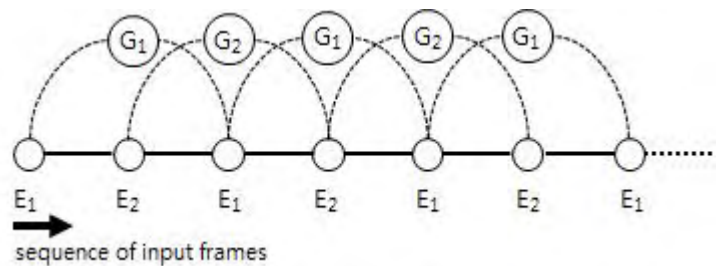


Fig. 1. Frame grouping method

다이내믹 레인지를 스캔할 수 있도록 한다. Fig. 1은 프레임을 그루핑하는 방법을 대략적으로 나타내는데 이는 다음 2장에서 더 자세히 다룰 것이다.

## 2. 동적 노출 제어 및 이를 이용한 이벤트 감지기

### 2.1 전반적인 알고리즘 개요

입력 영상의 다이내믹 레인지가 커서 식별하지 못하는 부분이 생기는 문제를 해결하기 위해 제안된 알고리즘에서는 Fig. 2와 같이 두 가지 이상의 노출 값을 이용하여 다이내믹 레인지를 확장시킨다. 일반 이미지 센서로는 한번에 볼 수 없는 넓은 영역의 다이내믹 레인지를 가진 영상인 경우에, 낮은 영역, 중간 영역, 높은 영역의 다이내믹 레인지를 검출할 목적으로 센서의 노출시간을 길게, 적당히, 짧게하여 촬영하면 각각 Fig. 2(a), 2(b), 2(c)와 같이 다른 조도 조건에서는 제대로 볼 수 없었던 부분들을 제대로 식별할 수 있다.

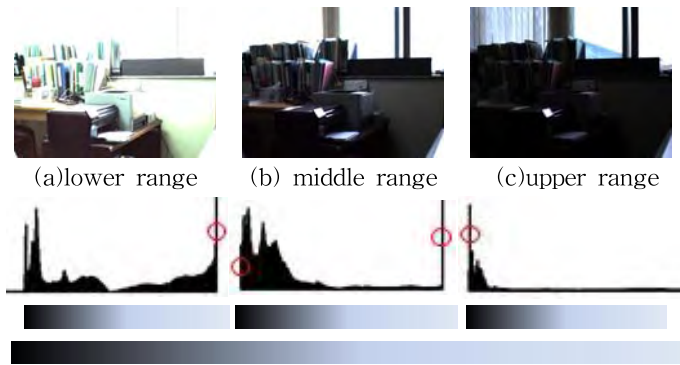


Fig. 2. Images with different exposure

Fig. 3는 앞에서 언급한 다이내믹 레인지 확장 개념이 적용된 다중 노출을 이용한 이벤트 감지 방법의 전반적인 알고리즘을 나타내고 있다. 제안된 알고리즘에서는 영상의 조도 히스토그램을 분석하여 다이내믹 레인지의 확장이 필요한지 판단하고, 필요한 경우 2가지 이상의 노출 값을 프레임별로 번갈아가며 영상을 획득한다. 그리고 같은 노출 값으로 획득된 프레임들을 그루핑하여 이벤트가 검출되면 이벤트를 검출하였음을 알리고 해당 프레임을 저장한다. Fig. 3은 제안된 알고리즘에서 노출 값을 정하는 간략한 흐름도이다.

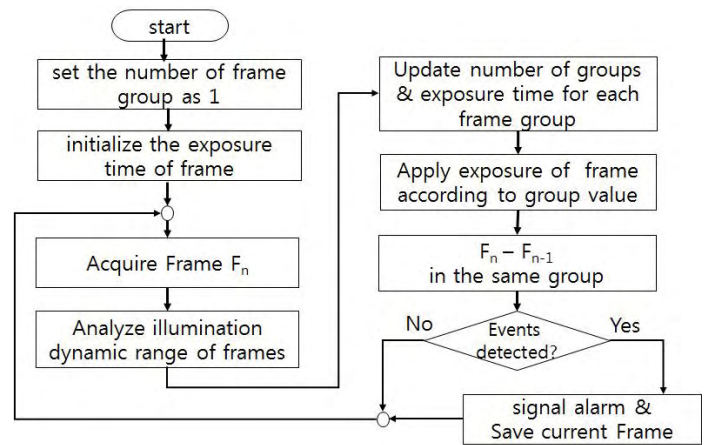


Fig. 3. Proposed Algorithm overview

높은 값을 가지고 있는 잘린 형태의 분포를 보인다. 이러한 특성을 이용하여 영상에서 포화가 일어났는지 히스토그램을 통하여 쉽게 확인할 수 있다.

히스토그램으로 확인된 영상의 포화 문제는 노출 제어를 통해 다이내믹 레인지를 좌나 우로 이동시켜 포화된 부분을 실제의 값으로 인식하게 하는 방법으로 해결 할 수 있는데, 이 경우 다이내믹 레인지가 이동하는 방향의 반대편에서는 더 많은 부분이 포화되어 기존의 영상에서 식별할 수 있었던 부분도 알아 볼 수 없게 되는 경우가 있다. 실제계를 제대로 식별하기 위해서는 기존의 노출 값도 유지해야 하므로 기존 노출 값과 변경된 노출 값을 번갈아가면서 영상을 획득해야 한다.

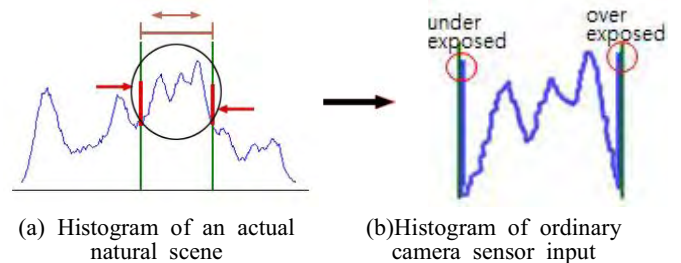


Fig. 4. Limited range of camera histogram in high dynamic range histogram

제안된 알고리즘에서는 카메라를 통해 획득한 프레임의 히스토그램을 생성하고 그 형태에 따라 몇 개의 노출이 필요한지와 어떻게 노출 값을 변경할지 결정한다. 히스토그램 형태를 판단하기 위해서 밝기가  $i$ 인 픽셀의 도수를 의미하는  $H_i$ 를 사용하여 계산한다.

새로운 노출 값은 히스토그램에서  $H_0$ 과  $H_{255}$ 가  $Th$ 을 넘을 때 추정치로 결정된다. 먼저,  $H_0$ 과  $H_{255}$ 가 모두  $Th$ 보다 크면 히스토그램 양쪽이 포화된 형태이므로 3가지 노출 값을 사용하여 다이내믹 레인지를 확장시켜야 한다. 이런 형태의 영상에서는 먼저 적절한 장노출 값을 구하고 나서 단노출 값을 구한다. 다음으로,  $H_0$  혹은  $H_{255}$ 만  $Th$ 보다 큰 경우엔 어둡거나 밝아서 식별하지 못하는 부분이 있으므로 2가지 노출 값을 사용하여 다이내믹 레인지를 확장시킨다. 각각은 증가 혹은 감소시킨 노출

값을 가진다. 마지막으로, 아무런 경우에도 해당되지 않는 영상은 추가적인 연산 없이 실행을 계속한다.

### 2.3 노출 수준에 따른 프레임 그룹핑

2.2에서 살펴본 바와 같이 영상의 노출 수준에 따른 히스토그램의 형태는 4가지 형태로 나뉘고, 각 히스토그램의 형태에 따라 노출 값들을 번갈아가며 영상을 획득하고 이벤트를 검출한다. 프레임마다 노출 값을 변경하며 노출 값을 획득하기 때문에 다른 노출에서 획득된 프레임 간에는 식별할 수 있는 부분이 확연히 달라 비교가 무의미하다. 따라서, 좀 더 유의미한 이벤트를 검출하기 위해 프레임들을 같은 노출 값으로 그룹핑하여 같은 그룹 내에서만 비교한다.

앞서 살펴본 Fig. 1은 영상이 2가지 노출 값을 가질 때의 프레임 그룹핑 방법을 나타낸다. 한 프레임마다 노출 값이 변경되므로 다른 그룹의 프레임들이 획득되는 동안 프레임을 프레임 버퍼에 저장하여 유지시키고, 같은 그룹의 다음 프레임이 획득될 때 버퍼에 있던 프레임과 획득되는 프레임을 비교하는 방식이다. 이 방법은 프레임 그룹 간의 지연 시간이 짧아 안정적으로 이벤트를 검출할 수 있다.

### 2.4 프레임 그룹 내에서의 이벤트 검출

기존의 일반 이미지 센서에서는 단일 노출 값으로 한 번에 하나의 프레임만 획득할 수 있다. 따라서, 노출 값이 계속해서 바뀔 수 있는 제안된 알고리즘에서는 각 프레임 그룹마다 버퍼를 두고 촬영되는 프레임을 각 그룹의 버퍼에 저장하여 그룹 내에서 프레임간의 비교를 통해 이벤트를 검출한다.

버퍼에 특정 그룹의  $n-1$ 번째 프레임  $F_{n-1}$ 이 저장되어 있다고 가정하자.  $F_{n-1}$ 은  $F_n$ 이 획득될 때까지 버퍼에서 대기한다. 다른 그룹의 프레임 획득이 끝나고 동일 그룹의  $F_n$ 이 획득되면 버퍼에 있는  $F_{n-1}$ 과 비교한다. 연속된 프레임을 비교하여 일정 값 이상 차이 나는 픽셀이 있으면 이벤트가 발생했다고 판단하고 이 픽셀들을 기록하는 차영상을 생성한다. 차영상에 나타나는 외곽선을 추출하고 기존 영상과 합성하여 이벤트를 검출하였음을 표시한다. 마지막으로  $F_n$ 을 버퍼에 저장하여 반복 실행되게 한다.

### 2.5 제안된 방법의 복잡도 분석

제안된 이벤트 감지 알고리즘의 복잡도를 시간 복잡도와 공간 복잡도 측면에서 분석하였다. 먼저, 제안된 방법은 종래의 모션 이벤트 감지 방법인 프레임 간 차영상을 구하는 방법을 사용하기 때문에 종래방식과 동일하다. 즉, 한 프레임의 픽셀수인  $n^2$ 에 비례하는  $O(n^2)$ 의 시간 복잡도를 가진다고 할 수 있다.

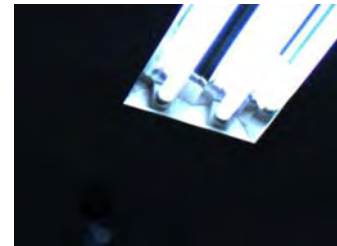
제안된 방법에서 요구되는 메모리량을 살펴보자. 먼저, 노출 값에 따른 프레임 그룹의 수가 최대  $N$ 개라면, 각 그룹별로 이벤트를 감지해야 하기 때문에 일반적인 방법에 비해서 프레임 버퍼의 용량이  $N$  배가 필요하다. 즉, 현재 카메라에서 입력으로 들어오는 영상을 위한 프레임 버퍼 외에 각 그룹의 참조 프레임으로 1개씩의 프레임 메모리가 필요하므로 최대  $N+1$ 개 프

레이를 저장할 수 있는 공간이 필요하다.

### 3. 실험 결과

제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 차이점을 확인하기 위해 Point Grey Flea3-FL3-U3-32S2C-CS 카메라를 사용하여 영상을 획득하였다. 히스토그램에서 영상이 포화되었는지 감지하는 기준인  $Th$ 는 히스토그램 높이의 5%로 설정하고 이미지 처리를 위해 OpenCV 라이브러리 함수들을 사용하여 실험하였다. 기존 노출 제어 알고리즘에 이벤트 검출 함수를 포함하여 촬영한 결과를 제안된 알고리즘으로 촬영한 결과와 비교해보았다. Fig. 6,7에 각 알고리즘에 의해 촬영된 결과를 나타내었다.

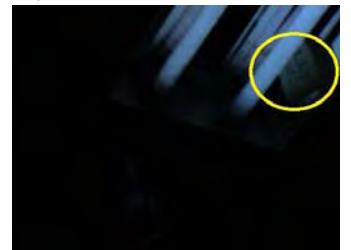
Fig. 6(a)는 단일 노출 제어 알고리즘을 적용한 영상이다. 이 영상만으로 제대로 식별할 수 있는 객체는 형광등밖에 없다. 하지만 제안된 알고리즘으로 촬영한 영상인 Fig. 6(b), 6(c)를 통해 형광등뿐만 아니라 다른 객체들도 식별할 수 있다. Fig. 6B는 중간 노출 값으로 촬영한 영상으로 형광등이 있는 부분은 과노출되어 식별하기 어렵지만 대신 Fig. 6(a)에서 식별하지 못했던 영상 하단에서 발생하는 이벤트를 검출한다. Fig. 6(c)는 단노출에서 촬영된 영상으로 6(a)와 마찬가지로 영상 하단의 이벤트를 검출하지는 못하지만 형광등이 있는 부분을 더 명확하게 식별할 수 있어 6(a)에서는 확인할 수 없었던 문자를 확인할 수 있다.



(a) existing algorithm



(b) proposed algorithm - under exposure



(c) proposed algorithm - middle exposure

Fig. 6. Comparison between existing algorithm and proposed algorithm with 2 exposure values

마찬가지로 Fig. 7(a)는 단일 노출 제어 알고리즘으로 이벤트를 검출한 장면이다. 창문으로 들어오는 태양 빛으로 인해 포화가 일어나서 이를 완화시켜주기 위해 노출 값을 감소시켜 창문에서의 이벤트는 식별할 수 있으나 센서의 다이내믹 레인지의 한계 상 영상의 다른 부분들이 0으로 포화되어 식별할 수 없게 된다. 현재 영상에서도 좌측에서 다른 이벤트가 발생하고 있지만 검출하지 못하고 있음을 뒤에서 확인할 수 있다.

Fig. 7(b), 7(c), 7(d)는 각각 제안된 알고리즘의 단노출, 중간노출, 장노출 값으로 획득한 영상과 그 히스토그램을 나타낸다.

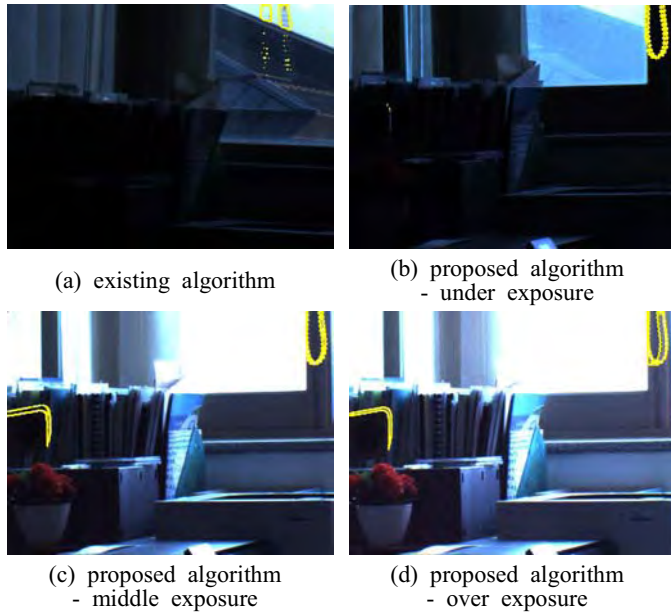


Fig. 7. Comparison between existing algorithm and proposed algorithm with 3 exposure values

단노출 영상인 Fig. 7(b)에서는 Fig. 7(a)에서와 같이 창문에서의 이벤트만 검출하지만 노출을 증가시킨 Fig. 7(c), 7(d)에서는 앞에서는 검출하지 못했던 새로운 이벤트를 검출하는 것이 확인된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 카메라 성능의 한계로 인해 포화되어 식별할 수 없는 영상에서도 이벤트를 검출할 수 있는 저비용 영상 이벤트 감지 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법의 핵심은 다중노출 값을 사용하여 일반 이미지 센서만을 가지고도 단순한 계산과 저비용으로 카메라의 다이내믹 레인지를 확장시키고 획득된 영상 프레임을 노출 수준에 따라 비교하여 어떤 조명 상황에서도 실세계의 모든 이벤트를 감지하는 것이다.

실험 결과로 나타난 바와 같이 제안된 알고리즘에서는 단일노출 제어 알고리즘으로 감지할 수 없는 이벤트를 감지할 수 있고, HDR 이미지와 달리 움직이는 이벤트를 감지할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 적절한 노출 값을 결정하는 구체적인 공식이 없기 때문에 프레임을 구하는 데 시간이 오래 걸리며, 프레임 그룹으로 이벤트를 검출하기 위해선 각 그룹이 프레임을 저장할 버퍼를 하나씩 유지해야 하므로 많은 메모리가 사용된다. 또한, 영상이 그룹으로 나뉘어져 저장되기 때문에 결과의 직관성이 떨어진다는 단점이 있다.

이러한 단점들을 보완하고 장점들을 극대화시켜 결과 영상으로 각 그룹에서 획득되는 이벤트 검출 영상을 합성할 수 있도록 발전시킨다면 보다 직관적이고 안전하게 이벤트를 검출할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2014년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 (재)스마트 IT 융합 시스템 연구단(글로벌프린터사업)의 지원을 받아 수행된 연구입니다 ((재)스마트 IT 융합시스템 연구단- CISS-2011-0031863).

#### 참고문헌

[1] Jongho Park, "A Study on Dynamic Range Extension Method and High Resolution Column Parallel Cyclic ADCs for CMOS Image Sensors", Doctoral Thesis, School of Electronic Science and Technology of Shizuoka University, Feb. 2007.  
 [2] J. Y. Liang, Y. J. Qin, and Z. L. Hong, "An auto exposure algorithm for detecting high contrast lighting conditions," Proc. of the 7th Int. Conf. on ASIC, Guilin, Peoples R. China, vols. 1 and 2, pp. 725-728, Oct. 2007.  
 [3] Tetsuya Kuno, Hiroaki Sugiur, "A new automatic exposure system for digital still cameras," In IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 1, Feb. 1998.  
 [4] J. S. Lee, Y. Y. Jung, B. S. Kim, S. J. Ko: An advanced video camera system with robust AF, AE and AWB. In IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 47, No. 3, August 2001.  
 [5] D. G. Park, K. H. Park, Y. H. Ha, "Acquisition of HDR image using estimation of scenic dynamic range in images with various exposures," IEIE-SP, Vol. 45, no.2, pp.10-20, Mar. 2008.