

SFMOG : 초고속 MOG 기반 배경 제거 알고리즘

SFMOG : Super Fast MOG Based Background Subtraction Algorithm

송 석 빈*, 김 진 현*

Seok-bin Song*, Jin-Heon Kim*

Abstract

Background subtraction is the major task of computer vision and image processing to detect changes in video. The best performing background subtraction is computationally expensive that cannot be used in real time in a typical computing environment. The proposed algorithm improves the background subtraction algorithm of the widely used MOG with the image resizing algorithm. The proposed image resizing algorithm is designed to drastically reduce the amount of computation and to utilize local information, which is robust against noise such as camera movement. Experimental results of the proposed algorithm have a classification capability that is close to the state of the art background subtraction method and the processing speed is more than 10 times faster.

요 약

배경 제거는 동영상에서 변화를 감지하는 컴퓨터 비전 및 이미지 처리의 주요 작업이다. 최상의 성능을 가지는 배경 제거 방법은 일반적인 컴퓨팅 환경에서 실시간으로 사용할 수 없을 만큼 계산량이 많다. 제안하는 알고리즘은 널리 사용되는 MOG 기반의 배경 제거 알고리즘을 이미지 크기 조정 알고리즘으로 개선했다. 제안된 이미지 크기 조정 알고리즘은 계산량을 대폭 감소시키고 지역 정보를 활용하도록 설계해 카메라 잡음에 강력하다. 제안된 알고리즘의 실험결과는 최신 배경 제거 방법에 근접하는 분류능력과 13배 이상 빠른 처리 속도를 가진다.

Key words : Image processing, Background Subtraction, Mixture of gaussian, Gaussian mixture model, Real-time, CVPR 2014 Change Detection benchmark dataset

I. 서론

1. 소개

배경 제거를 통해 비디오에서 학습되지 않은 움직이는 객체를 분리하는 과정은 많은 컴퓨터 비전

응용 프로그램의 목표이다. 하지만 현재까지 급격한 조명 변화, 카메라 움직임, 배경의 미세변화, 열악한 조명 조건 등에 배경 제거에 제시된 모든 문제를 완벽하게 처리하는 배경 제거 방법은 없다. 배경 제거를 위한 다양한 접근법을 전체적으로 검

* Bachelor, Dept. of Computer Engineering, Seokyeong University

★ Corresponding author

E-mail : jinheon@skuniv.ac.kr, Tel : +82-2-940-7747

※ Acknowledgment

This research is support by Ministry of Culture, Sport and Tourism(MCST) and Korea Creative Content Agenct(KOCCA) in the Culture Technology(CT) Research & Development Program 2019

Manuscript received Dec. 2, 2019; revised Dec. 25, 2019; accepted Dec. 15, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

토한 결과가 제시되었다[1, 2, 3]. 최근 연구들은 기존의 알고리즘을 개선하여 분류 정확도 개선을 이루었지만[4, 5] 일반적으로 복잡하고 계산량이 방대해지는 방법으로 변경되었다.

실시간 배경 제거 방법 중 효과적이고 자주 사용되는 방법은 Gaussian Mixture Model(GMM) 또는 Mixture of Gaussians (MOG)일 것이다. MoG는 과거 이미지들의 화소값을 기반으로 변수들을 통해 느린 조명 변화, 주기적인 배경의 움직임, 느리게 움직이는 물체, 장기적인 장면변화, 카메라 잡음 등을 처리할 수 있다. MOG는 뛰어난 계산 효율성과 변수 제어를 통한 다양한 상황에 맞는 우수한 성능의 효과적인 응용 프로그램 개발에 많이 적용되었다.

우리는 배경 제거를 위해 MOG2로 알려진 Zivkovic [6]이 제안한 적응형 MOG 배경 모델을 기반으로 제작되었다. MOG2는 지역 정보를 활용하지 않아 카메라 잡음에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 우리는 이미지 크기 조정 알고리즘으로 지역 정보를 활용하게 MOG2를 변경해 카메라 잡음에 강력하도록 개선하면서 동시에 연산 속도도 대폭 감소시켜 약 5배의 실행속도를 가진다.

본 논문은 움직이는 물체가 있는 비디오 데이터 중 가장 유명한 CVPR 2014 change detection challenge (CDnet2014)[7]에서 상위에 위치하는 최신 알고리즘과 비교하여 크게 떨어지지 않는 분류성능을 제공하면서 처리량을 획기적으로 감소시켜 라즈베리 파이와 같은 저 사양 컴퓨팅 환경에서도 실시간으로 동작하는 배경 제거 알고리즘 제안한다.

2. 관련연구

Stauffer and Grimson[8]이 제안한 MOG 알고리즘을 기반으로 제작된 배경 제거 알고리즘은 대부분의 MOG 기반 시스템의 표준이다. Online k-means 근사법을 사용하여 0에서 1 사이의 값을 가지는 학습 매개 변수로 새로운 입력을 점진적으로 학습한다. 따라서 과거 값은 제거되고 최근의 값이 저장되도록 배경 모델이 학습된다. 이 접근 방식은 화소 분류 방식이며, 화소는 서로 독립적으로 동작한다. 이후에 다양한 방법으로 MOG 기반 전경 분리 알고리즘이 개선되었다[9].

Zivkovic[6]은 Stauffer and Grimson[8]의 알고리즘을 MOG에 필요한 학습 파라미터들을 자동으로

설정되도록 개선했다.

Varadarajan[10, 11]은 각 화소가 독립적으로 동작하는 기존의 MOG 알고리즘을 화소 간 공간적 관계를 고려한 알고리즘인 Region-based MOG (RMOG)로 변경하여 동적 배경도 효과적으로 배경을 학습할 수 있도록 개선되었다.

Martins[12]이 제안한 솔루션은 색 공간을 변경하여 분류성능을 향상하고 배경 업데이트에 대한 동적 학습 속도를 결합한 새로운 분류 알고리즘을 제안하여 성능을 향상시켰다.

Wang[13]는 Flux 텐서라는 시공간 텐서 공식에 기초한 움직임 계산 알고리즘, 전경 및 배경을 개별적으로 학습하는 새로운 MOG 알고리즘. 조명 변화, 그림자 등으로 인한 오 검출을 제거하고 제거된 물체에 의해 드러난 배경과 정지한 물체를 구별하는 강력한 다중 큐 비교 모델을 제안하여 CDnet2014에서 높은 점수를 받은 MOG 기반 최신 알고리즘이다.

II. 본론

1. Mixture of gaussians

MoG는 입력된 데이터를 여러 개의 가우시안 분포로 이루어졌다고 가정하고 각 가우시안 분포의 가장 최적의 변수를 찾아내는 알고리즘이다. 데이터가 k개의 가우시안 분포로 이루어져 있을 때, 가장 데이터를 잘 표현하는 k개의 평균과 분산을 찾는 알고리즘이라고 할 수 있다.

$$p(x) = \sum_{k=1}^K \pi_k N(x|\mu_k, \Sigma_k) \quad (1)$$

MOG에서 입력 x에 대해 x가 발생할 확률을 식(1)과 같이 가우시안 확률분포함수의 합으로 표현한다. 식(1)에서 π_k 는 혼합계수로 k번째 가우시안 분포가 선택될 확률을 나타낸다.

2. MOG based Background Modeling

배경을 제거하기 위해 각 화소를 MOG로 모델링해 분류하고 변화에 적응하기 위해 근사를 사용하여 모델을 갱신한다.

(1) 분류

학습된 화소들을 통해 배경과 전경을 분리한다.

$$\gamma(z_{nk}) = p(z_{nk} = 1|x_n) \tag{2}$$

$$p(z_{nk} = 1|x_n) = \frac{\hat{\pi}_k N(x_n|\hat{\mu}_k, \hat{\sigma}_k^2)}{\sum_{j=1}^K \hat{\pi}_j N(x_n|\hat{\mu}_j, \hat{\sigma}_j^2)} \tag{3}$$

식(2), (3)은 입력 x_n 에 대해 입력이 어떤 가우시안 분포에 속하는지를 찾는 수식이다. z_{nk} 는 k번째 가우시안 분포가 선택되면 1, 아니면 0을 갖는 변수이다. 학습을 통해 MOG의 π, μ, σ 가 결정되었다면 베イズ 정리를 통해 식(2)를 식(3)으로 변경하여 $\gamma(z_{nk})$ 를 계산한다.

$$B = \operatorname{argmin}(\sum_{k=1}^B \pi_k > (1 - c_f)) \tag{5}$$

계산된 결과를 통해 과거의 입력들을 B개의 군집으로 배경 모델을 추정할 수 있다. 식(5)와 같이 만약 새로운 입력이 임계 값 $1 - c_f$ 를 초과하는 값을 가진다면 기존의 분포는 유지되고 새로운 분포를 생성한다. c_f 는 배경 모델에 영향 없이 전경에 속할 수 있는 데이터의 최대크기다. 예를 들어, 새 객체가 장면에 들어와 일정 시간 동안 정적 상태를 유지하면 일시적으로 새로운 분포로 표시된다. 새로운 객체에 의해 오래된 배경이 가려지면 새 분포의 혼합계수 π_{B+1} 이 점진적으로 증가한다. 물체가 충분히 오래 정체되어 있으면 무게가 c_f 보다 커지고 배경으로 판단된다.

$$\log(1 - c_f) / \log(1 - \alpha) \tag{6}$$

식(6)로 배경으로 판단하기 위한 입력 수를 계산할 수 있다. 예를들어, $c_f = 0.1$ 이고 $\alpha = 0.001$ 이면 105개의 같은 분포의 입력이 존재해야 배경으로 인

식한다.

$$\left((x_n - \mu_k)^T \sum_{k=1}^B (x_n - \mu_k) \right)^{0.5} < w \cdot \sigma_k \tag{7}$$

식(7)은 전경과 배경을 분리하기 위한 수식이다. $w \cdot \sigma_k$ 는 전경과 배경을 분류하는 임계값이며 이것을 초과하는 입력은 전경으로 판단된다.

(2) 갱신

새로운 입력 x_n 이 주어질 때 배경 모델의 재귀적 갱신 방법은 다음과 같다.

$$\hat{\pi}_k \leftarrow \hat{\pi}_k + \alpha(z_{nk} - \hat{\pi}_k) \tag{8}$$

$$\hat{\mu}_k \leftarrow \hat{\mu}_k + z_{nk}(\alpha / \hat{\pi}_k) \vec{\delta}_k \tag{9}$$

$$\hat{\sigma}_k^2 \leftarrow \hat{\sigma}_k^2 + z_{nk}(\alpha / \hat{\pi}_k)(\vec{\delta}_k^T \vec{\delta}_k - \hat{\sigma}_k^2) \tag{10}$$

식(8), (9), (10)는 MOG에서 각 가우시안 분포가 가지는 변수들의 갱신을 수식으로 나타낸 것이다. $\alpha = 1/n$ 는 입력과 과거 입력들의 영향력을 제어하는 값이다. $\vec{\delta}_k = x_n - \hat{\mu}_k$ 는 α 와 같이 입력의 영향력을 제어하는 값으로 새 입력이 과거 입력들의 평균보다 거리로 계산한다.

3. 색 공간 선택

일반적으로 배경 제거에 사용되는 각 프레임의 색 공간은 RGB이다. 하지만 휘도 성분을 분리하는 휘도 성분을 분리하는 YUV, YCbCr, CIE L*a*b*와 같은 색 공간은 이미지 처리 응용에 유리한 것으로 확인된다[14, 15]. 휘도 성분을 분리하여 배경을 제거하면 그림자에 대한 분류성능이 향상되는 것으로 조사되었다[16].

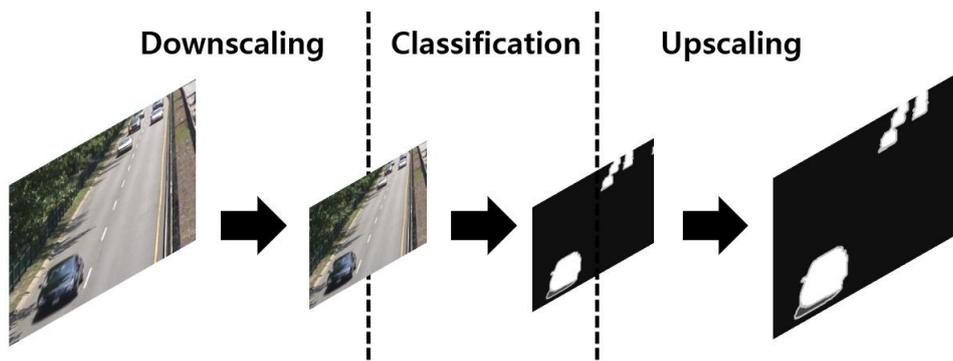


Fig. 1. SFMOG Flowchart.
그림 1. SFMOG 순서도

본 논문에서도 분류성능 향상을 위해 휘도 성분을 분리하는 다양한 색 공간 중 가장 뛰어난 성능을 보이는 CIEL*a*b* 색 공간으로 알고리즘을 처리했다. CIEL*a*b* 색 공간은 인간 시각의 길항이론에 따라 만들어져 구성 요소가 비선형 관계로 이루어져 인간의 시각 기능을 모방하기 위해 제작되었다.

Table 1. Comparison of classification performance between RGB and CIE L*a*b*.

표 1. RGB와 CIE L*a*b*의 분류성능 비교

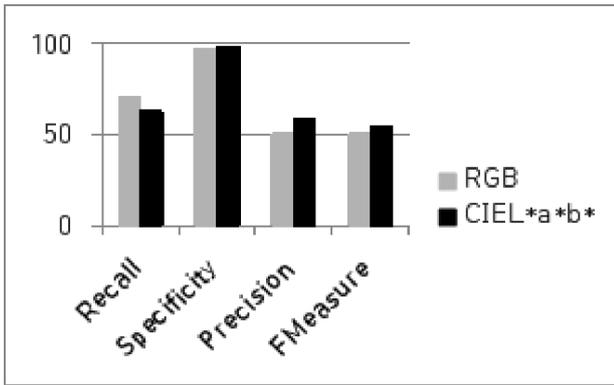


표 1은 CDnet2014에 MOG2를 색 공간을 변경해 가며 적용한 결과이다. Recall 성능이 조금 감소하고 전체적으로 향상된 성능을 보임을 확인할 수 있다. Recall, Specificity, Precision, FMeasure 등 각 지표의 설명은 IV에서 설명한다.

4. 이미지 크기 조정 알고리즘

우리는 속도향상과 동시에 카메라 잡음 제거를 위해 이미지 크기 조정 알고리즘을 적용했다. 그림 1은 SFMOG의 순서도를 나타낸 것이다. 프레임이 입력되면 주변 화소를 고려하도록 설계된 이미지 축소 알고리즘에 의해 이미지가 축소되고 MOG 알고리즘을 적용한다. MOG 알고리즘에 의해 출력된 전경 마스크를 주변 화소를 고려하여 복원한다.

가. 축소

빠른 속도로 이미지 축소가 가능하며 주변 화소를 고려하는 알고리즘은 픽셀의 평균을 사용하는 알고리즘이다.

평균을 사용한 이미지 축소 알고리즘은 그림 1, 2와 같이 배율이 정수일 때와 아닐 때로 구분할 수 있다. 정수가 아닐 경우 계산이 오래 걸리기 때문에 배율은 항상 정수라고 가정한다.

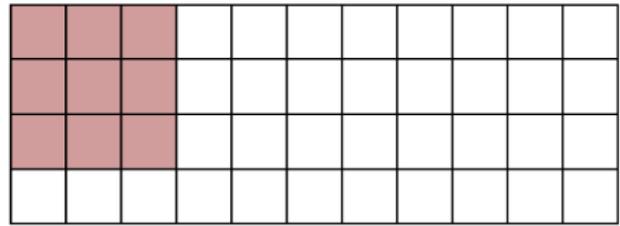


Fig. 1. Image downsampling (if size / scale = integer)
그림 1. 이미지 축소 (크기 / 배율 = 정수 일 때)



Fig. 2. Image downsampling (if size / scale = not integer)
그림 2. 이미지 축소 (크기 / 배율 = 정수가 아닐 때)

나. 복원

축소한 이미지를 원본 크기로 복원할 때에도 주변 화소의 정보를 보간한다. 보간방법은 다양하지만 우리는 실험을 통해 가장 뛰어난 성능을 가진 Bicubic 보간법을 사용했다.

Table 2. Comparison of performance between interpolation algorithm.

표 2. 보간법 성능 비교

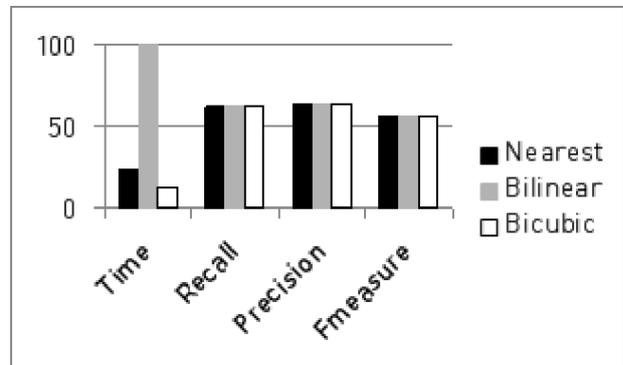


표 2는 서로 다른 보간법 간의 실행속도 및 분류성능 비교표이다. 실행속도는 Bilinear 알고리즘을 100으로 정규화한 결과이다. 분류성능 차이는 미미한 수준이지만 속도에서 가장 뛰어난 성능을 보이는 Bicubic 보간법을 사용한다.

$$f(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & 0 \leq |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| + 4a & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & 2 \leq |x| \end{cases} \quad (11)$$

where, $a = -0.5, -0.75$ or -1.0 (12)

식(11)은 Bicubic 보간법을 수식으로 나타낸 것이다. $|x|$ 는 화소와의 거리를 나타내며 x축과 y축으

로 각각 실행하여 결과를 구한다. 하나의 화소를 결정하는데 인접한 16개의 화소 값이 필요하다.

복원 후 전경 마스크는 0 또는 1의 값을 가지는 이진 이미지여야 한다. Bicubic 보간법은 화소 사이의 값이 연속적이므로 복원 마지막 단계에 임계값 처리로 이진 이미지로 변환한다. 임계값은 실험을 통해 127로 결정했다.

III. 실험결과

실험은 CDnet2014 Dataset[7]의 전체 동영상에 대해 수행되고, 11가지 범주로 분류된 다양한 도전과제를 대표하는 53개의 비디오로 구성된다. : Bad Weather(BW), Baseline(BL), Cam-era Jitter(CJ), Dynamic Background(DB), Intermittent Object Motion(IOM), Low Frame Rate(LFR), Night Videos(NV), Pan-Tilt-Zoom(PTZ), Shadows(SW), Thermal (TH), Turbulence(TB). 비디오와 함께 제공된 ground truth(GT)를 사용하여 평가를 수행했다. ground truth 마스크의 화소는 5개의 상태 중 하나를 가진다. : 전경 화소(Moving), 배경 화소(VStatic), 전경의 그림자(Moving Shadow), ROI 외부 영역(Non-ROI), 상태가 불분명한 화소(Unclear).

알고리즘의 비교는 OpenCV에서 제공하는 MOG2[6]와 MOG 기반 최신 알고리즘인 RMOG[10, 11], BMOG[12], FTSG[13]와 CDnet2014에서 좋은 결과를 낸 MOG 기반이 아닌 최신 알고리즘인 IUTIS-5[17], WeSamBE[18] PAWES[19], SuBSENSE[20]와 비교한다.

알고리즘의 실행시간과 분류성능 두 가지로 성능을 평가했다. 알고리즘 간의 분류성능 비교는 가능

하지만 정확한 실행시간 비교는 다른 알고리즘 제작자들이 소스코드를 공개하지 않아 완벽히 같은 조건에서 비교할 수 없다. 따라서 다른 최신 알고리즘들과의 실행시간 비교는 각 논문의 저자의 환경에서 실행했을 때의 실행시간으로 대략적으로 실시하고 동일한 환경에서의 실행시간 비교는 저자가 알고리즘 구현 코드를 공개한 SuBSENSE[20]와 비교한다. 이는 정확히 같은 조건에서 알고리즘을 실행하는 처리 시간을 비교할 수 있다. 실행하는 영상의 크기는 320×240 이다.

실험 환경은 32GB 2666 MHz DDR4와 Windows10 이 탑재된 IntelCore i7-7700 3.6GHz 프로세서를 사용하여 MOG2, SuBSENSE, SFMOG 알고리즘을 정확히 동일한 조건에서 실행했다. CDnet2014 Dataset[7]에 보고된 바와 같이 평가 알고리즘에 의해 실행시간은 복잡성의 척도로 사용되었고 이미지 I / O 작업은 실행시간에 포함되지 않았다.

CDnet2014 Dataset[7]이 TP : True Positive, FP : False Positive, FN : False Negative, TN : True Negative의 4가지 성능지표를 가지고 사용하는 7가지의 분류성능 지표는 다음과 같다. :

$$Re (Recall) : TP / (TP + FN)$$

$$Sp (Specificity) : TN / (TN + FP)$$

$$Precision : TP / (TP + FP)$$

$$FPR (False Positive Rate) : FP / (FP + TN)$$

$$FNR (False Negative Rate) : FN / (TP + FN)$$

$$PWC (Percentage of Wrong Classifications) :$$

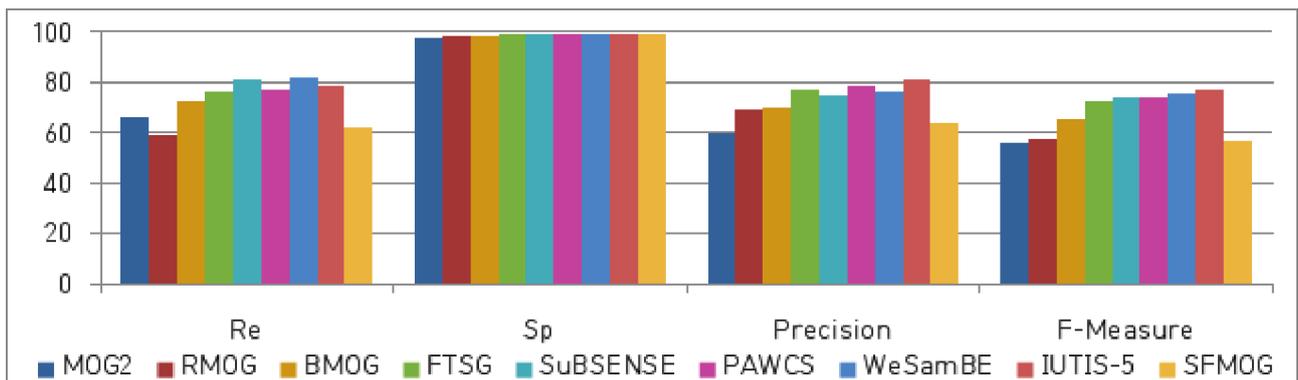
$$100 * (FN + FP) / (TP + FN + FP + TN)$$

$$F-Measure : (2*Precision*Recall) / (Precision + Recall).$$

우리는 7가지의 성능지표 중 일반적으로 가장 많이

Table 3. Comparison of classification performance between background subtraction algorithm

표 3. 배경 제거 알고리즘 분류성능 비교



사용하는 Recall, Specificity, Precision, F-Measure 4가지를 사용하여 알고리즘들을 비교했다.

비슷한 분류성능을 가지며 약 14배의 압도적으로 빠른 실행시간을 보인다.

Table 4. Comparison of Approximate execution time between background subtraction algorithm.

표 4. 배경 제거 알고리즘 대략적인 실행시간 비교

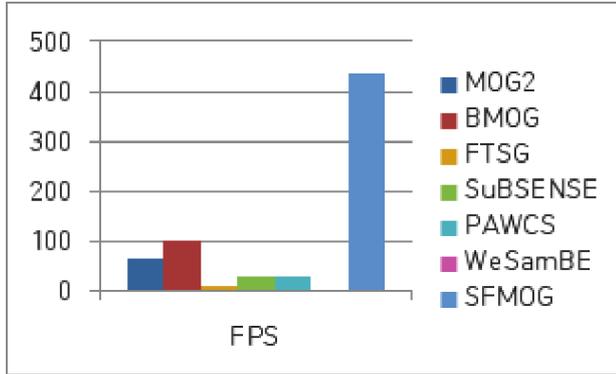


표 3은 배경 제거 알고리즘들의 분류성능을 비교한 결과이다. 본 논문에서 제안하는 SFMOG는 MOG 기반 최신 알고리즘들과 비슷한 성능을 보이고 MOG 기반이 아닌 최신 알고리즘에 약간 떨어지는 성능을 보인다. 하지만 표 4를 보면 MOG 기반이 아닌 알고리즘들은 대부분 30fps 이하이며 MOG 기반 알고리즘 중 가장 빠른 알고리즘인 BMOG도 102fps의 성능을 보이지만 SFMOG는 약 4배의 성능인 434fps의 실행시간을 보인다.

Table 5. Comparison of same system execution time between background subtraction algorithm.

표 5. 배경 제거 알고리즘 동일환경 실행시간 비교

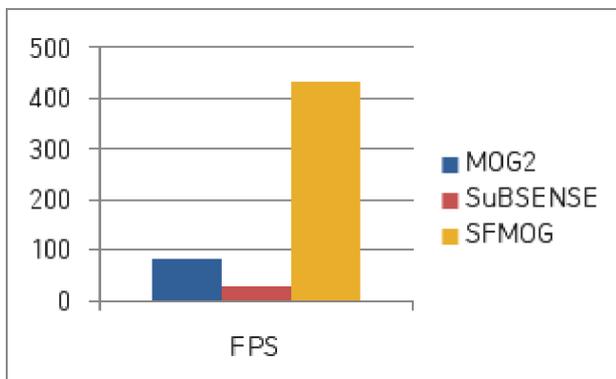


표 5는 같은 환경에서 배경 제거를 실행했을 때의 실행시간이다. 기존의 MOG2[6] 보다 개선된 성능을 보임과 동시에 약 5배의 실행속도를 가지고 분류성능이 뛰어난 최신 논문인 SuBSENSE[20]와

IV. 결론

본 논문은 저 사양 컴퓨팅 환경에서도 실시간으로 동작할 수 있는 배경 제거 알고리즘을 제안한다. 기존의 MOG 기반 배경 제거 알고리즘에서 주변 화소를 고려하도록 설계된 이미지 크기 조정 알고리즘으로 분류성능 개선을 이루어 CDNet2014[7]에서 높은 분류성능을 자랑하는 배경 제거 알고리즘과 비교하여 크게 뒤떨어지지 않는 분류성능을 제공함과 동시에 실행속도도 약 5배 개선하여 결과

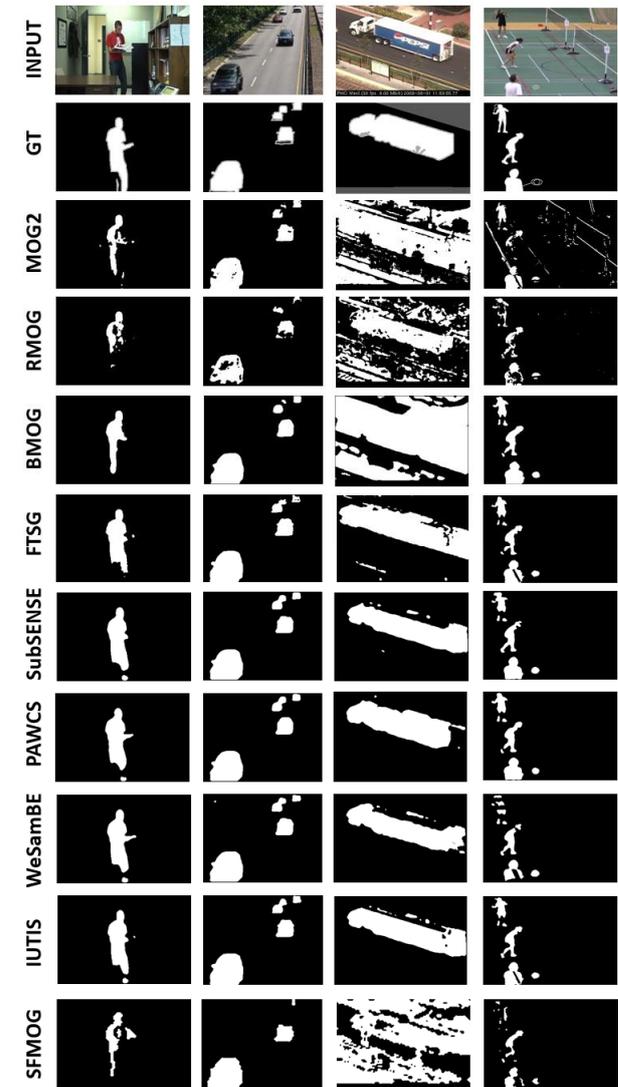


Fig. 3. Example of foreground masks.

그림 3. 전경 마스크들의 예시

적으로 최신 알고리즘보다 14배 빠른 속도로 동작한다. 현재 알고리즘의 소스코드가 최적화가 완벽하지 않아 실행속도의 추가적인 개선의 여지가 있을 것으로 판단되며 최신 MOG 기반 알고리즘들의 기법들을 적용하면 분류성능도 더욱 개선할 여지가 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] T. Bouwmans, "Recent Advanced Statistical Background Modeling for Foreground Detection: A Systematic Survey," *Recent Patents on Computer Science*, vol.4, No.3, 2011. DOI: 10.2174/2213275911104030147
- [2] A. Sobral and A. Vacavan, "A comprehensive review of background subtraction algorithms evaluated with synthetic and real videos," *Computer Vision and Image Understanding*, vol.122, pp.4-21, 2014. DOI: 10.1016/j.cviu.2013.12.005
- [3] K. Sehairi and F. Chouireb, "Comparative study of motion detection methods for video surveillance systems," *Journal of Electronic Imaging*, vol.26, no.2, 2017. DOI: 10.1117/1.JEI.26.2.023025
- [4] T. Bouwmans, "Traditional and recent approaches in background modeling for foreground detection: An overview," *Computer Science Review*, vol.11-12, pp.31-66, 2014. DOI: 10.1016/j.cosrev.2014.04.001
- [5] Garcia-Garcia, Belmar, Thierry Bouwmans, and Alberto Jorge Rosales Silva. "Background Subtraction in Real Applications: Challenges, Current Models and Future Directions," *Computer Science Review*, vol.35, 2020. DOI: 10.1016/j.cosrev.2019.100204
- [6] Zoran Zivkovic and Ferdinand van der Heijden, "Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction," *Pattern Recognition Letters*, vol.27 no.7, pp.773-780, 2006. DOI: 10.1016/j.patrec.2005.11.005
- [7] Y. Wang, P.-M. Jodoin, F. Porikli, J. Konrad, Y. Benezeth, and P. Ishwar, "CDnet 2014: An Expanded Change Detection Benchmark Dataset," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp.387-394, 2014. DOI: 10.1109/CVPRW.2014.126
- [8] C. Stauffer, W. E. L. Grimson, "Adaptive background mixture models for real-time tracking," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.2, 1999. DOI: 10.1109/CVPR.1999.784637
- [9] T. Bouwmans, F. El Baf and B. Vachon, "Background Modeling using Mixture of Gaussians for Foreground Detection-A Survey," *Recent Patents on Computer Science*, vol.1, no.3, pp.219-237, 2008. DOI: 10.2174/2213275910801030219
- [10] S. Varadarajan, P. Miller and H. Zhou, "Spatial mixture of Gaussians for dynamic background modelling," *Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2013 10th IEEE International Conference*, pp.63-68, 2013. DOI: 10.1109/AVSS.2013.6636617
- [11] S. Varadarajan, P. Miller and H. Zhou, "Region-based Mixture of Gaussians modelling for foreground detection in dynamic scenes," *Pattern Recognition*, vol.48, pp.2488-3503, 2015. DOI: 10.1016/j.patcog.2015.04.016
- [12] I. Martins, P. Carvalho, L. Corte-Real, and J. Alba-Castro, "BMOG: Boosted Gaussian Mixture Model with Controlled Complexity," *Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IbPRIA 2017)*, pp.50-57, 2017. DOI: 10.1007/s10044-018-0699-y
- [13] R. Wang, F. Bunyak, G. Seetharaman and K. Palaniappan "Static and Moving Object Detection Using Flux Tensor with Split Gaussian Models," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2014. DOI: 10.1109/CVPRW.2014.68
- [14] I. Lissner, P. Urban, "Toward a unified color space for perception-based image processing," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.21, no.3, pp.1153-1168, 2012. DOI: 10.1109/TIP.2011.2163522
- [15] M. Balcilar, M. F. Amasyali, A. C. Sonmez, "Moving object detection using lab2000hl color space with spatial and temporal smoothing," *Applied Mathematics & Information Sciences*, vol.8, no.4, pp.1755-1766, 2014.

DOI: 10.12785/amis/080433

[16] R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi and A. Prati, "Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.25, no.10, pp.1337-1342, 2003.

[17] S. Bianco, G. Ciocca and R. Schettini, "Combination of Video Change Detection Algorithms by Genetic Programming," in *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol.21, no.6, pp.914-928, 2017.

DOI: 10.1109/TEVC.2017.2694160

[18] Jiang S, Lu X. "WeSamBE: A Weight-Sample-Based Method for Background Subtraction[J]," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.28, no.9, pp.2105-2115, 2017.

DOI: 10.1109/TCSVT.2017.2711659

[19] P.-L. St-Charles, G.-A. Bilodeau, R. Bergevin, "A Self-Adjusting Approach to Change Detection Based on Background Word Consensus," *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2015.

DOI: 10.1109/WACV.2015.137

[20] P.-L. St-Charles, G.-A. Bilodeau, R. Bergevin, "SuBSENSE: A Universal Change Detection Method with Local Adaptive Sensitivity," *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014.

DOI: 10.1109/WACV.2015.137

BIOGRAPHY

Seok-Bin Song (Member)



2019 : BS degree in Computer Engineering, Seokyeong University.
Current research interests :
Digital Image Processing, Computer Vision, Machine learning

Jin-Heon Kim (Member)



1982 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.
1983 : Research Engineer, OPC
1984 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.
1984 : Senior Researcher, Samsung Advanced Institute of Technology
1989 : FAE, ZyMOS Korea Branch

1990 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University

Current research interests : Computer Vision, Image Signal Processing, Image/Video System