

# Gaussian Mixture Model 기반 이동 객체 검출기의 하드웨어 구조 설계

조재찬, 정용철, 윤경한, 정윤호  
한국항공대학교 항공전자정보공학부  
e-mail:jccho@kau.kr

## Design of Moving Object Detector Based on Gaussian Mixture Model

Jae-Chan Cho, Yong-Chul Jung, Kyunghan Yoon, Yunho Jung  
School of Electronics and Information Eng., Korea Aerospace University

### 요 약

본 논문에서는 GMM (Gaussian mixture model) 기반의 BS (background subtraction) 알고리즘을 이용한 이동 객체 검출기의 하드웨어 구조 설계 결과를 제시하였다. 설계된 이동객체 검출기는 1280 \* 720 HD 해상도의 영상을 30 frames per second로 실시간 처리가 가능하다. 하드웨어 구현은 Verilog-HDL을 이용하였으며, FPGA 기반 구현 결과, 설계된 이동 객체 검출기는 582 Slice, 1,698 Slice LUT, 8 DSP48s, 1,769 Flip Flop, 691.2 KByte BRAM으로 구성되었음을 확인하였다.

### 1. 서론

최근 자동차업계에서는 운전 환경의 돌발 상황에서 운전자의 판단과 조작을 보조하는 ADAS (advanced driver assistance systems) 시스템에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. ADAS 시스템에 사용되는 영상처리 기반 기술은 사용될 수 있는 알고리즘이 다양하며, 직관적인 장점이 있어 각광을 받고 있다 [1].

영상처리 기반 ADAS 시스템은 이동객체 검출 (MOD, moving object detection)를 수행하여 운전자를 보조하며, MOD에 활용되는 영상처리 기반 알고리즘으로는 GMM 기반의 BS, OFE (optical flow estimator), 그리고 FD (frame difference) 등이 존재 한다 [2]-[4]. OFE 알고리즘은 객체 검출에 있어서 정확도는 높지만 하드웨어로 구현하기에는 복잡도가 지나치게 높으며, FD 알고리즘은 단순하지만 배경의 움직임 또한 객체로 검출하는 문제가 있어 정확도가 낮은 단점이 존재한다. 이에 반해 GMM 기반의 BS 알고리즘은 FD 알고리즘에 비해 정확도는 높으며, OFE 알고리즘에 비해 복잡도가 상당히 낮기 때문에 하드웨어로 구현하기에 가장 적합하다 [5]. 이에 본 논문에서는 GMM 기반의 BS 알고리즘을 이용한 이동 객체 검출기 (MOD)의 실시간 처리를 위한 효율적인 하드웨어 구조 설계 결과를 제시하고, 성능 및 하드웨어 복잡도를 분석한다.

### 2. 배경모델 생성을 위한 GMM 알고리즘

GMM 알고리즘은 모든 화소에서 각 화소들에 대해 GMM을 수행하여 이동 객체를 구분하기 위한 배경을 생성한다. 입력 영상의 화소 밝기를  $k$ 개의 가우시안 모델로 모델링하여 배경을 생성하며, 각 화소  $I_t$ 에서 가우시안 모

델  $F(I_t)$ 은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$F(I_t) = \sum_{i=1}^k w_{i,t} \cdot \eta(\mu_{i,t}, \sigma_{i,t}) \quad (1)$$

위 식에서  $w_{i,t}$ ,  $\mu_{i,t}$ ,  $\sigma_{i,t}$ 는 시간  $t$ 와 모델  $i$ 에서 각각 모델의 평균, 가중치, 표준편차이다. 각각의 화소는 식(2)에 의해 모델에 매칭 되는지 판별된다.

$$|I_t - \mu_{i,t-1}|^2 \leq D^2 \sigma_{i,t-1}^2 \quad (2)$$

여기서,  $D$ 는 검출성능을 높이기 위해 실험적으로 결정되는 파라미터이다. 각 변수는 매칭 되는 모델에서 식 (3),(4),(5)에 의해 갱신된다.

$$w_{i,t} = (1 - \alpha)w_{i,t-1} + \alpha \quad (3)$$

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho)\mu_{i,t-1} + \rho I_t \quad (4)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho)\sigma_{i,t-1}^2 + \rho(I_t - \mu_{i,t})^2 \quad (5)$$

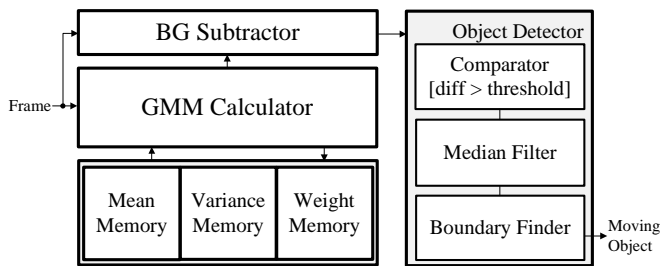
여기서,  $\alpha$ 는 learning rate로 0.01을 사용한다. 매칭 되지 않는 모델에서는  $w$ 의 경우  $\alpha$ 를 더하지 않으며,  $\mu$ ,  $\sigma^2$ 는 이전 값을 유지한다. 또한,  $\rho$ 는 근사화 된 계산( $\alpha/w_{k,t}$ )을 사용한다. 각 화소의 배경 모델  $B_t$ 은 식 (6)과 같이 모델의 평균, 가중치를 이용하여 생성된다.

$$B_t(x, y) = \sum_{i=1}^k w_{i,t}(x, y) \mu_{i,t}(x, y) \quad (6)$$

### 3. 하드웨어 구조 설계 및 구현 결과

#### 1. 이동 객체 검출기 (MOD) 구조

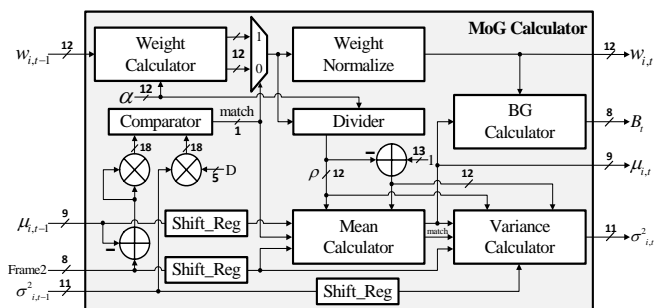
그림 1과 같이 설계된 이동 객체 검출기는 입력 영상에 대해 GMM calculator를 이용해 배경을 생성하고, 입력 영상과 생성된 배경과의 차이를 이용해 객체를 검출한다. 입력 frame과 생성된 배경의 차이의 절댓값을 threshold와 비교하여 black & white 이미지를 생성하고, median filter를 이용하여 결과 이미지를 보정한 후, 최종적으로 객체의 boundary를 찾아서 이동 객체 좌표를 출력한다.



(그림 1) 설계된 이동 객체 검출기 (MOD)의 블록도

#### 2. GMM Calculator 구조

GMM calculator는 처리 속도를 향상시키기 위해 병렬 구조 및 pipeline 구조를 적용한다. 그림 2에서 *match* 신호는 입력 화소와 배경 모델간의 매칭 여부를 나타낸다. 본 논문에서는 5개의 가우시안 모델을 생성하므로 ( $i = [1, 2, 3, 4, 5]$ ) 각 화소에서 총 15개의 변수가 연산되어야 한다.  $w$ 를 갱신하는 과정과 분포에 매칭 되는지 판별하는 과정을 병렬로 진행하고, divider의 latency를 고려하여  $\rho$ 를 추출하는 동안  $w$ 를 normalize 한다. 이후 갱신된  $\mu$ 값과 normalize 된  $w$ 값이 동시에 출력되고, 이로부터 배경 모델이 생성된다. 각 변수는 누적되어야 하므로 memory가 필요하며, 각각 3개로 구현하면 하드웨어 cost가 상당히 커지기 때문에,  $w, \mu, \sigma^2$ 을 동시에 읽고 쓰도록 구현한다.



(그림 2) GMM Calculator의 블록도

#### 3. 구현 결과

제안된 이동 객체 검출기는 Verilog-HDL을 이용하여 설계 후, Xilinx Virtex-7 xc7v2000t FPGA device에 기반하여 150MHz의 동작 주파수로 구현되었다. 표 1과 같이 FPGA

기반 구현 결과, 설계된 이동 객체 검출기는 총 582 Slice, 1,698 Slice LUTs, 8 DSP48s (dedicated multiplier), 1,769 Flip Flop, 691.2 KByte Block RAM으로 구현됨을 확인할 수 있다. 또한, 그림 3과 4는 구현된 하드웨어를 통해 이동 객체를 검출한 예시를 보여준다.

<표 1> FPGA 기반 구현 결과

Slice	Slice LUTs	DSP48s	Flip Flop	Block RAM
582	1,698	8	1,769	691.2 Kbyte



(그림 3) 제안된 MOD 하드웨어의 성능



(그림 4) 그림 3 영상의 Black & White 이미지

#### 4. 결론

본 논문에서는 GMM 알고리즘 기반의 이동 객체 검출기의 하드웨어 구조와 구현 결과를 제시 하였다. 설계된 이동 객체 검출기는 FPGA 기반 실시간 구현 및 검증되었으며, 1280 \* 720 HD 해상도의 영상에 대해 30 frames per second의 속도로 실시간 처리가 가능하다.

#### Acknowledgement

본 논문은 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업 (10049009)의 일환으로 수행되었음.

#### 참고문헌

[1] 이경호, 현재호, 노철우, "사용자 측면에서 분석한 ADAS의 향후 개발 방향," 한국자동차공학회 학술대회 및 전시회, pp. 869-870, 2013. 11.  
 [2] Y. Liu, G. Yan, "An adaptive detection model of moving dim targets based on energy difference between frames," ICSIT, Nov. 2009.  
 [3] B. Horn, B. Schunk, "Determining optical flow," Artificial Intelligence, pp. 185-203, Nov. 1981.  
 [4] B. Lucas, T. Kanade, "An iterative image restoration technique with an application in stereo vision," Proc. of Intl Joint Conf on Artificial Intelligence, pp. 674-679, 1981.  
 [5] C. Stauffer, W.E.L. Grimson, "Adaptive background mixture models for real-time tracking," IEEE CVPR, vol. 2, pp. 246-252, 1999.