

곤충의 시각 신경망 기반 충돌감지 기술의 효율적인 VLSI 구조 설계

Design of an Efficient VLSI Architecture for Collision Detection Based on Insect's Visual Interneuron

정수용* · 이재현* · 송덕용* · 박태근*

(Sooyong Jeong · Jaehyeon Lee · Deokyong Song · Taegeun Park)

Abstract - In this research, the collision detection system based on insect's visual interneuron has been designed. The lobula giant movement detector (LGMD) corresponds to the movement value that increases in direct collision process. If the collision is detected by the LGMD only, it could generate a crash warning even in a non-collision situation, resulting in a lot of false alarms. Directionally sensitive movement detectors (DSMD) are directionally sensitive algorithm based on the elementary movement detectors (EMD) in four directions (up, down, left, and right). In this paper, we propose an efficient VLSI architecture for a realtime collision detection system that is robust to the surrounding environment while improving accuracy. The proposed architecture is synthesized with Dongbu Hightech 110nm standard cell library and shows 333MHz of maximum operating frequency and requires 8400 gates with about 16.5KB of internal memories.

Key Words : Intelligent vehicle, Collision detection, VLSI architecture, DSMD, LGMD

1. 서론

4차 산업혁명 기술 중에서 미래 자동차에 대한 관심이 증가하고 있다. 미래 자동차의 핵심 기술 중 하나는 자동차가 스스로 운행을 제어하는 자율주행 기술이며 이에 대한 중요한 핵심 기술은 충돌감지 기술이다[1]. 충돌감지 기술은 장애물이나 보행자, 자동차가 나타나면 자동으로 감지해서 자동차가 브레이크를 밟거나 피해서 사고를 미연에 방지하는 기술이다. 이러한 충돌 감지 시스템은 무인자동차, 로봇비전, 장애물 인식 등 다양한 응용 분야에서 사용되고 있는데, 하드웨어로 설계하기 위해서는 충돌 감지의 정확도와 실시간 처리 여부가 중요하게 고려되어야 한다.

다양한 알고리즘과 특징을 가진 충돌감지 시스템에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[2-3]. 제안된 많은 감지 알고리즘들은 기하학적인 기반에서 충돌 가능성을 계산하였다[2-4]. 많은 충돌감지 알고리즘은 물체의 이동하는 속도와 방향이 감지 시점 근처에서 크게 변하지 않는다는 가정을 적용하였다. Fuerstenberg는 레이저를 이용하여 속도와 가속도를 한정하는 특정한 영역(RONE 영역)을 정의하고 그 안에서 충돌을 감지하는 방법을 제안하였다[2]. Kumar 등이 제안한 교통감시 시스템은 자동차와 보행자의

충돌뿐 아니라 다양한 상황을 예측한다[3]. 충돌예측은 상호작용이 일어나는 영역 내에서 감지되며 물체가 가까워지고 상대적으로 빠르게 접근할 경우 충돌경고 발생한다.

위에서 언급한 방법들, 즉 속도와 방향이 고정된 경우를 가정한 방법들은 대개 물체가 빠른 속도로 움직이며 충돌시간이 짧은 경우에는 잘 동작하나 속도가 느린 보행자의 경우에는 충돌 예측이 어렵다[4]. 이 문제를 보완하기 위하여 보행자 동선(trajjectory)에 대한 확률에 근거한 접근방법들이 제안되었다. 동적 모델을 기반으로 한 몬테 카를로(Monte Carlo) 알고리즘을 이용하여 물체의 다양한 동선을 계산하고 이를 근거로 충돌은 물체의 동선 조각들을 분석하여함으로써 진행된다[4].

최근 연구들에서 LSTM(long short-term memory)을 이용한 딥러닝(Deep learning) 기법을 물체의 동선예측에 적용하였다[5-6]. Strickland 등은 자율주행 물체의 충돌위험 감지에 대하여 C-LSTM(convolutional LSTM) 기법을 적용한 예측모델을 제안하였다[5]. 이 연구에서 multi-modal 정보에 대한 처리와 환경내의 불확실성을 최대한 고려할 수 있는 기법을 적용하였다. Park 등은 실시간으로 움직이는 물체 주변상황을 고려하여 물체 움직임을 예측할 수 있는 딥러닝 기법을 제안하였다[6]. LSTM 인코더를 이용하여 과거 동선을 분석하였고 LSTM 디코더를 이용하여 미래 동선을 예측하였으며, 이 때 디코더의 출력 중에 가장 적합한 경우를 결정하기 위하여 "beam search" 기술을 적용하였다.

메뚜기 등의 곤충들은 그들의 시각신경망을 통하여 훌륭하게 물체와의 충돌을 감지하여 비행하며, 이는 LGMD(lobula giant movement detector)를 포함하는 신경세포의 기전입이 알려졌다

* Corresponding Author : Dept. of Information, Communication, and Electronic Engineering, The Catholic University of Korea, Korea.
E-mail: parktg@catholic.ac.kr

* Dept. of Information, Communication, and Electronic Engineering, The Catholic University of Korea, Korea.

Received : August 24, 2018; Accepted : October 30, 2018

[7]. LGMD 뉴런은 물체가 급격하게 가까워지면 스파이크(spike) 신호를 발생함으로써 충돌을 예측한다. 하지만 LGMD 뉴런을 기반으로 하는 충돌감지 시스템은 충돌이 예상되는 다가오는 물체에서 뿐 아니라 충돌이 발생하지 않는 옆으로 이동하는 물체에 경우에서도 충돌을 알리는 스파이크를 발생할 수 있다. 따라서 LGMD를 기반으로 하는 시스템에 물체의 이동 방향성에 대한 정보를 제공하는 DSMD(directionally sensitive movement detector) 뉴런을 추가하여 좀 더 신뢰성 있는 예측이 가능하다 [8].

최근 충돌감지에 대한 다양한 하드웨어 설계 연구들이 있었다 [9-11]. Cuadri 등은 곤충의 시각신경망을 이용한 알고리즘을 VLSI 구조로 매핑하여 설계할 때의 구조적인 이슈들을 분석하였다[9]. 다만 구체적인 구조에 대한 제안 없이 추상적인 수준에서의 분석으로 제한되었다. 또한 퍼지 이론을 바탕으로 한 하이브리드 기법을 적용하여 자동차나 로봇의 충돌감지 시스템이 FPGA로 구현되었다[10]. Linan-Cembrano 등은 영상 센서, 곤충 신경망을 기반으로 하는 full-custom 연산 유닛과 이를 제어하는 디지털 프로세서 등을 SoC(System-on-chip) 기술로 집적한 시스템을 개발하여 자동차에 적용한 사례를 발표하였다[11].

본 논문에서는 방향성에 강한 곤충의 시각 신경망을 기반으로 한 LGMD와 DSMD 알고리즘을 효율적인 VLSI 하드웨어 구조로 설계하였다. 제안된 시스템은 입력 신호와 내부 모듈들을 제어하는 제어 모듈과 충돌을 감지하는 충돌 판단 모듈, 전체 움직임의 총량을 연산하는 LGMD 모듈, 각 4개의 방향(상,하,좌,우)의 방향적 특징을 파악하여 충돌감지의 신뢰도를 높이는 DSMD 모듈로 구성되어있다. 해당 모듈에서는 처리과정에서의 휴식구간을 최소화 하고 중간 데이터가 저장되는 임시 저장 공간을 최소화 하도록 설계하였다. 경계에서의 연산처리를 고려하여 설계하였으며 저역필터링 계산의 효율성을 위해서 계산 단위 화소는 3×3 행렬로 설정하였다. 또한 회로의 복잡도를 낮추기 위해 곱셈 및 나눗셈은 가능한 쉬프트 연산을 이용해서 구현하여 하드웨어 요구량을 개선하였다. 이 때 발생하는 연산의 근사화로 인한 오류는 성능분석을 통하여 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 LGMD 알고리즘과 DSMD 알고리즘을 설명하고, 3장에서는 제안하는 하드웨어 구조와 계산 방법에 대하여 설명한다. 4장에서는 알고리즘 검증 및 제안한 하드웨어 구조의 합성결과를 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 곤충의 시각신경망을 이용한 충돌감지 알고리즘[8]

곤충의 눈은 빛을 받는 감각세포가 외부 신호에 자극하여 충돌과 방향을 파악하는 뉴런을 이용해서 충돌을 감지한다. 충돌과 방향을 감지하는 뉴런은 각각 LGMD와 DSMD이다. 또한 곤충의 망막은 이미지의 화소처럼 2차원 배열로 구성되어 있다. 따라서 본 논문에서는 LGMD와 DSMD 뉴런의 동작을 기반으로 하는 알고리즘을 이용하여 영상의 화소 값을 처리해서 차량의 충돌 감지 시스템을 설계하였다.

LGMD는 화면에서 움직임의 총량을 판단하며 물체가 빠르게

움직이면 그 움직임의 총량 값이 커져 유효한 움직임으로 판단한다. 하지만 충돌하지 않고 지나가는 물체도 큰 값으로 판단하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 DSMD뉴런을 이용한다. DSMD는 충돌하는 움직임인지 지나가는 움직임인지 판단해서 LGMD의 충돌감지가 유효한지 유효하지 않은지 판단하는 역할을 한다.

2.1 LGMD(lobula giant movement detector)

그림 1은 LGMD의 동작개념을 나타낸다. LGMD는 물체의 움직임 총량을 판단하는 것으로서, 화소 간의 밝기의 변화도를 나타내는 P-Layer(Photoreceptors layer), 주변 잡음에 대처하기 위해 저역필터링(LPF, lowpass filtering)을 수행하는 I-layer(Inhibition layer), 움직임 값을 나타내는 S-layer(Summing layer)까지 총 3개의 층으로 구성된다. S-Layer 값을 누적한 값은 LGMD 결과값이 된다. 이를 이용해서 LGMD 값이 커지면 물체가 가까워진다고 할 수 있고, 작아지면 멀어진다고 할 수 있다.

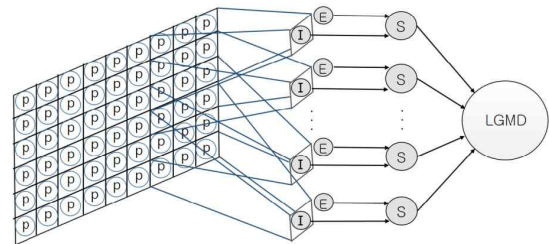


그림 1 LGMD의 동작 개념

Fig. 1 Conceptual structure of LGMD

P-layer는 광 수용체 셀의 반응 값으로써 한 화소의 현재 밝기 값에서 과거 밝기의 값을 뺀 값의 절대치이다. 따라서 수식 (1)에서와 같이 한 화소에서의 밝기 변화도를 나타낸다.

$$P_{ij}(t) = |L_{ij}(t) - L_{ij}(t-1)| \tag{1}$$

I-layer는 P-layer의 값을 받아서 해당 화소 주변 잡음에 대처하기 위해 3×3 저역필터링을 진행한다.

$$I_{ij}(t) = (0.25P_{ij}(t-1) + P_{ij}(t)) \otimes K_{pq} \tag{2}$$

$$K_{pq} = 1/9 \times 1_{[3 \times 3]}$$

S-layer는 움직임의 값을 합한 것으로 이를 누적해서 LGMD의 결과값을 계산하며 이것은 충돌 여부를 판단하는데 사용된다. 또한 S-layer 값은 DSMD에서 방향성을 탐지하는데 쓰이는 EMD(Element Movement Detector)를 구성하는데도 이용된다.

$$S_{ij}(t) = P_{ij}(t) - 2I_{ij}(t-1) \tag{3}$$

2.2 DSMD(directionally sensitive movement detector)

DSMD는 LGMD의 결과만으로 판단할 경우 발생할 수 있는

오동작(false alarm) 상황을 보완할 수 있다. 예를 들어, 자동차가 옆으로 지나가는 경우 LGMD는 충돌이 아닌에도 불구하고 움직임의 값이 증가하기 때문에 충돌로 판단하게 된다. DSMD는 네 방향의 움직임을 판단함으로써 이러한 경우를 보완할 수 있다.

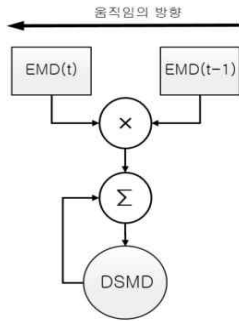


그림 2 DSMD의 동작 개념
Fig. 2 Conceptual structure of DSMD

그림 2는 전체 영상에서 S-layer 값을 일정한 크기로 나눈 EMD 값을 과거와 현재 값의 화소별 매핑을 통해서 구성한다. 150×100 화소의 영상을 기준으로 할 때, 물체의 방향성을 판단하기 위한 적절한 크기인 10×10 화소로 묶어서 블록 단위로 구성한다. 만약 영상 크기가 커진다면 EMD의 단위 화소 크기도 비례해서 커질 수 있다. 그림 2와 같이 EMD 중 움직이는 방향의 EMD(t)와 반대 방향의 EMD(t-1)을 화소별로 매핑하여 곱한 값을 누적한 값이 그 방향의 DSMD다. 물체의 방향성은 한 쪽 값이 다른 쪽 값(상과 하, 좌와 우)보다 실험에서 정하여진 파라미터 값(본 연구에서는 8배) 이상일 경우, 충돌이 아닌 그 방향의 움직임으로 판단한다. 그리고 파라미터 값 이하이면서 LGMD 값이 임계값(threshold) 이상일 때 충돌로 감지한다.

3. 제안한 구조

그림 3은 제안한 충돌 감지 시스템의 전체 구조로 물체의 움직임 총량을 판단하는 LGMD, 물체의 방향성을 판단하는 DSMD, LGMD 모듈의 출력인 SUM 값을 DSMD 모듈에서 사용하기 위해 저장하는 메모리 S-mem, 그리고 충돌 여부를 판단하는 Decision Block으로 구성되어 있다.

연속된 3장의 영상으로부터 3개의 1×3 화소 단위로 LGMD에 입력되고 앞장에서 설명한 P-, I-, S-layer 연산을 진행하며 최종 S-layer 값을 누적한 LGMD 값은 LGMD_reg에 저장된다. 이때 만들어진 S-layer 값들 중 일부는 DSMD 연산에서도 필요하여 S-mem에 임시 저장된다. DSMD 연산과정은 영상의 중앙에 해당하는 영역에서만 진행된다. 150×100 영상을 기준으로 할 때, 상하의 움직임을 판단하는 V_MD(vertical movement detector)의 경우는 영상의 중앙에 대응되는 71열에서 80열까지, 좌우의 움직임을 판단하는 H_MD(horizontal movement detector)의 경우에는 마찬가지로 중앙에 대응되는 35행에서 44행까지에서 진

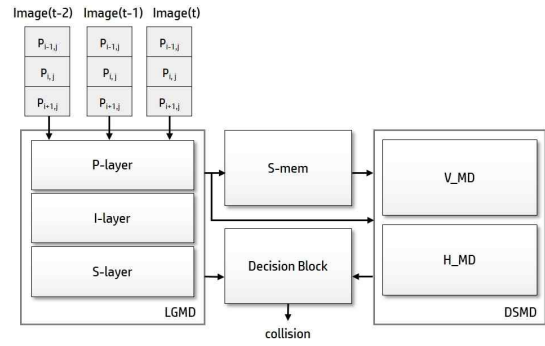


그림 3 전체 시스템 구조
Fig. 3 Overall system structure

행된다. 결과적으로 LGMD 모듈에서 얻어진 움직임의 총량 값과 DSMD 모듈에서 계산된 네 방향에 해당하는 값을 종합하여 Decision Block에서 충돌을 예측한다.

3.1 LGMD

그림 4는 LGMD 모듈의 세부 구조를 나타내며 식(1)로 정의된 한 화소에서의 밝기 변화도를 나타내는 P-layer와 식(2)로 정의된 3×3 저역필터링을 진행하는 I-layer 그리고 식(3)으로 정의된 움직임 값을 처리하는 S-layer로 구성되어 있다. 입력된 영상의 화소 값은 LGMD로 들어가며 3개의 layer를 통해 움직임 값을 의미하는 SUM이 만들어진다. SUM은 누적해서 LGMD 값이 되는데 LGMD 값은 움직임의 총량으로 Decision Block에서 충돌을 감지하는데 사용된다. SUM의 일부는 S-mem과 DSMD 모듈

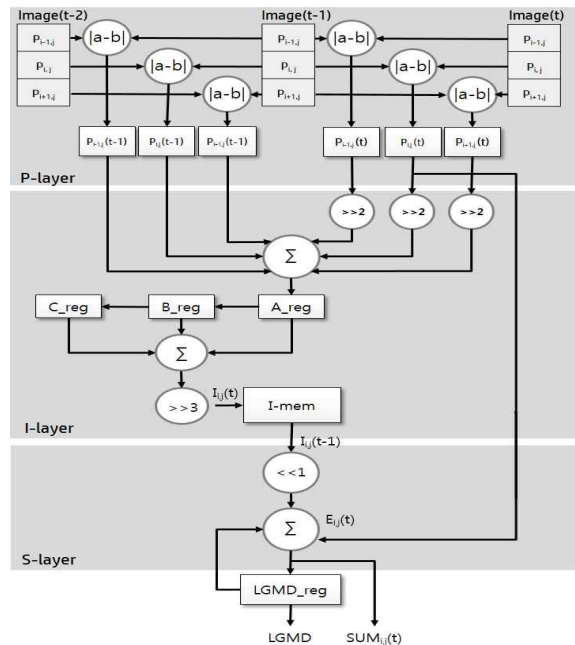


그림 4 LGMD 구조
Fig. 4 LGMD structure

에서 현재와 과거의 EMD 값을 화소별로 매핑 하는데 사용된다.

입력된 3개 영상의 1×3화소들 간의 밝기 변화도는 계산되어 A_reg에 저장되며 이전에 계산되어 저장된 B_reg, C_reg의 값들을 합하여 3×3 데이터의 총합이 연산된다. 본 연구에서는 평균값을 구하기 위하여 오른쪽 쉬프트 3(>>3)으로 치환했으며 이에 대한 오차는 파라미터 보정으로 충돌감지에 문제없음을 검증하였다. 계산된 값은 식 (3)의 S-layer 계산에서 과거 I-layer 값이 필요하기 때문에 I-mem에 저장된다.

3.2 S-mem

S-mem은 기능상 S1500, S1000, S100, S10으로 구분할 수 있으며 LGMD 모듈의 출력 값인 SUM값을 DSMD에서 재사용하기 위해 필요한 메모리 모듈이다. H_MD에서 사용되는 메모리는 S1500과 S10이다. S1500은 영상의 수직에서 35행에서 44행 사이인 1500개의 결과 값을 저장하기 위한 메모리이다. 현재 진행 중인 화소가 처리됨에 따라 메모리 값은 계속 갱신된다. S10은 H_MD의 오른쪽 움직임을 계산할 때 갱신되기 전에 유효한 값을 저장해두기 위한 메모리이다. V_MD에 사용되는 메모리는 S1000과 S100이고 구성은 H_MD와 유사하다. S1000은 71열에서 80열 사이인 1000개의 값을 저장한다. H_MD와 다르게 S100은 V_MD의 아래쪽 움직임을 계산할 때 갱신되기 전에 유효한 값을 저장하기 위한 메모리이다.

3.3 DSMD

DSMD 모듈은 LGMD 모듈의 출력값 SUM(t)값과 S-mem에 저장해 둔 SUM(t-1)값을 이용해 진행된다. DSMD 모듈은 수직 방향성을 판단하고 비교하는 V_MD와 수평 방향성을 판단하고 비교하는 H_MD로 구성되어 있다. V_MD와 H_MD의 구조는 유사하지만 화소의 진행 방향에 따른 차이점이 발생한다.

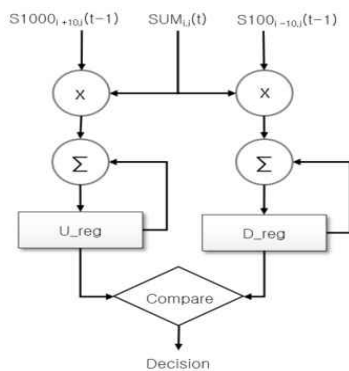


그림 5 V-MD 구조
Fig. 5 V-MD structure

현재 화소가 V_MD의 해당 영역일 경우, LGMD 모듈에서 나온 SUM_{i,j}(t)값을 S1000과 S100에 저장한다. 동시에 SUM_{i,j}(t) 값과 메모리에 저장되어있는 SUM_{i-10,j}(t-1)과 SUM_{i+10,j}(t-1)을 각각

곱함으로써 각 방향성 값이 만들어지며 그 값들을 누적한 값이 그 방향의 DSMD다. 픽셀의 기본 진행방향은 가로방향이므로 감지하는 물체의 움직임의 방향이 상하일 경우, 그 다음 EMD까지 10행이 지나가야하므로 그 SUM 값은 S100에 저장되어야 한다.

현재 화소가 H_MD의 영역일 경우, LGMD 모듈에서 나온 SUM_{i,j}(t)값은 S1500과 S10에 저장된다. 동시에 SUM_{i,j}(t)값과 메모리에 저장되어있는 SUM_{i,j-10}(t-1)과 SUM_{i,j+10}(t-1)을 각각 곱함으로써 각 방향성 값이 만들어지며 그 값들을 누적한 값이 그 방향의 DSMD다. H_MD의 진행과정은 픽셀의 진행방향과 같으므로 그 다음 EMD까지 10화소가 지나가야하므로 SUM은 S10에 저장되어야 한다.

Decision Block은 LGMD와 DSMD의 결과 값을 이용하여 충돌을 감지하는 블록이다. 본 연구에서는 다양한 도로영상을 분석하여 충돌감지를 위한 파라미터를 설정하였으며 자세한 내용은 4장에서 설명하였다.

4. 성능분석

본 연구에서는 다양한 도로영상을 분석하여 충돌감지를 위한 LGMD와 DSMD의 임계값을 10000으로 설정하였다. 그리고 DSMD의 두 방향성 중 한 방향 값이 반대 방향 값보다 8배 이상일 경우, 충돌이 아닌 지나가는 움직임으로 감지함과 동시에 LGMD에서 감지된 충돌이 아니라고 판단하게 된다. 그리고 차이가 실험적인 파라미터인 8배 이하면서 임계값 이상일 경우 충돌이라 판단한다.

충돌을 감지하게 하는 Decision 값은 LGMD에서 임계점 이상인 경우 5점을 부여한다. DSMD의 경우 임계점 이상이고, 상응하는 방향의 값이 8배 이상 차이나지 않는 경우 수직은 3점, 수평은 5점을 부여한다. 그 이유는 영상 크기가 150×100이므로 상하보다 좌우에 정보가 더 많으며, 충돌에 영향을 미치는 물체의 움직임은 일반적으로 상하 보다는 좌우로 움직이는 경우가 많기 때문이다. 연속된 세 개 영상의 점수의 합이 15점 이상일 경우 충돌이라고 판단한다. 그러나 LGMD가 임계점 이상일지라도 DSMD가 상응하는 방향의 값이 8배 이상 차이 날 경우 LGMD 또한 0점으로 처리된다. 그 이유는 움직임은 크지만 DSMD에서 지나가는 영상으로 판단하기 때문이다.



그림 6 충돌 영상(1, 5, 9, 13번째 프레임)
Fig. 6 Collision video sample (1, 5, 9, 13 frame)

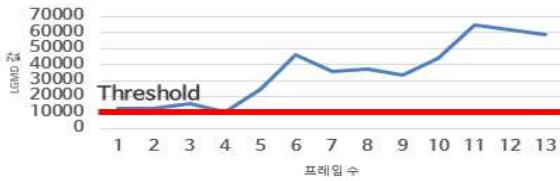


그림 7 충돌 영상 LGMD 값
Fig. 7 LGMD value for the collision



그림 8 충돌 영상 DSMD 값
Fig. 8 DSMD value for the collision



그림 9 지나가는 영상(1, 5, 9, 13번째 프레임)
Fig. 9 Passing video (1, 5, 9, 13 frame)



그림 10 사선 충돌 영상(9, 11, 13, 15번째 프레임)
Fig. 10 Diagonal Collision video sample(9, 11, 13, 15 frame)

그림 6은 충돌하는 영상 샘플을 보여준다. 그리고 그림 7과 8은 각각 해당영상에 대한 LGMD와 DSMD의 변화도를 나타낸다. 충돌 영상 분석 결과 그림 7의 모든 프레임에서 LGMD는 임계점을 넘었기 때문에 유효한 것으로 판단한다. DSMD의 경우 9번째 프레임 이전까지는 임계점을 넘지 못하고 있기 때문에 0점을 갖



그림 11 사선 충돌 영상 LGMD 값
Fig. 11 LGMD value for the diagonal collision

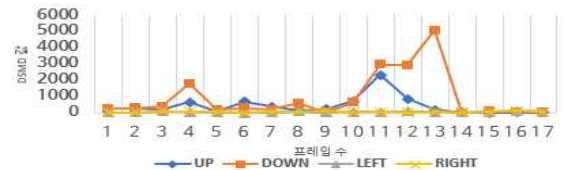


그림 12 사선 충돌 영상 DSMD 값
Fig. 12 DSMD value for the diagonal collision

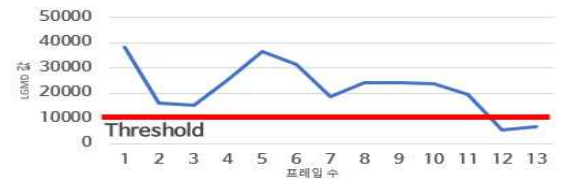


그림 13 지나가는 영상 LGMD 값
Fig. 13 LGMD value for the passing



그림 14 지나가는 영상 DSMD 값
Fig. 14 DSMD value for the passing

는다. 그러나 9번째 프레임에서는 Up 값은 140,000이고 Down 값은 40,000이므로 임계점을 넘고 8배가 넘지 않고 있기 때문에 충돌로 올바르게 판단한 것을 알 수 있다.

그림 9는 옆으로 지나가는 영상 샘플을 보여준다. 영상 분석 결과 그림 10에서 12, 13프레임을 제외한 모든 프레임에서 LGMD의 경우 실제로 충돌하지 않지만 임계점을 넘어가고 있으므로 유효한 것으로 판단한다. 하지만 그림 11의 DSMD의 경우 4번째 프레임을 제외하고 Left 값보다 Right 값이 8배 이상 차이 나므로 LGMD 값은 0점으로 처리되고, 충돌이 아닌 오른쪽 방향 움직임이라고 판단한다.

그림 12는 사선으로 다가와 충돌하는 영상 샘플을 보여준다. 영상 분석 결과 그림 13에서 9번 프레임 이후에서 LGMD 값이 임계점을 넘어가고 있으므로 유효한 것으로 판단한다. 그림 14의 DSMD의 경우에도 전 프레임에서 임계점을 넘지 못하고 있지만 Up과 Down 값, Left와 Right 값이 8배가 넘지 않고 있기 때문

에 그 때의 LGMD 값에 따라 충돌로 올바르게 판단한 것을 알 수 있다. 이 때 LGMD와 DSMD 값들이 작은 이유는 샘플 영상의 자동차 속도가 상대적으로 낮기 때문으로 생각된다.

본 논문에서 제안한 충돌 감지 시스템은 verilogHDL로 설계하여 검증하였고, Synopsys를 사용하여 합성하였다. 제안한 구조는 동부하이텍 110nm 표준셀 라이브러리로 합성한 결과로 8400개의 게이트를 필요로 하며 내부 데이터를 저장할 I-mem은 약 14KB, S-mem은 약 2.5KB 정도 필요하다. 최대 동작주파수는 333MHz로 VGA(640×480) 기준 약 1085fps을 보여준다. 따라서 향후 더 큰 영상을 다루거나 자율주행을 위하여 다른 시스템을 집적하여도 충분한 성능을 보여준다. 충돌감지 알고리즘에 대한 VLSI 설계 사례 중에 본 연구와 비교할 수 있는 사례가 없어 객관적인 성능비교가 어렵지만 향후 자율주행 자동차의 실시간 시스템 구현에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 결 론

본 논문에서는 곤충의 시각 신경망을 이용한 차량 충돌 감지 시스템을 하드웨어로 설계하였다. 물체의 움직임 총량을 판단하는 LGMD와 방향성을 판단하는 DSMD를 결합하여 충돌하는 경우와 지나가는 경우를 구분하여 신뢰도를 높였으며 이를 효율적인 하드웨어 구조로 매핑하여 설계하였다. 입력 영상에서 한 번에 세로 3픽셀씩 처리하여 3×3 지역필터의 구현을 용이하게 하였고 곱셈과 나눗셈을 간단한 쉬프트 연산으로 치환하였고 이에 발생하는 에러를 포함하여 파라미터를 모의실험을 통하여 결정하였다. 네 방향에 대한 DSMD 계산에서 각각의 데이터 의존도에 의하여 중간 결과를 저장하기 위해 필요한 저장 공간은 스케줄링을 분석하여 용량을 최소화하였다. 제안한 구조는 동부하이텍 110nm 표준셀 라이브러리를 사용하여 합성한 결과로 8400개의 게이트가 필요하며 최대 동작주파수는 333MHz로 VGA(640×480) 기준 약 1085fps을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음.

저자들은 본 연구를 위하여 설계 소프트웨어를 제공하여 준 IDEC(IC Design Education Center)에 감사드립니다.

References

[1] T. Gandhi and M. M. Trivedi, "Pedestrian protection systems: Issues, survey, and challenges", *IEEE Trans. on Intell. Trans. Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 413-430, 2007.
 [2] K. C. Fuerstenberg, "Pedestrian protection using laser-scanners", *IEEE Intell. Trans. Syst. Conf.*, pp. 437-442, 2005.

[3] P. Kumar, S. Ranganath, H. Weimin, and K. Sengupta, "Framework for real-time behavior interpretation from traffic video", *IEEE Trans. Intell. Trans. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 43-53, 2005.
 [4] Y. Abramson and B. Steux, "Hardware-friendly pedestrian detection and impact prediction", *IEEE Intell. Veh. Symp. Conf.*, pp. 590-595, 2004.
 [5] M. Strickland¹, G. Fainekos¹, and H. Amor, "Deep predictive models for collision risk assessment in autonomous driving", *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2018.
 [6] S. H. Park, B. Kim, C. M. Kang, C. C. Chung, and J. W. Choi, "Sequence-to-sequence prediction of vehicle trajectory via LSTM encoder-decoder Architecture", *IEEE Intell. Vehicles Symposium*, 2018.
 [7] F. Rind and P. Simmons, "Seeing what is coming: building collision sensitive ons", *Trends Neurosci.* vol. 22 pp. 215-220, 1999.
 [8] R. Stafford, R. D. Santer, F. C. Rind, "A bio-inspired visual collision detection mechanism for cars: Combining insect inspired neurons to create a robust system", *BioSystems*, vol. 87, pp. 164-171, 2006.
 [9] J. Cuadri, G. Linana, R. Stafford, M. Keila, and E. Roca, "A bioinspired collision detection algorithm for VLSI implementation", *Bioengineered and Bioinspired Systems II*, vol. 5839, 2005.
 [10] H. Liang, T. Morie, Y. Suzuki, K. Nakada, T. Miki, and H. Hayashi, "An FPGA-based collision warning system using hybrid approach", *IEEE Int. Conf. on Hybrid Intell. Systems*, pp. 30-35, 2007.
 [11] G. Linan-Cembrano, L. Carranza, C. Rind, A. Zarandy, M. Soininen, and A. Rodriguez-Vazquez, "Insect-vision inspired collision warning vision processor for automobiles", *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 8 no. 2, pp. 6-24, 2008.

저 자 소 개



정수용 (Sooyong Jeong)

2019년 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 졸업예정. 관심분야는 반도체, 디지털시스템 설계 등.



이 재 현 (Jaehyeon Lee)

2019년 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 졸업예정. 관심분야는 반도체, 디지털시스템 설계 등.



송 덕 용 (Deokyong Song)

2019년 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 졸업예정. 관심분야는 반도체, 디지털시스템 설계 등.



박 태 근 (Taegeun Park)

1985년 연세대학교 전자공학과 졸업, 1993년 Syracuse Univ. 컴퓨터 공학석사/박사 졸업, 1994년~1998년 현대전자 System IC 연구소, 책임연구원, 현재 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 교수.