

# ABSTRACT

## An Integrative Approach to Pedestrian Detection Based on Sparse Optical Flow and Convolutional Neural Network Model

**Hosik Choi**

School of Electrical and Electronic Engineering  
The Graduate School  
Yonsei University

Visual information plays a very important role in interacting with the real world. In the field of computer science, image processing algorithms inspired by human visual information systems have been widely studied. Traditional research topics include optical flow algorithms, which extract a motion vector between images using brightness constancy assumptions, and Histogram of Gradient (HOG) algorithms that detect objects by learning the boundary values of pixels. State-of-the-art, deep learning techniques in artificial intelligence research mimic neural structures in the human brain, and are an area of active development. However, small computers such as Micro Controller Unit (MCU) and Internet of Things (IOT) devices in industry create computational time restrictions to utilizing the state-of-the-art techniques.

In this dissertation, a light-weight object detection algorithm is designed to perform effi-

ciently, even in situations where computer performance is limited. It reduces the computational load and increase the object detection performance by combining the existing traditional techniques and the latest techniques. Rather than using the entire state-of-the-art deep learning model, optical flow vectors are calculated to estimate moving objects in the beginning of the detection process. Then, in the last phase of the algorithm, machine learning and neural network models including deep learning are applied to extract image features for object classification.

The proposed method begins by introducing our proposed feature point reset function, moving window and target estimator function based on the Lucas-Kanade method for sparse optical flow estimation. These functions improve performance when tracking moving objects and reduce computational time greatly. Next, it classifies the moving objects in the area extracted from the proposed optical-flow-based algorithm. When applying learning-based classification models, training data is a very important factor for the performance of the learning models. Training data relationships and confirmed coverage effects are determined among datasets by performing experiments to evaluate test datasets. In the end, a HOG+SVM machine learning model, You-Only-Look-Once version 5 (YOLOv5), and simple CNN-based Small Person Detection (SPD) deep learning models are used to classify the moving objects with the our optical-flow-based algorithm. A learning-based classification model is applied to the object-existing Region of Interest (ROI) which is extracted from the optical-flow-based model. The optimal parameters are found by adjusting the crop size and resize ratio parameters according to the size of the ROI. Our proposed CNN-based deep learning model SPD is operated on the proposed separated ROI method which is pre-process step. ROI is separated according to threshold of aspect ratio from the experiment analysis. Object detection performance such as FPS, recall, and precision are compared for the machine learning technique the HOG+SVM, HOG Multi-scale, OF+HOG+SVM, YOLOv5n, OF+YOLOv5n models, and the proposed deep learning technique OF+SPD model. The comparison results shows better performance in computational speed and object detection performance for our proposed detection algorithm.

Finally, the proposed method presents a pedestrian detection algorithm with high computational speed through sparse optical flow and a lightweight CNN-based neural network model. It works the object localization function, which is the first main part of the object detection algorithm, with moving window detector, which enhances the flaw of the sparse optical flow. Next, SPD neural network model consisting of fewer CNN layers roles the

object classification function, which is the second main part of the object detection algorithm. The performance comparison evaluation experiment of the proposed method was conducted with a CPU device. It shows good detection performance and faster computation speed compared to the existing object detection algorithms. This suggests that a pedestrian detection algorithm could be applied only with a CPU device without an expensive GPU device. From this, it presents economic and efficient algorithm for real-time pedestrian detection at industrial area where low-performance computing devices are used.

---

**Key words :** moving object tracking, optical flow, moving window, target estimator, object detection, cross test, influence graph, deep learning, object classification, pedestrian detection, machine learning, neural network, lightweight algorithm

## 국 문 요 약

### 희소 광학 흐름과 합성곱 신경망 모델에 기반한 보행자 인식에 대한 통합적 접근

시각 정보는 외부 세계와 상호 작용하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 컴퓨터 과학 분야에서는 인간의 시각 정보 시스템에 영감을 받은 이미지 및 영상 처리 알고리즘을 활발하게 연구해오고 있다. 전통적인 연구 주제로는 밝기 항상성 가정을 이용하여 이미지 간에 움직임 계산하는 옵티컬 플로우 알고리즘과 픽셀의 경계값을 학습하여 객체를 검출하는 HOG 알고리즘 등이 있다. 최신 연구 주제로는 인간의 뇌 신경 구조를 모방한 딥러닝 인공지능 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 그러나 산업 장비의 MCU나 IoT와 같은 소규모 장비에서는 최신 기법을 활용하는데 제약이 생기게 된다.

본 논문에서는 컴퓨터 성능이 한정된 상황에서 적은 연산량으로도 효과적인 객체 인식을 수행하고자 경량화된 알고리즘을 설계하고자 한다. 기존의 전통 기법과 최신 기법을 접목하여 연산량은 줄이면서 객체 인식률은 높이하고자 하였다. 무조건 최신 딥러닝 모델 전체를 이용하기 보다, 객체 인식 프로세스를 나누어서 초반 부에는 객체 추정을 위해 옵

티컬 플로우를 활용하고 후반 부에는 객체 판별을 위해 이미지 특징을 추출하는 딥러닝 모델을 활용하였다.

제안하는 기법의 초반 부에서는 대표적인 Lucas-Kanade Pyramid 알고리즘을 기반으로, 특정 프레임마다 새로운 객체 검출을 위한 Feature point reset 기능과 움직이는 객체 추적을 보정하는 Moving window와 Target estimator 기능을 개발하였다. 딥러닝 학습에 있어서 학습 데이터는 모델의 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 테스트 데이터셋을 평가하였을 때 성능을 향상시키거나 감소시키는 특정 학습 데이터 관계를 실험 결과를 통해 분류하였다. 옵티컬 플로우로 계산된 ROI 영역의 Crop size와 Resize ratio 파라미터를 조절하며 최적의 파라미터를 찾고 Sliding window 방식을 이용하여 감지된 영역에서 머신러닝 기법인 HOG+SVM 알고리즘과 딥러닝 기법인 YOLOv5 모델을 적용하였다. Separated ROI 전처리 기법을 통해 옵티컬 플로우로부터 추출된 영역을 보다 개별적인 객체가 포함되게끔 분할하고 간단한 구조의 CNN 레이어 기반 모델인 OF+SPD 알고리즘을 적용하면서 FPS와 Recall, Precision 등 객체 인식 성능을 비교 실험하였다. 옵티컬 플로우를 활용한 전처리 기법을 적용 전 후로 비교하였을 때 제안하는 기법이 연산 속도와 객체 인식 성능 면에서 뛰어난 성능을 보였다.

마지막으로, 제안하는 기법은 회소 광학 흐름과 경량화된 CNN-based 신경망 모델을 통하여 연산 속도가 뛰어난 보행자 검출 알고리즘을 제시한다. 이는 Object detection 알고리즘을 구성하는 첫번째 요소인 Object localization 기능을 Sparse optical flow 기법의 단점을 보완한 Moving window detector로 대체한다. 그 다음, Object detection 알고리즘을 구성하는 두번째 요소인 Object classification 기능을 적은 CNN 층으로 구성된

SPD 신경망 모델로 대체한다. 제안하는 방법에 대한 성능 비교 평가 실험은 CPU 장치로 진행되었고, 기존의 객체 인식 알고리즘과 준하는 검출 성능과 보다 빠른 연산 속도를 보인다. 이는 고가의 GPU 장치 없이도 CPU 장치만으로 보행자 검출 알고리즘을 적용할 수 있음을 시사한다. 이로부터, 저성능 연산 장치가 쓰이는 산업 현장에서 실시간 보행자 검출을 위한 경제적이고 효율적인 알고리즘을 제시한다.

---

**핵심되는 말 :** 움직이는 객체 추적, 광학 흐름, 이동 윈도우, 대상 추정, 딥러닝 모델, 객체 인식, 교차 검증, 영향도 그래프, 기계 학습 모델, 객체 분류, 경량 알고리즘, 합성곱 신경망 모델