

교통신호제어를 위한 HOG 기반 보행자 검출 및 행동패턴 인식

HOG based Pedestrian Detection and Behavior Pattern Recognition for Traffic Signal Control

양 성 민, 조 강 현*

(Sung-Min Yang¹ and Kang-Hyun Jo¹)

¹School of Electrical Engineering, University of Ulsan

Abstract: The traffic signal has been widely used in the transport system with a fixed time interval currently. This kind of setting time was determined based on experience for vehicles to generate a waiting time while allowing pedestrians crossing the street. However, this strict setting causes inefficient problems in terms of economic and safety crossing. In this research, we propose a monitoring algorithm to detect, track and check pedestrian crossing the crosswalk by the patterns of behavior. This monitoring system ensures the safety for pedestrian and keeps the traffic flow in efficient. In this algorithm, pedestrians are detected by using HOG feature which is robust to illumination changes in outdoor environment. According to a complex computation, the parallel process with the GPU as well as CPU is adopted for real-time processing. Therefore, pedestrians are tracked by the relationship of hue channel in image sequence according to the predefined pedestrian zone. Finally, the system checks the pedestrians' crossing on the crosswalk by its HOG based behavior patterns. In experiments, the parallel processing by both GPU and CPU was performed so that the result reaches 16 FPS (Frame Per Second). The accuracy of detection and tracking was 93.7% and 91.2%, respectively.

Keywords: HOG, pedestrian detection, tracking, SVM, GPU

I. 서론

현재 교통환경에서 차량의 증가에 따른 효율적인 신호시스템의 사회적인 수요가 증대되고 있다. 우리나라의 교통신호 시스템은 고정 시간에 맞춰진 신호시스템으로 유지되고 있다. 이와 같은 신호시스템은 보행자 및 차량의 통행량이 많은 대도시의 횡단보도 영역에서 효율적으로 운영된다. 하지만 보행자 및 차량의 통행량이 적은 소도시의 도로 및 일반국도의 횡단보도 영역에서는 보행자가 없음에도 불구하고 현재 신호시스템에 의해 불필요한 차량 대기시간이 발생한다. 따라서 교통 환경에 대한 불필요한 차량 대기시간에 대한 조사가 필요하였다. 조사결과 울산광역시내 2차선에서 4차선까지 각각 10개의 횡단보도의 신호시스템에서 보행자 교통신호시간 및 보행자신호에 따른 보행자 유/무의 조사를 실시하였다. 조사한 결과 2차선에서 4차선까지 보행자 신호가 시간당 평균 20회, 18회, 16회를 보였다. 그러나 각 신호들 중에서 보행자가 없는 경우가 각 차선에서 시간당 평균 2회, 8회 그리고 5회가 발생하는 것이 조사를 통해 알 수 있었다. 이와 같이 불필요한 차량의 대기시간은 발생하면 차량의 연료 소비 증가를 야기한다. 또한 운전자의 불법운전을 유도하며 그에 따른 보행자의 안전에 대한 위험률이 증가한다. 따라서 현재 교통환경의 횡단보도 영역에서

보행자의 안전과 원활한 차량의 흐름을 효율적으로 높이는 연구가 필요하다.

본 연구는 비전센서를 이용하여 횡단보행자 검출 및 추적에 의한 결과를 바탕으로 교통신호등을 제어하는 시스템 구현을 제안한다. 카메라영상을 통해서 보행자를 검출하는 방법으로 Haar-like Feature 기반의 패턴 추출방법, 기울기의 방향성 즉, HOG (Histogram of Oriented Gradient) 및 LRF (Local Receptive Field), 그리고 배경 차연산 방법을 통한 방법 등이 주로 연구되고 있다[1-5]. 이 특징을 학습하고 분류하는 방법으로는 SVM (Support Vector Machine), 적응향상 (adaboost) 알고리즘 그리고 신경망 이론 등이 많이 적용되고 있다. Viola 등[1]은 Haar-like 웨이블릿과 시공간차(space-time difference)를 기초로 한 복잡한 영역의 이동하는 사람을 적응적 부스팅(AdaBoost) 알고리즘에 의한 훈련 영상을 이용하여 검출하였다[3]. Ronfard 등[2]은 1차와 2차 가우시안(Gaussian)필터에 대한 양지의(limb) 클래스화로 SVM을 이용한 정확한 신체 검출을 구현하였다.

본 연구에서는 HOG 특징을 이용하여 외부환경에서 보행자를 검출하였다. 그 다음 보행자의 행동패턴을 정의 및 추적을 하고 보행자 횡단 유/무를 판단하는 알고리즘을 제시한다. 마지막으로 GPU 및 CPU를 병렬처리로 수행함으로써 실시간에 적합한 처리속도를 제안하였다. II 장에서는 HOG를 이용한 보행자 검출 및 추적에 대해 설명하고, III 장에서는 보행자 행동패턴을 이용한 횡단 유/무 판단과 GPU와 CPU를 이용한 병렬처리 과정에 대해 설명한다. IV 장에서는 실험결과를 보이며 마지막 V 장에서는 결론을 제시한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

Manuscript received January 2, 2013 / revised February 5, 2013 / accepted August 14, 2013

양성민, 조강현: 울산대학교 전기공학부
(smyang@islab.ulsan.ac.kr/acejo@ulsan.ac.kr)

II. HOG 특징을 이용한 보행자 검출과 보행자 추적

HOG는 국소영역에 대한 밝기의 분포방향을 히스토그램으로 얻어 이를 특징벡터로 나타내는 것으로써 물체의 형상정보로써 사용된다. HOG는 근접화소의 분포를 국소영역에 대해 히스토그램으로 조명의 영향을 적게 받으며 국소영역의 기하학적인 변화에 강건한 특징을 가지고 있다[4].

1. 기울기 값의 계산

기울기 값은 각 픽셀의 밝기 영상 $I(x,y)$ 로부터 x 축과 y 축의 변화에 대한 분포의 크기 m 과 $I(x,y)$ 에 대한 방향 θ 를 식 (1)-(3)식을 이용하여 각각 계산한다.

$$m(x,y) = \sqrt{f_x(x,y)^2 + f_y(x,y)^2} \tag{1}$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \frac{f_y(x,y)}{f_x(x,y)} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} f_x(x,y) &= I(x+1,y) - I(x-1,y) \\ f_y(x,y) &= I(x,y+1) - I(x,y-1) \end{aligned} \tag{3}$$

2. 셀의 벡터화

계산된 변화에 대한 밝기영상분포의 크기 m 의 변화와 방향 θ 를 이용하여 8×8 픽셀 크기를 하나의 셀로 나타내고, 이 셀 내부의 밝기의 변화에 대한 방향에 대해 히스토그램을 작성한다. 여기서 작성된 방향성분은 $0 \sim 360^\circ$ 를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 기준으로 하여 나타내었으며, 매 20° 씩 9개의 방향에 대한 히스토그램을 작성하였다. 그림 1(a)는 입력영상이며, 그림 1(b)는 방향을 나타내고 있는 영상이며, 그림 1(c)는 방향에 대한 색상표이다.

검출된 크기와 방향 히스토그램을 셀(cell)단위로 영상을 구분하여 값을 누적하는 것은 영상에서 에지(edge)성분이 분포하는 영역을 구별하기 위함이다. 또한 전체 셀의 누적된 크기와 방향의 히스토그램을 하나의 벡터로 하여, SVM 분류기 입력값에 적합하도록 하기 위함이다[4]. 본 논문에서는 입력영상(128×64)를 $84(6 \times 14)$ 블록으로 구분하여 값을 누적한다.

3. 블록에 의한 정규화

각 셀에서 작성된 밝기에 대한 방향 히스토그램을 3×3 셀을 하나의 블록으로 하는 정규화를 실시한다. 이는 부분적인 조명의 차이, 각종 영상 잡음의 영향을 줄이기 위함이다

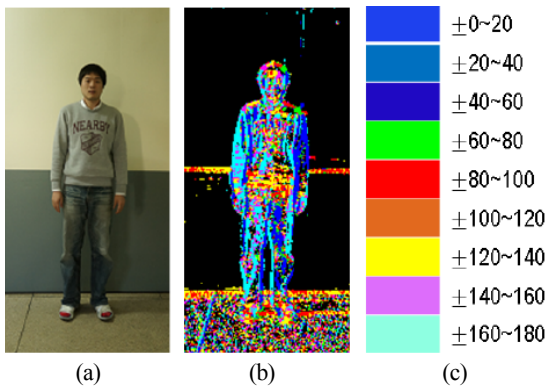


그림 1. (a) 입력영상, (b) 에지의 방향, (c) 방향의 색상표.
Fig. 1. (a) input image, (b) direction of edge, (c) color table of direction.

다[4,6]. 본 논문에서는 84개의 블록을 생성하였다. i 행 j 열의 셀(i,j)의 특징량(9차원)을 $F_{i,j} = [f_1, f_2 \dots f_9]$ 로 나타낸다. k 번째 블록의 특징량(81차원)은

$$B_k = [F_{i,j}, F_{i+1,j}, F_{i+2,j}, F_{i,j+1}, F_{i+1,j+1}, F_{i+2,j+1}, F_{i,j+2}, F_{i+1,j+2}, F_{i+2,j+2}] \tag{4}$$

식 (4)로 나타낸다. 정규화 후의 특징 벡터를 v 라 하면, 다음 식 (5)를 이용하여 블록의 특징벡터들을 정규화 한다.

$$v = \frac{f_{i,j}}{\sqrt{B_k^2 + 1}} \tag{5}$$

입력영상이 128×64 픽셀일 경우 횡방향으로 6블록, 종방향으로 14블록이 생성되며, 전체 84개의 블록에 대한 정규화가 이루어진다. 블록별 정규화를 한 후의 특징 벡터량은 “84블록 \times 54차원”이 되므로 모두 4536차원 HOG의 특징 벡터를 얻는다. 이렇게 얻어진 특징벡터 집합은 Linear SVM (Support Vector Machine)을 이용하여 보행자와 비보행자로 나누어 학습을 시킨다[7]. SVM을 이용하여 학습 데이터를 작성하기 위해 900개의 보행자 영상과 1800개의 보행자가 없는 영상을 사용하였으며 이는 MIT [8]와 INRIA [9]가 제공하는 데이터 집합을 사용하였다. 학습된 데이터를 이용하여 입력영상으로부터 보행자를 검출한다.

4. 보행자 추적

보행자의 행동패턴을 정의하고 횡단 유/무를 판단하기 위해서는 이전 및 현재 영상에서 검출되는 보행자가 동일 보행자인지에 대한 판단이 필요하다. 이를 위한 보행자를 추적하는 판단 기준은 식 (5) 및 (6)과 같다.

$$20 \text{ pixel} \geq \sqrt{(w_1(x_1, y_1) - w_2(x_2, y_2))^2} \tag{5}$$

$$0.6 \leq \frac{\sum_{n=1}^2 (w_n - \bar{w})}{S_W} \leq 1 \tag{6}$$

첫 번째 판단 기준인 식 (5)는 이전 및 현재 영상에서 검출되는 보행자의 일정 위치 간의 거리가 영상에서 20pixel 이하인 경우이다. w_1 과 w_2 는 각 영상에서 검출되



(a) Pedestrian.
(b) Non-pedestrian images.
그림 2. 보행자 및 비보행자의 학습 영상 예시.
Fig. 2. Examples of training images.

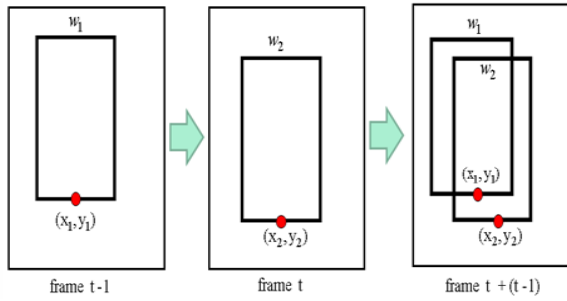


그림 3. 검출 영역 및 특정 위치에서의 이전 및 현재 영상.
 Fig. 3. Previous and current imaging in the detection area and a specific location.

는 영역, $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 는 w_1 과 w_2 에서의 일정 위치를 나타낸다. 그림 3은 이전 및 현재 영상에서 검출 영역 및 특정 위치에 대한 설명이다. 두 번째 판단 기준인 식 (6)은 w_1 과 w_2 내의 색상 값의 상관계수가 0.6~1 사이의 값을 가질 때이다. 이 두 가지의 조건이 만족하는 경우 동일 보행자로 판단하고 추적을 실시한다.

III. 행동패턴 및 병렬처리 과정

1. 보행자 행동 패턴의 판단

횡단보도 영역에서 차량의 원활한 교통 흐름을 위해 보행자의 행동패턴 정의를 통한 횡단 여부를 판단한다. 일반적인 보행자의 경우 횡단보도를 횡단하기 위해 보도영역 바깥의 대기영역과 같은 일정 공간에서 반대편의 신호등의 신호를 보며 대기한다. 따라서 입력영상에서 횡단보도 영역과 횡단보도 횡단 대기영역을 임의로 설정한다. 이 영역에서 보행자가 검출되고 일정 시간 동안 동일한 보행자가 추적될 경우 횡단하고자 하는 의사를 가진 것으로 판단한다. 또한, 일정시간 이상을 이 대기영역에서 체재하고 시간에 따라 이동이 보도영역에 걸쳐 이동이 있는 경우 보행자로서 판단한다. 그림 4는 보행자 행동패턴을 정의하는 방법에 대해 설명한다. 여기서 주황색 영역은 횡단보도 영역을 노란색 영역은 횡단보도 대기 영역을 나타낸다.

2. 병렬처리 과정

본 연구에서는 기울기 방향 히스토그램(HOG)을 이용한 보행자 검출 방법을 제시한다. HOG는 다량의 특징벡터를

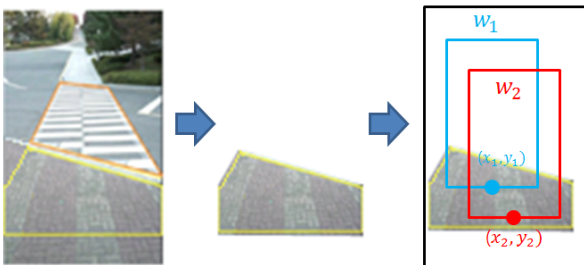


그림 4. 보행자 추출과 추적 영역 설정: 보도영역(주황색) 및 대기영역(노랑색).

Fig. 4. Regions for pedestrian tracking: crossing region(orange) versus waiting region(yellow).

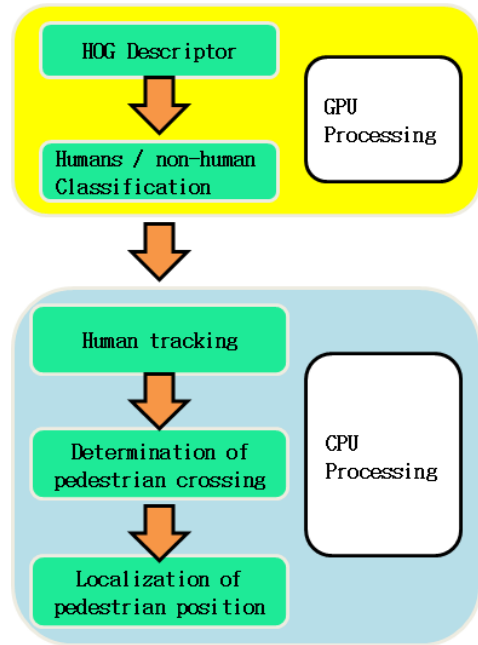


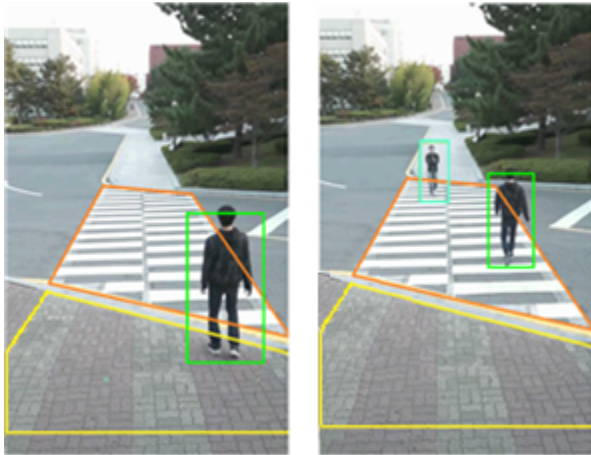
그림 5. 시스템의 병렬처리 방법.
 Fig. 5. Parallel processing method of the system.

계산하기 때문에 연산량이 많고 그에 따른 실시간 동작에 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 GPU와 CPU를 병렬로 이용하여 실시간성을 보완한다. GPU는 CUDA (Compute Unified Device Architecture) 프로그램을 통하여 구현한다. CUDA는 수백 개의 병렬코어를 가지는 GPU를 이용하여 수천 개의 스레드(thread)에 의한 병렬계산이 가능도록 하는 아키텍처이다[10]. 그림 5는 시스템에 적용된 병렬처리 방법에 대해 설명한다.

HOG를 이용한 보행자 검출은 GPU를 이용하고 보행자 추적 및 보행자 횡단 판단은 CPU를 이용하여 시스템 병렬로 구성되었다. 또한 GPU와 CPU 프로세스는 병렬 연산을 하게 되므로 실시간에 적합한 연산 속도 결과를 나타낸다. 실험결과는 다음 절에서 밝히고 있다.

IV. 실험 및 결과

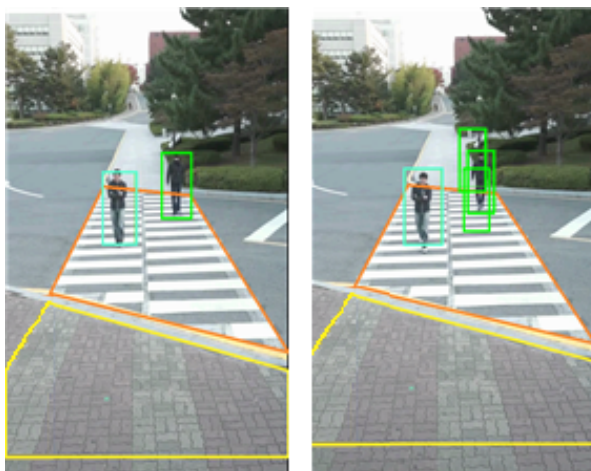
제한한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 울산대학교 캠퍼스내의 횡단보도에서, 한 명의 보행자와 다수의 보행자를 구성하여 실험을 실시하였다. 제안된 방법을 구현한 시스템은 인텔 i5 CPU 750 및 GTX 550 Ti 그래픽카드를 사용하였으며, 영상의 크기는 540*960이고 입력 영상은 실시간으로 초당 25프레임이다. 본 논문에는 동일 보행자를 검출 및 추적하므로, 한 명 또는 여러 명의 보행자 검출 및 추적에 대해서 실험을 하였다. 그림 6은 횡단보도에서 한명, 두 명이 있을 경우에 대한 실험 결과 영상이다. 일반적으로 횡단보도를 횡단하는 보행자는 다수이지만, 본 논문에서는 한 명과 두 명을 대상으로 보행자 검출 및 추적 실험을 실시하였다. 그림 6에서는 전형적으로 보행자가 한 명인 경우와 여러 명(두 명의 경우)의 동일한 횡단보도에서 투영되는 상황을 보이고 있으며 주황색의 보도영역, 노란색의 대기영역에 대한 보행자의 검출 및 추적의 실험결과 영상을 보이고



(a) One pedestrian's case. (b) Two pedestrians's case.

그림 6. 보행자 실험.

Fig. 6. Experiments for pedestrians detection and tracking.



(a) (b)

그림 7. (a) 제안된 방법, (b) Haar-like feature 방법.

Fig. 7. (a) the proposed method, (b) Haar-like feature method.

있다.

또한 실험에서는 보행자 추출과 추적 실험을 하였다. 제안된 방법과 Haar-like feature를 이용하여 검출 및 추적 정밀도와 연산처리 결과를 비교하였다. 그림 7은 각 방법에 대한 검출결과를 비교한 영상이다. 표 1에서와 같이 제안된 방법이 Haar-like Feature 방법보다 보행자 검출에 대해 한 명의 보행자가 있을 경우 8.1%, 두 명의 보행자가 있을 경우 7.25%로 높은 검출 정밀도를 나타냈다. 보행자 추적에 대해서는 표 2에서와 같이 한 명의 보행자의 경우 CAMShift 보다 10.2% 높은 정밀도를 나타내며, 두 명의 보행자의 경우도 16% 높은 정밀도를 나타낸다.

표 3은 검출 및 추적에 대해 각 연산 속도에 대한 비교를 나타낸다. 검출의 경우 GPU처리 속도가 CPU 보다 3.3배, 검출과 추적의 경우 GPU와 CPU를 이용한 병렬처리 방법이 CPU만을 사용한 것 보다 5.1배 이상 높은 처리 속도를 나타낸다.

표 1. 보행자 검출에 대한 검출 정밀도 비교.

Table 1. Comparison of the pedestrian detection precision.

구분		전체 보행자 검출 이미지	보행자 검출(%) (검출/이미지)	비보행자 검출(%) (검출/이미지)
제안된 방법	한명	2,250	93.7% (2,108/2,250)	6.3% (142/2,250)
	두명	2,000	92.5 % (1,850/2000)	7.5% (150/2,000)
Haar-like Feature	한명	2,250	85.6% (1,926/2,250)	14.4% (324/2,250)
	두명	2,000	85.25% (1,705/2,000)	14.75% (295/2,000)

표 2. 보행자 추적에 대한 추적 정밀도 비교.

Table 2. Comparison of the pedestrian tracking precision.

구분	한 명의 보행자 추적(%)	두 명의 보행자 추적(%)
제안된 방법	91.2 %	87.4%
CAMShift	80.3 %	71.4%

표 3. 제안한 방법에 대한 연산 처리 속도 비교.

Table 3. Comparison of the processing speed.

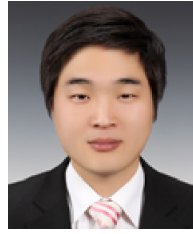
구분	보행자 검출		보행자 검출 및 추적	
	CPU	GPU	CPU	CPU+GPU
초당 프레임(fps)	5	16	3	16
연산 속도(ms)	0.2	0.06	0.34	0.062

V. 결론

본 논문은 특정 검출 방법인 HOG와 특정 거리 및 색상의 상관계수를 이용한 도로의 횡단보도에 있는 보행자를 추출하고 추적하여 이의 행동패턴 검출하여 교통신호제어를 보다 효율적으로 수행하고자 하는 목표를 갖고 실험 연구를 보였다. 교통신호의 실시간 제어하기 위한 목표로 영상의 고속처리를 위해 CPU와 GPU를 쓴 병렬처리 시스템으로 구성되어 실시간 비전처리가 가능한 교통신호제어에 대한 연구 방법을 제안하였다. 보행자 검출 및 추적 모두 90% 이상의 정밀도를 보여주고 있으며, CPU와 GPU를 융합하여 실제 환경에 적용 가능한 처리속도를 보여준다. 이러한 결과는 실제 도로 환경에서 교통제어로 바로 적용하기 위한 기초적인 시스템 구현을 해보았다. 이는 본 논문에서 제시하는 시스템은 횡단보도 영역에서의 보행자의 안전과 원활한 차량의 흐름을 효율적으로 높이는 연구에 바탕이 되는 기초 연구로 사용할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 카메라가 가지는 외부환경에 대한 시간대별, 실제 횡단보도의 크기에 따른 다양한 경우의 실험결과를 획득하지 못하였으며, 비전센서 기반의 보행자 검출 시 다수의 보행자의 경우 개인별 보행자의 행동패턴을 감안하기 위한 은폐(occlusion)나 실시간 추적에 따른 정지, 이상 행동(abnormal behavior) 등에 대해 해결 방법 등은 향후 과제로 남겨 놓고 있다.

REFERENCES

- [1] P. Viola, M. Jones, and D. Snow, "Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance," *International Journal of Computer Vision*, vol. 63, no. 2, pp. 153-161, 2005.
- [2] R. Ronfard, C. Schmid, and B. Triggs, "Learning to parse pictures of people," The 7th ECCV, vol. 4, pp. 700-714, 2002.
- [3] B.-R. Lee, Q.-B. Truong, H.-S. Kim, and Y.-H. Bae, "A study on the pedestrian detection on the road using machine vision," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 5, pp. 490-498, May 2011.
- [4] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 886-893, June 2005.
- [5] S.-T. An and J.-J. Lee, "Detection and tracking of humans using particle swarm optimization," *Proc. of 2011 ICROS Daejeon Chungcheong Branch Conference (in Korean)*, pp. 40-44, Dec. 2011.
- [6] G.-G. Lee and W.-Y. Kim, "Measuring pedestrian traffic using feature-based regression in the spatiotemporal domain," *International Journal of Control, Automation, and Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 328-340, 2012.
- [7] V. Vapnik, John Wiley & Sons, "Statistical Learning Theory," New York, 1998.
- [8] <http://cbcl.mit.edu/software-datasets/PedestrianData.html>
- [9] <http://pascal.inrialpes.fr/data/human>
- [10] nVIDIA Corporation, "CUDA 2.3 Programming Guide," in http://www.nvidia.com/object/cuda_develop.html, 2009.



양 성 민

2011년 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 졸업. 2011년~현재 동 대학원 석사. 관심분야는 컴퓨터 비전, 영상처리, 로봇 비전, 지능시스템. ICROS 학생회원.



조 강 현

1989년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업(공학사). 1993년 일본 Osaka대학 대학원 전자제어기계공학과 졸업(공학석사). 1997년 Osaka대학 대학원 전자제어기계공학전공(공학박사). 1997년~1998년 ETRI 시스템공학연구소 포스트 박사 연구원. 1998년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수. 관심분야는 컴퓨터 비전(CV), 사람과 컴퓨터의 상호작용(HCI), 지능시스템(IS) 연구. 현재 IEEE, IEK, IEICE, ICROS, SICE, KROS, KMMS, KIISE, KIPS, KSAE 등 정회원 및 이사 역임.