creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264138

2014年 2月

석사학위논문

CCTV와 IR카메라를 융합한 적응적 보행자 추적 알고리듬

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

김 지 인

2014년 2월 석사학위논문

CCTV와 IR카메라를 융합한 보행자 추적 알고리듬

김 지 인

CCTV와 IR카메라를 융합한 적응적 보행자 추적 알고리듬

Adaptive Pedestrian Tracking Algorithm using Combination of CCTV and IR Camera

2014년 2월 25일

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

김 지 인

CCTV와 IR카메라를 융합한 적응적 보행자 추적 알고리듬

지도교수 권 구 락

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2013년 10월

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

김 지 인

김지인의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한 승 조 印

위 원 조선대학교 교수 변 재 영 印

위 원 조선대학교 교수 권 구 락 印

2013년 11월

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

그 림 목 차 ····· ii
표 목 차 ····· iii
Acronyms ····· iv
ABSTRACT ····· v

Ⅰ. 서 론 ····· 1
A. 연구 배경 ····· 1
B. 연구 목적 ····· 3
C. 논문 구성 ····· 3
Ⅱ. 관련연구 ····· 4
A. 보행자 검출 기술 ····· 4
B. 보행자 추적 기술 ····· 7
Ⅲ. 제안하는 알고리듬 ····· 10
A. CCTV와 IR카메라를 융합한 보행자 추적 알고리듬 ····· 10
B. CCTV에서의 보행자 추적 기법 ····· 13
C. IR영상에서의 보행자 추적 기법 ····· 16
Ⅳ. 실험결과 및 고찰 ····· 19
A. 실험환경 ····· 19
B. 실험 및 결과 ····· 23
Ⅴ. 결론 ····· 31
참고문헌 ····· 32

그 림 목 차

그림 2.1 차영상을 이용한 추적 기술 ····· 4
그림 2.2 광류기반 얼굴 인식 ····· 5
그림 2.3 체형 기반 보행자 검출 ····· 5
그림 2.4 움직임 기반 보행자 검출 ····· 6
그림 2.5 'S. McKenna' 제안한 적응적 배경 감산 기법 ····· 7
그림 2.6 'N. Paragios' 제안한 능동 윤곽선 목적 함수와 레벨 집합 형성 기법 ····· 8
그림 2.7 특징 기반 칼만 필터를 이용한 움직임 추정 ····· 8
그림 2.8 모델 기반의 차량 추적 ····· 9
그림 3.1 제안한 알고리듬 순서도 ····· 10
그림 3.2 CCTV와 IR카메라의 보행자 영역 좌표 값 ····· 11
그림 3.3 CCTV와 IR카메라의 융합된 보행자 영역 ····· 12
그림 3.4 Haar-like의 특징 Mask ····· 13
그림 3.5 적분이미지를 이용한 적분 값 계산 ····· 14
그림 3.6 Adaboost 구조도 ····· 15
그림 3.7 나이트 비전 시스템 ····· 17
그림 3.8 IR영상에서 보행자 추적 방법의 순서 ····· 18
그림 4.1 얼굴인식을 위한 Haar-like 특징 추출 학습 데이터의 예 ····· 19
그림 4.2 보행자 인식을 위한 Haar-like 특징 추출 학습 데이터의 예 ····· 20
그림 4.3 야간상황에서 빛이 없을 때의 영상 ····· 20
그림 4.4 IR카메라의 빛에 의한 영상의 퍼짐현상 ····· 21
그림 4.5 CCTV와 IR카메라의 시야에 따른 화질 차이 비교 ····· 22
그림 4.6 얼굴인식 실험 영상 ····· 23
그림 4.7 야간상황에서의 얼굴인식 ····· 24
그림 4.8 실선으로 표현된 융합된 얼굴인식 영역 ····· 25
그림 4.9 보행자 추적을 위한 실험 영상 ····· 26
그림 4.10 IR카메라 영상의 이진화 ····· 27
그림 4.11 CCTV와 IR카메라의 보행자 추적 결과 ····· 27
그림 4.12 CCTV와 IR카메라의 융합된 보행자 추적 결과 ····· 28

표 목 차

표 3.1 근적외선 카메라와 원적외선 카메라의 비교 ····· 16
표 4.1 보행자 검출 알고리듬의 성능 지표 ····· 22
표 4.2 보행자 검출 성능 비교 ····· 29

Acronyms

CCTV : Closed-circuit television

IR : Infrared Ray

ECU : Electronic control unit

FPPW : False positives per window

FPPI : False positives per image

HOG : Histograms of oriented gradients

ABSTRACT

Adaptive Pedestrian Tracking Algorithm using Combination of CCTV and IR Camera

Kim, Ji-In
Advisor : Prof. Kwon, Goo-Rak, Ph.D.
Department of Information Communication Engineering
Graduate School of Chosun University

In this paper, an adaptive pedestrian detection algorithm using the fusion of CCTV and IR camera is proposed. One of the drawbacks of the pedestrian tracking algorithm using CCTV is the inability to track the object in the absence of light. While in the IR camera , the light is spread in the short distance. The proposed method is aimed to overcome these drawbacks.

In CCTV, the pedestrian tracking method uses Haar-like Feature. The advantage of Haar like feature is the rapid computation of the feature values. A learning algorithm, based on AdaBoost is implemented, which selects a small number of critical visual features from a larger set and yields extremely efficient classifiers. The area of a pedestrian rectangle is estimated based on the size of the object.

Similarly, In IR camera, the IR captured video is converted into binary video. Then the contour based tracking of body parts is employed. In this step, the tracking is performed separately for each part of the body and then the object rectangles are grouped into a single rectangle.

The average value of the CCTV pedestrian rectangle and the IR pedestrian rectangle is calculated. Finally, the new rectangle is used by both CCTV and IR tracking algorithms.

I. 서 론

A. 연구 배경

최근 컴퓨터 기술과 영상처리 기술의 발전으로 컴퓨터를 이용하여 영상에 포함된 정보를 이용하기 위한 연구들이 증가하고 있다. 또한 보안과 범죄 예방 및 안전 문제가 사회적 이슈로서 많은 이들의 관심을 받게 됨으로써 이에 대한 대책이 시급히 요구되고 있다. 이와 관련하여 낮에는 CCTV로 야간에는 IR카메라를 이용한 보안시스템이 많이 이용되고 있으며, 이와 관련된 CCTV에서의 보행자 추출 및 추적, IR카메라를 이용한 보행자 추출 및 추적 기술의 많은 연구가 이루어지고 있다.

CCTV를 이용한 보행자 추출 및 추적의 경우 수많은 연구가 이루어졌고 다양한 기술이 개발되었다. 보통 영역기반, 윤곽선 기반, 특징기반, 영역기반 등의 기술이 많이 쓰이고 있다. 또한 IR카메라를 이용한 경우 스마트 자동차 관련하여 나이트비전 기술 분야의 개발이 이루어지고 있다. 나이트비전 시스템은 야간 주행시 운전자에 개선된 시야를 제공해주기 위하여 적외선 영역을 이용하여 시야를 확보하는 기술을 말한다. 시스템 방식으로 근적외선 카메라를 사용하는 방식과 원적외선 카메라를 사용하는 방식이 있으며 근적외선방식은 적외선 방사기를 통하여 방사된 적외선이 물체에 도달한 후 반사된 근적외선을 카메라를 통하여 감지하며, 눈으로 보는듯한 자연스러운 영상과 무생물을 감지할 수 있다는 장점이 있고 단점으로는 촬영할 수 있는 거리의 한계점이 원적외선 방식보다 짧고, 대항차의 전조등에 의한 빛 번짐 현상이 발생한다는 점이 있다. 원적외선 방식의 경우 물체가 발산하는 열을 원적외선 카메라를 통해 감지하며, 생물체와 같은 발열 물체에 대한 감지성능이 우수하며 시야거리가 넓고 빛의 영향이 덜한 점이 장점이 있고, 단점으로는 여름과 같은 계절에는 주위의 온도와 비슷한 대상에 대한 감지 성능의 저하 및 해상도가 근적외선 카메라에 비해 낮고 가격이 비싸다.

따라서 본 연구에서는 기존의 CCTV와 IR영상에서 각각의 보행자 추적 알고리듬의 문제점들을 최대한 보완하기 위한 방법으로 각각의 추적 알고리듬을 융합하여 단점을 최소화하고 개선하는 방향의 보행자를 추적 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 환경적인 요소와 빛의 밝기 요소를 고려하여 일정한 조건을 가지고 실험을 하였고 CCTV 영상에서 보행자의 얼굴 영역을 검출하기 위해 얼굴 피부 컬러 모델을 사용한 haar 모

델을 적용하고 IR 영상에서는 열값이 높은 부분의 객체를 분할하여 추출된 객체의 최외각 성분을 이용하여 보행자의 유무를 판단하는 방법을 적용하였다. 또한 이 영상정보들의 융합을 위해 각각의 보행자 추적 영역의 좌표 값을 산출한 뒤에 좌표 값 평균을 이용하여 새로운 보행자 추적 영역을 생성한 뒤에 보행자를 추적하는 방법을 실행하였다.

B. 연구 목적

본 연구에서는 동일한 시점에서 동시에 촬영된 CCTV영상과 IR카메라 영상을 이용하여 각각의 보행자 추적 알고리듬을 사용하여 추적된 보행자 영역을 융합하여 좀 더 효율적인 보행자 영역을 생성하는 것을 제안한다. CCTV에서 Haar-like Feature와 Adaboost 학습 알고리듬을 사용하여 약 분류기들을 합쳐서 강 분류기를 만들어 보행자를 추적한다 [1]. 이에 따라 생성된 특징 값은 얼굴과 보행자에 대한 특징을 잘 포용하는 장점을 가지고, 계산 방식이 단순한 합연산이기에 동영상에서의 적용이 용이하다는 장점을 가진다. IR카메라 영상에서는 얼굴과 보행자의 Edge를 추출하여 그 추출된 부위의 그룹화를 이용하여 보행자 영역을 생성한다.

생성된 각각의 보행자 영역을 좌표값을 추출하여 그 평균값으로 융합된 보행자 영역을 생성한 뒤에 각 영상으로 다시 전송한다. 이를 통하여 CCTV와 IR카메라의 단점이 되는 빛의 세기와 거리에 따른 해상도 문제, 야간 상황에서 좀 더 효율적인 보행자 추적을 할 수 있게 하는 것을 그 목적으로 한다. 또한 이를 이용하여 자동차용 나이트 비전 시스템과 보안시스템 분야에서 사용할 수 있도록 한다. 차량이 야간에 주행시 IR카메라의 짧은 시야거리를 CCTV로 보안해주는 것을 목표로 한다.

C. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구에 대해 설명하고, 3장의 제안하는 알고리듬에서는 Haar-like Feature와 Adaboost 알고리듬에 대해서 기술하며, CCTV 영상과 IR 카메라 영상에서의 보행자 추적 방법과 그 융합에 대해서 기술한다. 4장 실험결과 및 고찰에서는 제안된 방법의 실험 및 시뮬레이션 결과를 분석한 후, 마지막장을 끝으로 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

A. 보행자 검출 기술

보행자 검출 기술은 차영상, 광류기반, 체형기반, 움직임기반의 방법 등이 있다. 첫 번째로 차영상은 기준이 되는 프레임과 인접한 프레임과의 차를 이용한 방법이다. 차영상 기법은 움직이는 물체에 대하여 실시간으로 처리를 할 수 있지만 물체가 정지해 있는 경우에는 검출이 불가한 문제가 있다. 차영상의 종류로 배경기반과 프레임기반이 있다. 배경기반의 경우 배경이 고정된 경우에 움직이는 물체를 찾기 위해 프레임마다 배경을 빼는 방식으로, 움직이는 물체에 대한 정확한 위치 정보와 형태 정보를 얻을 수 있다. 문제점으로 환경에 따른 영상의 변화 및 기상변화 등을 고려해야하는 점이 있다. 프레임기반은 순차 영상에서 2~3개의 연속 프레임 사이를 픽셀 단위로 계산함으로서 움직이는 영역을 검출하는 방법이다. 2개의 프레임을 사용할 때보다 3개 이상의 프레임을 이용할수록 검출이 용이하다. 다음 그림 2.1은 차영상 방법을 이용하여 보행자가 이동을 검출한다 [15]. (a)에서 (b)를 차영상했을 때 (c)이미지에서 움직임이 있는 부분은 밝은 부분으로 표시됨을 알 수 있다.

(a) t_1시간의 이미지 (b) t_2시간의 이미지 (c) 차영상 t_1-t_2 이미지

그림 2.1 차영상을 이용한 추적 기술

두 번째로 광류기반의 추적 기술은 순차적인 영상에서 일정 시간동안 움직이는 물체들의 흐름 벡터들의 특징을 이용하여 움직이는 영역을 검출하는 방법이다. 이 방법은 카메라의 움직임에 영향을 받지 않고 검출이 가능하다. 문제점으로는 계산의 복잡도가 높고 노이즈에 민감하며 실시간으로는 사용이 불가능하다. 관련방법으로 'Meyer'의 윤곽선기반 추적 알고리듬과 'Okada'의 광류와 깊이 정보를 이용한 보행자 검출 등 이 있다. 다음 그림 2.2는 광류를 이용한 보행자 검출을 나타낸다 [16].

그림 2.2 광류기반 보행자 인식

세 번째로 체형기반의 기술은 움직이는 보행자의 판별을 위해 박스, 실루엣, 점 등 움직임 영역에 대한 형태학적 정보를 이용하는 방법이다. 복잡한 움직임의 경우에는 검출이 힘들다. 그림 2.3은 'Kuno'가 제안한 움직이는 물체에서부터 사람을 구별하기 위해 사람 실루엣 패턴을 이용한 형태 파라미터를 사용한 방법이다 [17].

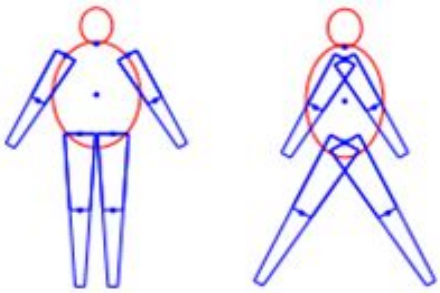


그림 2.3 체형 기반 보행자 검출

네 번째는 움직임 기반 기술이다. 주기적인 특성을 가지고 명확하게 사람의 움직임과 같은 경우에 움직이는 물체를 검출하기 위한 방법이다. 그림 2.4는 움직이는 동작의 패턴과 윤곽 정보 등을 통합하여 보행자를 검출하거나 추적하고 또는 동일한 물체에 대한 유사성을 계속적인 측정을 통해 계산하여 움직이는 물체와 보행자를 분류하고 추적한다 [14].

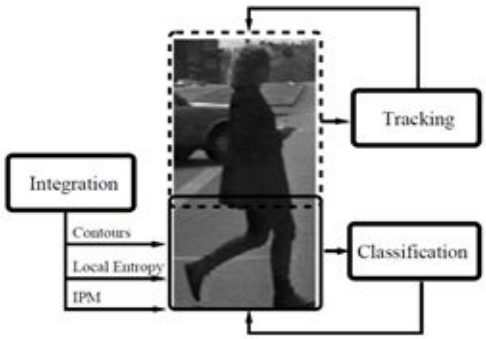


그림 2.4 움직임 기반 보행자 검출

B. 보행자 추적 기술

보행자 추적 기술로는 영역기반, 윤곽선 기반, 특징기반, 모델기반 등이 있다. 첫 번째로 영역기반의 기술은 추적 대상이 되는 보행자를 화소들의 집합인 영역이라 할 때 탐지된 영역의 좌표 값을 구하여 추적하는 방법이다. 이 알고리듬은 배경 영상을 동적으로 유지하고, 움직임이 있는 영역에 대하여 현재 프레임 영상에서 배경 영상을 뺌으로서 검출하는 차영상 방법을 같이 사용한다. 보행자가 겹쳐지는 경우에는 추적이 실패할 확률이 높으며, 복잡한 환경과 다수의 움직임이 있는 경우에는 사용하기 어렵다. 다음 그림 2.5는 'S. Makenna'가 제안한 적응적 배경 감산 기법을 통해 보행자를 추적하는 방법을 나타낸다 [18].

그림 2.5 'S. Mckenna'가 제안한 적응적 배경 감산 기법

두 번째로 윤곽선 기반 기술은 보행자의 경계의 윤곽선을 추출하여 움직임이 있는 경우 그 정보를 계속적으로 누적해가는 방법이다. 보행자의 정보를 정확히 알 수 있다는 장점을 가지고 계산의 복잡도를 줄일 수 있다. 이와 관련하여 'Peterfreund'는 공간에서 사람과 같이 유연하게 움직이는 목표 추적을 위하여 새로운 능동적 윤곽선 모델 기반의 칼만 필터를 제안하였다. 그림 2.6은 'N. Paragios' 제안한 방법을 나타낸다 [19].

그림 2.6 ‘N. Paragios’ 제안한 능동 윤곽선 목적 함수와 레벨 집합 형성 기법

‘Paragios’는 측지학적 능동 윤곽선 목적 함수와 레벨 집합 형성 기법을 사용하여 순차적인 영상에서 다수의 움직이는 물체를 검출하고 추적하였다. 이와 같은 방법은 배경과 물체들이 단순하게 서로 떨어져 있으면 좋은 결과를 얻지만, 복잡한 배경이거나 또는 물체의 겹침이 일어났을 경우 대상을 하나의 대상으로만 추적하는 단점을 가지고 있다. 세 번째로 특징기반 추적 기술은 영상에서 프레임별로 특징이 되는 요소를 추출하여 다음 프레임과의 연속적인 비교를 통해 대상을 추적하는 방법이다. 특징기반의 추적 기술은 전역, 국부, 종속으로 나누어지며 이에 따라 무게중심, 주변길이, 영역, 위상, 컬러, 분할, 기하학적 등을 이용한다. 특징기반은 보행자 전체가 아닌 특징만을 추적하기 때문에 보행자에서 추적하는 부분만 보인다면 보행자가 안보이는 부분이 있어도 추적이 가능하다는 장점이 있다. 그림 2.7은 특징 기반의 칼만필터를 이용한 보행자 추적을 나타낸다 [20].

그림 2.7 특징 기반 칼만 필터를 이용한 움직임 추정

마지막으로 네 번째 모델기반의 추적 기술은 영상 데이터에 사전 지식으로 만들어진 학습 데이터를 이용한 모델들을 지속적으로 매칭함으로써 보행자를 추적한다. 모델 기반 추적은 계산량이 복잡하고 속도가 느리다. 그림 2.8은 차량을 모델로 하여 기본 정보를 누적한 뒤에 다른 장소에서 대상이 발견되도 추적이 가능하게 한다 [20].

그림 2.8 모델 기반의 차량 추적

III. 제안하는 알고리듬

A.CCTV와 IR카메라를 융합한 보행자 추적 알고리듬

1.CCTV와 IR카메라의 보행자 추적 알고리듬 융합 방법

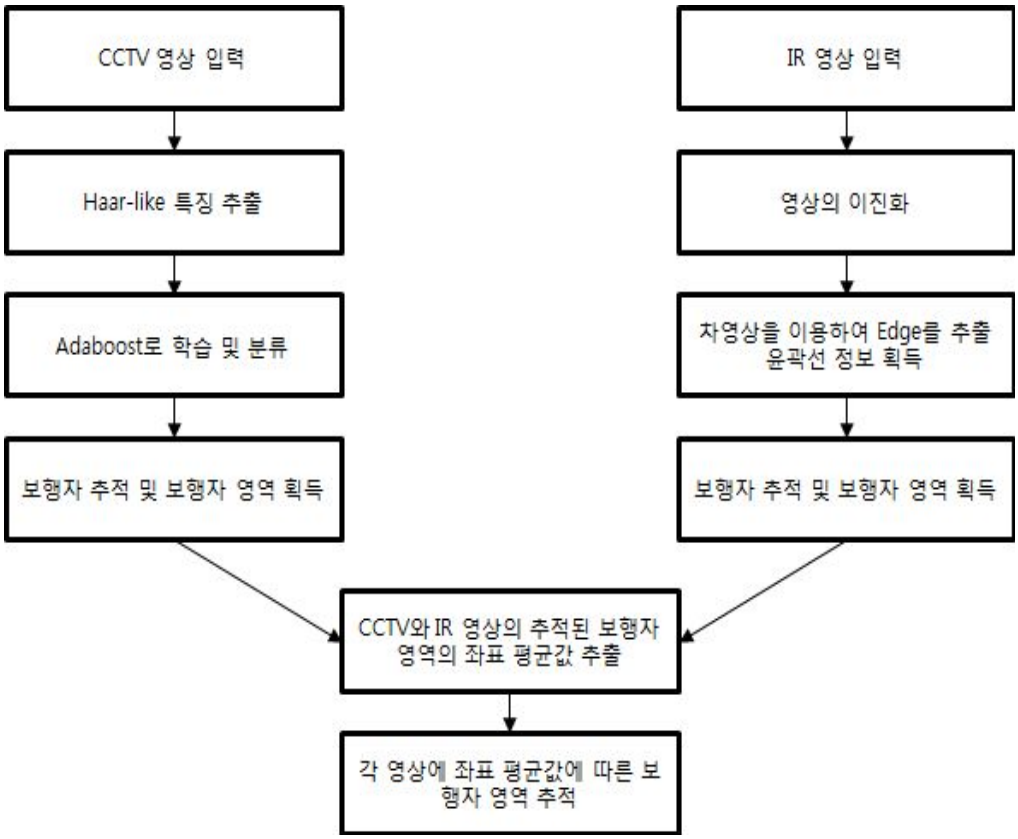


그림 3.1 제안한 알고리듬 순서도

제안하는 알고리듬은 동일한 시점에서 동시에 촬영하여 CCTV 카메라에서 입력받는 영상은 Haar-like 특징 추출과 Adaboost 알고리듬을 통해 훈련 데이터를 입력하여 보행자를 추적하고, IR 카메라에서 입력받는 영상은 이진화를 하고 Edge를 추출한 뒤에

추출된 Edge를 다음 프레임과의 차영상 기술을 통해 움직임을 추적한다. 추출된 Edge를 통해 윤곽선을 얻고 이를 토대로 보행자 영역을 생성한다. 각각의 추출된 보행자 영역의 좌표 값을 산출하고 그 평균값을 이용하여 새로운 영역을 생성한 뒤에 다시 CCTV와 IR 카메라 영상에 평균값 영역으로 보행자를 추적한다.

2. 좌표 값의 평균 영역

본 논문에서 융합을 위한 방법으로 좌표 값의 평균값을 구하여 새로운 영역을 지정해주는 방법을 사용한다. 각각의 보행자 추적 알고리듬에서 최종 보행자 추적이 완료되면 완료된 지점에서의 보행자 영역의 좌측 상단의 좌표 값을 기준으로 평균 값을 구하고 새로운 영역을 선정한다. 다음 그림 3.2은 각각 CCTV와 IR카메라에서의 보행자 영역을 나타낸다.

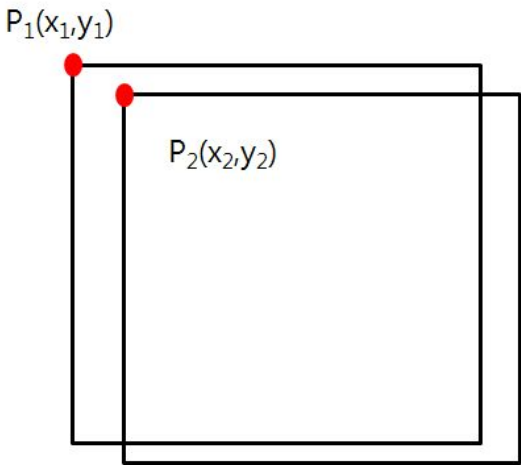


그림 3.2 CCTV와 IR카메라의 보행자 영역 좌표 값

P_1은 CCTV에서의 보행자 영역의 좌측상단 좌표 값이고 P_2는 IR카메라의 보행자 영역의 좌측상단 좌표 값이라고 할 때 두 개의 좌표 값의 평균값 P_{avg}는 다음 공식 (1)과 같다.

$$P_{avg} = \frac{P_1(x_1, y_1) + P_2(x_2, y_2)}{2} \qquad (1)$$

공식 (1)의 P_{avg}와 같이 각 영역의 꼭지점 값의 평균을 구하여 다음 그림 3.3과 같이 각각의 꼭지점 값들을 연결하여 융합된 보행자 영역을 생성한다.

그림 3.3 CCTV와 IR카메라의 융합된 보행자 영역

지속적으로 프레임별로 생성된 평균값들을 이용하여 사각형 영역을 생성한다. 사각형 영역을 융합된 보행자 추적 영역이라고 하고 CCTV와 IR영상으로 보내어 보행자를 추적한다.

B.CCTV에서의 보행자 추적 기법

1. Haar-like Feature

보행자를 효율적으로 인식하기 위해서는 인식할 보행자 대상의 모델을 생성해야한다. 이 때 영상에서 어떤 정보를 이용하여 물체를 인식할지에 대한 문제점이 대두된다. 일정 영역 안에서 모든 화소들의 밝기 값을 사용하는 외양기반의 기법과 영상에서의 전처리 과정을 거쳐 특징 값을 추출하는 특징기반의 기법이 있다 [2]-[7].

특징기반의 기법으로 'Paul Viola'와 'M. J. Jones'가 제안한 Haar-like Feature가 있다 [1][8]. Haar-lkie Feature는 간단하고 효율적이며 에지 특성을 이용한 기법으로서 특징 값을 구하는데 요구되는 계산량을 합연산으로만 구하므로 검출속도가 빠르다는 장점이 있다. 다음 그림 3.4은 Haar-like의 특징의 Mask를 나타낸다 [1].

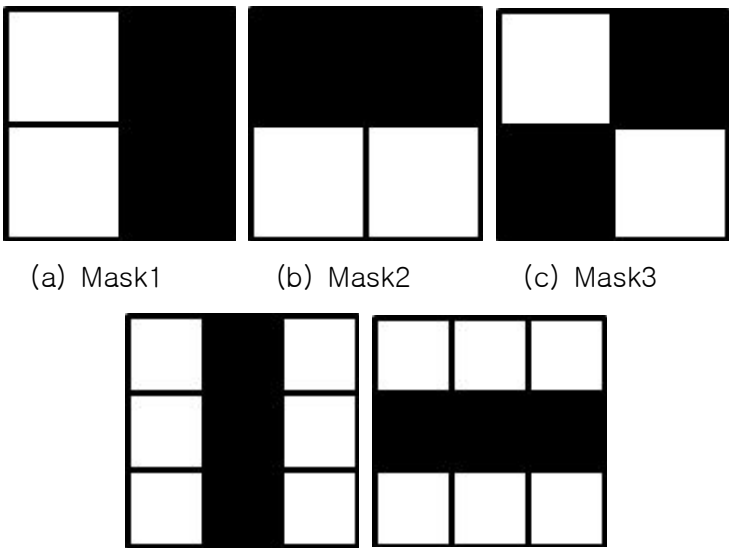
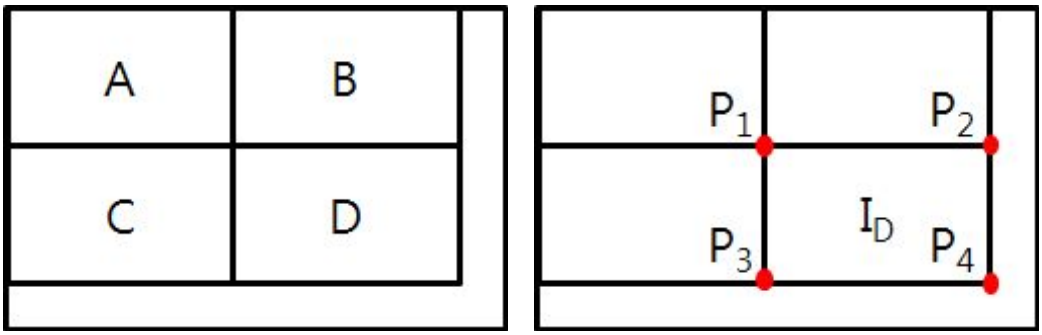


그림 3.4 Haar-like의 특징 Mask

(a), (b)는 에지 특징, (c)는 대각선 특징, (d), (e)는 라인 특징을 나타내며 영상에서의 인식 대상의 특징 값을 추출할 때 사용한다. 특징 값은 Mask의 영역의 변화량으로서 각 영역에 대하여 적분 값의 차이를 계산하여 추출되는데 각 영역 내의 모든 값을 계산

하는 것보다는 특정 위치별로 누적된 적분 이미지를 이용하여 적분 값을 연산하는 것이 효율적이며 다음 그림 3.5는 적분이미지를 이용하여 적분 값을 계산하는 방법을 나타낸다 [1].



(a) 원본 이미지 (b) 적분 이미지

그림 3.5 적분이미지를 이용한 적분 값 계산

D영역에 대한 적분 값을 계산하기 위해서 원본 이미지 (a)에서 각 화소의 위치별로 누적된 각각의 A, B, C, D의 적분 이미지를 이용하면 계산을 간단하며 빠르게 할 수 있는데 Point1～4는 각각 P_1은 A영역의 적분 값이고 P_2는 (A+B)영역, P_3는 (A+C)영역, P_4는 (A+B+C+D)영역에 대한 적분 값을 나타내며 D영역에 대한 적분 값은 적분 이미지 (b)의 I_D로 값은 다음 공식 (2)과 같이 계산된다.

$$I_D = P_4 - P_3 - P_2 + P_1 \qquad (2)$$

적분 값을 계산하면 원하는 사각 영역의 화소 값들의 합을 구할 수 있고 계산 시간을 일정하게 만드는 성질이 있어 시스템의 속도도 균일하게 된다.

2. Adaboost 알고리듬

Boosting의 한 종류로서 Adaboost 알고리듬은 ‘Y. Freund’와 ‘R. Shapire’가 제안한 알고리듬이다. n개의 약 분류기를 선형적으로 결합한 형태로서 각각의 약 분류기마다

검출 능력이 다르며 이것을 하나의 강 분류기로 생성한다. 다음 그림 3.6은 Adaboost 알고리듬의 구조도를 나타낸다 [21]. 낮은 단계에서의 분류기는 가장 검출 능력이 좋은 분류기를 선정하며 처음 분류기가 검출한 데이터를 가중치를 변경하여 다음 분류기가 검출되지 않고 분류되지 않는 데이터를 검출하는 순차적 분류를 하게 된다. 마지막 분류기를 통해 데이터가 분류되면 그 결과에 따라서 임계값을 넘기면 물체를 인식하는 방법이며 기존의 다른 Boost 알고리듬보다 간단하고 효율적이면서 속도가 빠르다.

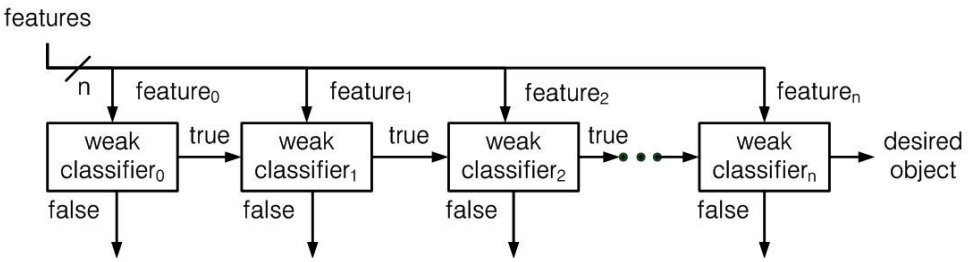


그림 3.6 Adaboost 구조도

약 분류기를 추출하는 단계는 다섯 단계로 이루어진다. 첫 번째는 현재 가중치를 이용하여서 정규화된 가중치를 얻는 것이고, 두 번째 단계에서는 가중치를 적용한 훈련 데이터에 약 분류기 알고리듬을 적용했을 때 작은 오류율이 생긴다는 가설을 생성한다. 세 번째 단계에서는 생성된 가설로 인해 발생하는 오류율을 계산하고, 네 번째 단계에서 이 계산하고 있는 오류율을 이용하여 가중치를 다시 적용하기 위해 사용되는 인자를 계산하게 된다. 다섯 번째 단계에서는 다시 반복할 단계에서 사용할 가중치를 갱신한다.

강 분류기의 출력 단계에서는 약 분류기 추출 단계에서 얻은 가설들을 조합하여서 최종 강 분류기를 생성한다.

C. IR 영상에서의 보행자 추적 기법

1. 적외선의 이론적 배경

적외선은 가시광선인 적색의 빛보다 파장이 긴 전자파로서 0.75~0.8μm에서 1mm 정도의 파장범위의 전자파이며 보통 IR로 표기한다. 적외선의 종류는 여러 가지이지만 보통 2.5μm 이하 범위의 빛을 근 적외선, 2.5~25μm 범위의 빛을 중간 적외선, 25μm 이상의 범위의 빛을 원 적외선이라 한다. 근 적외선은 햇빛이나 발열체로부터 방출되는 빛을 스펙트럼으로 분산시켰을 때 적색 스펙트럼의 끝보다 바깥쪽에 있는 것이 적외선이며, 이 가운데 파장이 가장 짧은 것이 근 적외선이고 파장이 제일 긴 것은 원 적외선이라고 한다.

다음 표 3.1은 근적외선 카메라와 원적외선 카메라의 구성과 장·단점을 비교한 표이다. 본 논문에서 제안하는 실험에서 사용하는 IR카메라는 근적외선 카메라이다. 또한 이를 이용하여 보행자를 추적하는 방법을 사용한다.

표 3.1 근적외선 카메라와 원적외선 카메라의 비교

구분	근적외선	원적외선
구성	· 카메라, ECU, IR Generator	· 카메라, ECU
장점	· 인간의 시야와 유사한 형상 · 저렴한 비용 · 생물체와 무생물체 감지	· 열로 감지하므로 발열 물체에 대한 감지 성능이 우수 · 긴 시야 거리 · 카메라로 들어오는 광량의 영향이 없음
단점	· 카메라로 들어오는 광량에 따라 빛 퍼짐현상 발생 · 짧은 시야 거리	· 비용이 비쌈 · 원하는 객체의 온도가 주변과 비슷하면 감지 성능의 감소 · 해상도가 낮음

2. 기존의 IR영상에서 보행자 추적 기법

기존의 IR영상에서 보행자를 추적하기 위한 방법들은 열 영상에서의 가시화를 돕거나 각각 다른 목적으로서 IR카메라의 센서를 이용한 방법들이 대다수를 차지한다. 적외선을 이용한 연구 중 최근 자동차관련으로 나이트비전에 많은 연구가 이루어지고 있다. 다음 그림 3.7은 나이트비전 시스템을 나타낸다.

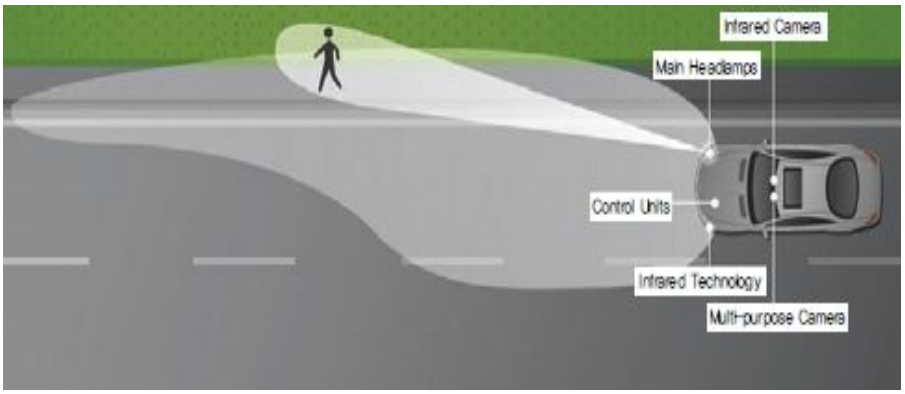


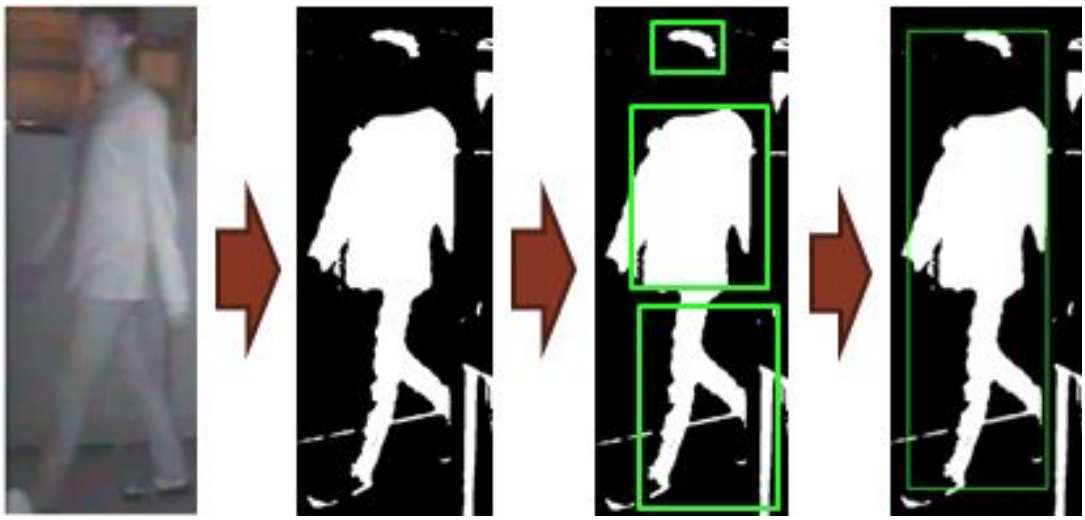
그림 3.7 나이트 비전 시스템 (출처: 메르세데스 벤츠)

나이트비전은 야간 주행시 운전자에게 개선된 시야를 제공해주기 위하여 적외선 영역을 이용하여 시야를 확보하는 기술을 말한다. 나이트비전을 응용한 스마트 나이트 비전 시스템은 확보된 시야를 기반으로 전방의 동물 및 보행자를 감지하여 운전자에게 주의를 줌과 동시에 충돌 예상시 후속조치가 가능한 신호를 차량에 보내주는 시스템을 말한다. 이러한 시스템은 IR영상에서 사람의 형상이 열 데이터를 가지고 있기 때문에 주변 환경의 열보다 높은 수치를 보이게 되고 이에 따라 높은 열 영상의 데이터 내에서 국부적인 열값의 존재를 확인하여 객체를 분할 할 수 있다.

IR카메라를 이용하여 객체를 탐지하는 방법은 5가지로 분류한다. 첫 번째로 광량을 이용한 빛이 나는 물체에 대한 탐지 기법, 두 번째는 적외선을 이용한 열 탐지 기법, 세 번째는 물체의 색을 통한 색 분포를 이용한 기법, 네 번째는 물체의 경계선을 추출한 인식 기법, 다섯 번째는 3차원 스캔을 통한 물체의 인식 기법이 있다. 본 논문에서는 물체의 경계선을 추출하여 인식하는 기법을 이용하여 Edge를 추출 윤곽선 정보를 이용하여 보행자의 영역을 추적하고자 한다.

3. 제안하는 IR영상에서 보행자 추적 기법

본 논문에서 제안하는 IR영상에서의 보행자 추적 방법은 물체의 Edge를 추출하여 그룹화를 이용하여 보행자 영역을 생성하는 방법이다. 다음 그림 3.8은 제안하는 IR영상에서 보행자 추적 방법을 나타낸다. 이 방법에서의 전제조건이 있는데 '보행자의 각각의 인체 부위는 촬영하고 있는 카메라와 같은 거리안에 존재한다' 라는 조건을 가진다. (a)의 IR영상을 밝은 부분은 더 밝게, 어두운 부분은 더 어둡게 명암을 조절한다. 그리고 (b)와 같이 이진화를 한 뒤에 (c)의 영상과 같이 이진화된 영상을 Edge 추출을 통하여 각각의 보행자 부위를 판별한다. 마지막으로 (d)의 영상과 같이 각각의 Edge를 그룹화하여 보행자의 영역을 생성한다.



(a) (b) (c) (d)

그림 3.8 IR 영상에서 보행자 추적 방법의 순서

IV. 실험결과 및 고찰

A. 실험 환경

본 논문에서 CCTV와 IR카메라를 융합한 적응적 보행자 추적 알고리듬을 실험하고 우수성을 알아보기 위해서 다음과 같은 환경에서 진행하였다.

Visual studio 2010을 이용하여 구현하였으며, 3.30GHz CPU가 장착된 컴퓨터를 이용하여 학습하였고 검출 및 추적 실험을 진행하였다.

1. 제안한 CCTV에서의 보행자 추적 알고리듬 실험 조건

제안한 알고리듬에서 CCTV영상에서의 보행자 추적을 위해 Haar-like 특징을 이용하였다. 이러한 특징들은 다양한 크기와 방향 그리고 회전에 대한 사각영역의 평균값의 차이로 계산된다. 다음 그림 4.1과 그림 4.2는 CCTV에서 입력받는 영상을 Haar-like 특징 추출을 통해 얼굴인식과 보행자 추출을 하기 위한 얼굴과 보행자의 학습 데이터를 나타낸다 [6].

(a) 얼굴 영상

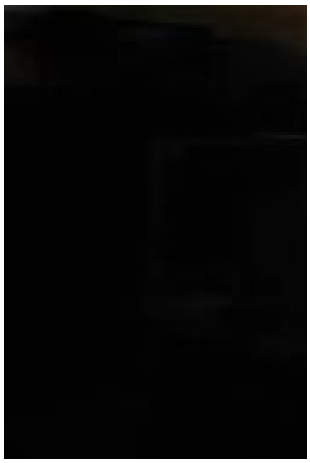
(b) 비얼굴 영상

그림 4.1 얼굴인식을 위한 Haar-like 특징 추출 학습 데이터의 예

(a)와 (b)의 각각 100개의 데이터는 각자 다양한 배경을 가지고 있고 또한 인체에서도 일부분만을 추가하여 Adaboost의 분류시에 특징을 추출할 때의 성능을 높였다 [6].

그림 4.2 보행자 인식을 위한 Haar-like 특징 추출 학습 데이터의 예

(a) 얼굴 영상 사진



(b) Body 영상 사진

그림 4.3 야간상황에서 빛이 없을 때의 영상

야간상황에서의 보행자 추적을 목표로 했지만 아주 어두운 상황에서는 영상을 촬영

할 때 보이지않는 경우가 생기기 때문에 빛의 강도를 조절하였다. 다음 그림 4.3은 CCTV로 야간상황에서 촬영할 때 문제점을 보여준다. (a)의 경우에는 CCTV로 촬영한 영상이다. 빛이 없기 때문에 영상에서 대상의 유무를 판별할 수 없게 되었다. 실험에 있어서 최소한의 빛이 들어올 수 있는 환경을 조건으로 한다. (b)의 경우에는 빛의 퍼짐현상으로 인하여 IR카메라에서 들어온 영상을 이진화하였을 때 영상 전체가 어둡게 변하여 대상을 인식하지 못하므로 이와 동일하게 IR카메라에는 빛의 세기를 최소화하는 조건을 준다.

2. IR카메라를 이용한 보행자 추적 알고리듬 실험 조건

IR카메라에서의 문제점으로는 화질이 CCTV에 비해 빛으로 인한 화질 저하 문제가 발생한다. 다음 그림 4.4 빛에 의한 IR카메라의 문제점을 보여준다. 빛이 강할 때 화면의 빛의 퍼짐현상이 발생하여 (a)의 경우처럼 몸이 부정확하게 나오거나, (b)의 경우처럼 다리가 정확하지 않게 나온다.

(a) (b)

그림 4.4 IR카메라로 촬영시 빛에 의해서 영상의 퍼짐현상

이러한 문제점을 해결하기 위해 환경조건으로 실외가 아닌 일정한 빛의 밝기를 가질 수 있는 실내에서 실험한다. 또한 IR카메라 중에 본 논문에서 실험에 사용하는 것은 근적외선 카메라로 시야가 짧다. 짧은 시야로 인하여 보행자의 판별유무가 불가피해지기 때문에 이에 대한 문제점을 해결하기 위해 가까운 근접거리에서의 촬영을 실행하였다. 다음 그림 4.5는 CCTV와 IR카메라의 먼 거리에서 촬영한 영상의 사진이다. (a)는

CCTV에서 촬영한 영상이고 (b)는 IR카메라에서 촬영된 영상이다. 동일한 거리에서 촬영했을 때 CCTV영상에 비해 IR카메라의 해상도가 떨어짐을 알 수 있다.

(a) CCTV 영상 사진

(b) IR 카메라 영상 사진

그림 4.5 CCTV와 IR카메라의 시야에 따른 화질 차이 비교

3. 보행자 검출 성능 지표

보행자 검출 알고리듬의 성능을 평가할 때 사용하는 성능지표는 다음 [표 4.1]과 같다.

표 4.1 보행자 검출 알고리듬의 성능 지표

구분	성능 지표
검출율	입력 데이터에 있는 전체 보행자들 중에서 성공적으로 검출된 보행자 비율
미검출율	입력 데이터에 있는 전체 보행자들 중 검출되지 못한 보행자의 비율
정확도	검출기가 검출한 결과들 중 정검출의 비율
오검출율	검출 결과 중 오검출의 비율
FPPW	입력 Window 1개당 평균 오검출 개수
FPPI	사진 1장당 평균 오검출 개수

성능 지표 계산을 위한 검출 결과의 성공과 실패의 유무 판단을 위한 기준이 필요하다. 이러한 검출성공 여부 기준으로 사용되는 방법으로 객체 탐지 기준이 있다. 이는 검출결과와 실제 검출되어야할 정보와의 공통부분이 50% 이상이면 성공, 50%이하면 실패로 결과가 나오는 방법이다.

B. 실험 및 결과

1. CCTV와 IR카메라의 융합을 통한 얼굴인식 실험 및 결과

CCTV와 IR카메라의 융합을 통한 얼굴인식을 위하여 실험용 영상으로 다음 그림4.6의 얼굴 영상을 이용하였다. 각 실험영상의 전제조건으로 (a)의 영상의 경우 얼굴의 식별이 가능할 정도의 빛을 주고, (b)의 경우에는 빛이 없는 상태이다.

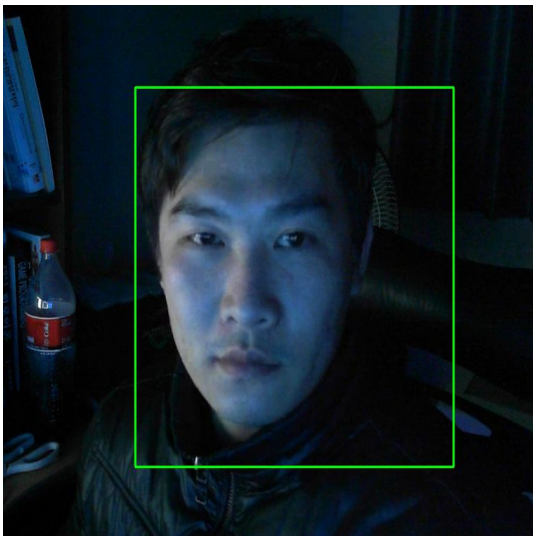
(a) CCTV 얼굴 영상

(b) IR카메라 얼굴 영상

그림 4.6 얼굴인식 실험에 사용할 데이터 영상

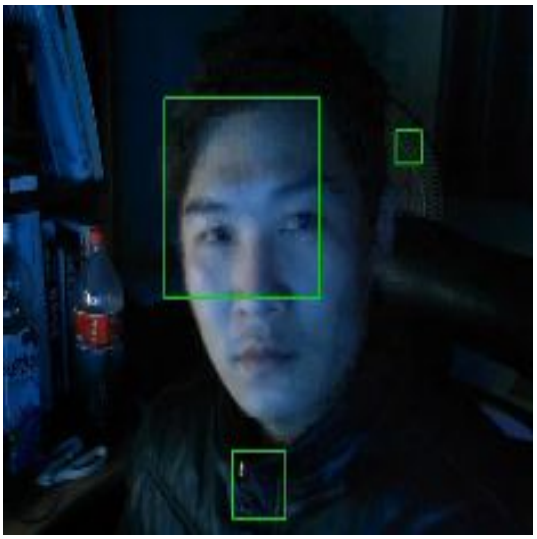
실험의 방법으로 CCTV의 영상은 Haar-like 특징 추출을 통한 Adaboost 분류를 통해 훈련 데이터를 기반으로 얼굴 영역을 추출하고 IR영상은 이진화 후 Edge 추출을 한뒤 차영상 정보를 통해 윤곽선 정보를 추출하여 얼굴 영역을 추출하였다.

다음 그림 4.7은 CCTV와 IR카메라에 실험용 영상을 이용하여 얼굴 영역을 추출한 결과를 성공과 실패의 경우로 나누어 나타낸다.



(a) CCTV 얼굴 영상(성공)

(b) IR카메라 얼굴 영상(성공)



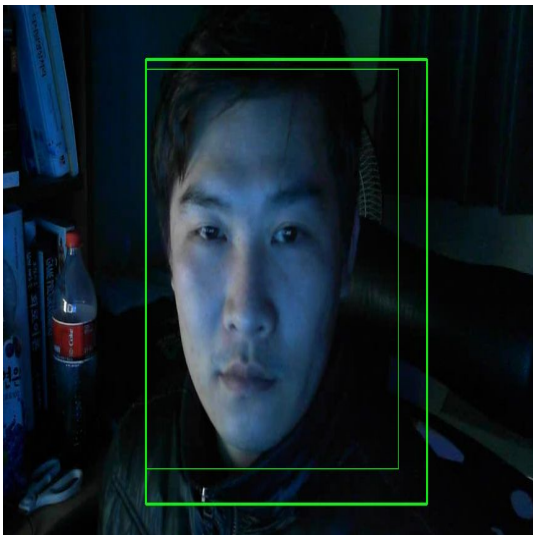
(c) CCTV 얼굴 영상(실패)

(d) IR카메라 얼굴 영상(실패)

그림 4.7 야간상황에서의 얼굴인식

(a)의 영상 사진과 같이 얼굴인식에 성공한 경우에는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 의해 새로운 얼굴인식 영역을 얻게 된다. (a)영상에서의 좌측 상단의 좌표 값은 A_1(580,186)이고 (b)영상에서의 좌측 상단의 좌표 값은 B_1(530,168) 이 두 개의 좌표 값의 평균은 P_1(555, 177)이 계산된다. P_1을 기준으로 사각형의 영역의 꼭지점들의 평균값을 산출하여 융합된 새로운 영역을 각각의 영상에 제공하게 된다. (c)의 경우에는 얼굴 영역이 아닌 부분과 얼굴영역임에도 정확하게 영역을 인식하지 못한 경우다. Haar-like 특징 추출방법은 이와같이 약간의 움직임에도 둔감하기 때문에 인식이 실패하는 경우가 많다. (d)의 경우에는 얼굴영역을 정확히 인식하였지만 그 외에 다른 부분도 인식하는 문제점이 발견되었다.

다음 그림 4.8은 융합된 얼굴인식의 결과를 나타낸다.



(a) CCTV 얼굴 영상 융합영역 생성

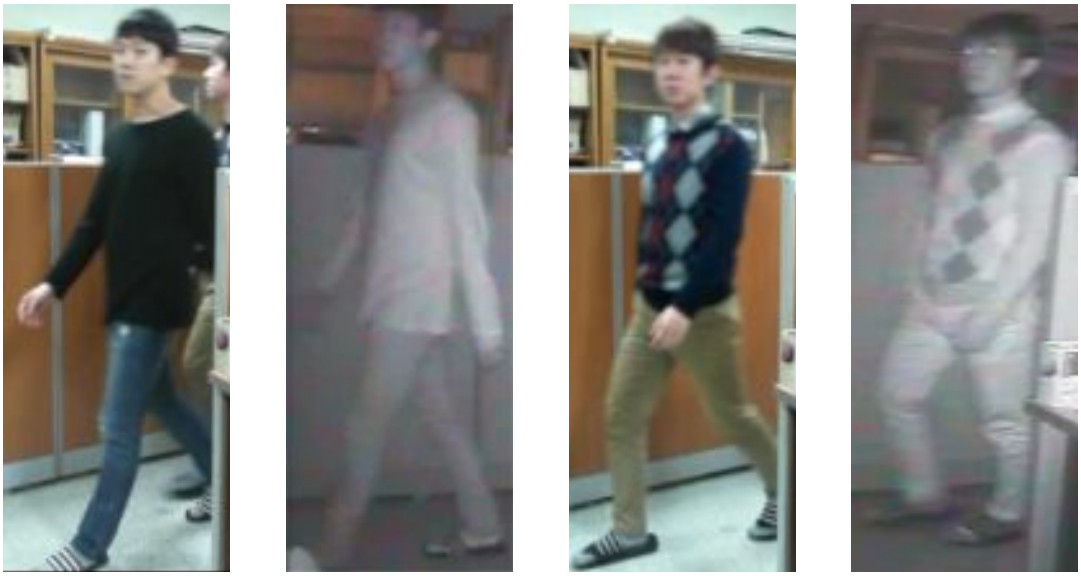
(b) IR 얼굴 영상 융합영역 생성

그림 4.8 실선으로 표현된 융합된 얼굴인식 영역

(a)와 (b)의 영상에서 두꺼운 녹색선 상자가 각각의 알고리듬으로 추출한 얼굴 영역이고 얇은 녹색선의 상자는 각각의 영역의 좌표 값의 평균을 추출하여 새로운 얼굴 영역을 생성한 것을 나타낸다.

2.CCTV와 IR카메라의 융합을 통한 보행자 인식 실험

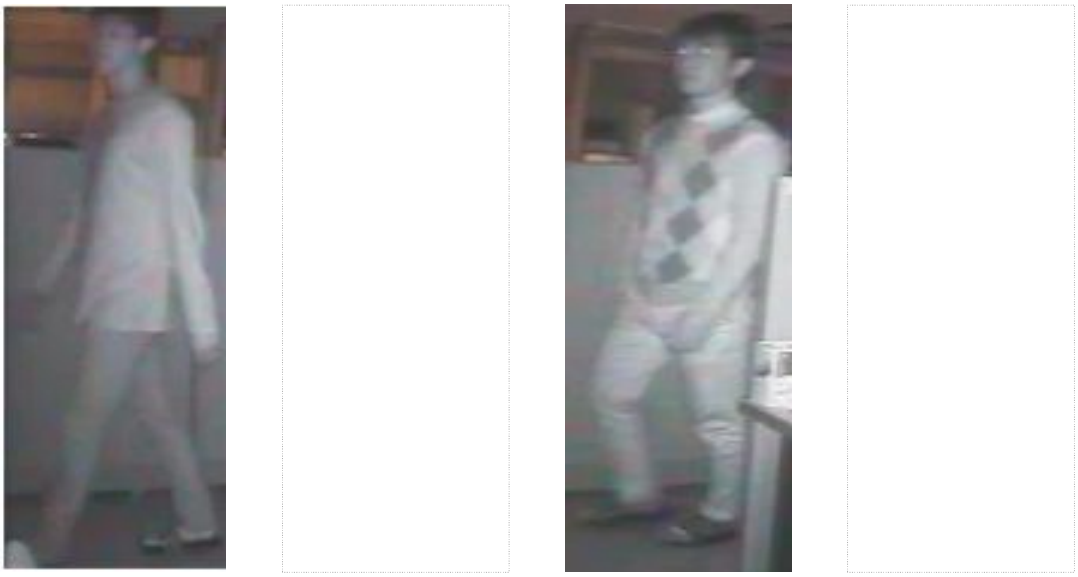
CCTV와 IR카메라의 융합을 통한 보행자 인식을 하기 위해서 각각의 CCTV와 IR카메라에서의 보행자 추적을 실험하였다. CCTV에서의 보행자 추적 실험에는 공개된 보행자 검출 데이터들을 모아 Adaboost 알고리듬으로 훈련하였다. 다음 그림 4.9는 보행자 추적 실험을 위한 실험 영상을 나타낸다.



(a)CCTV영상 (b)IR영상 (c)CCTV영상 (d)IR영상

그림 4.9 보행자 추적을 위한 실험 영상

다음 그림 4.10은 IR카메라의 영상의 이진화를 나타낸다. 이진화된 영상에서 보행자의 Edge를 추출하고 추출된 Edge를 그룹화시켜서 사각형의 블록영역으로 보행자 영역을 생성한다. (a)와 (c)영상은 IR영상으로 이 영상을 이진화를 하였을 때 영상이 (c)와 (d)의 결과가 생성되었다. 이진화를 할 때 임계값은 0~255중 70을 주었다.



(a) IR영상 (b) (a)의 이진화 (c) IR영상 (d) (c)의 이진화

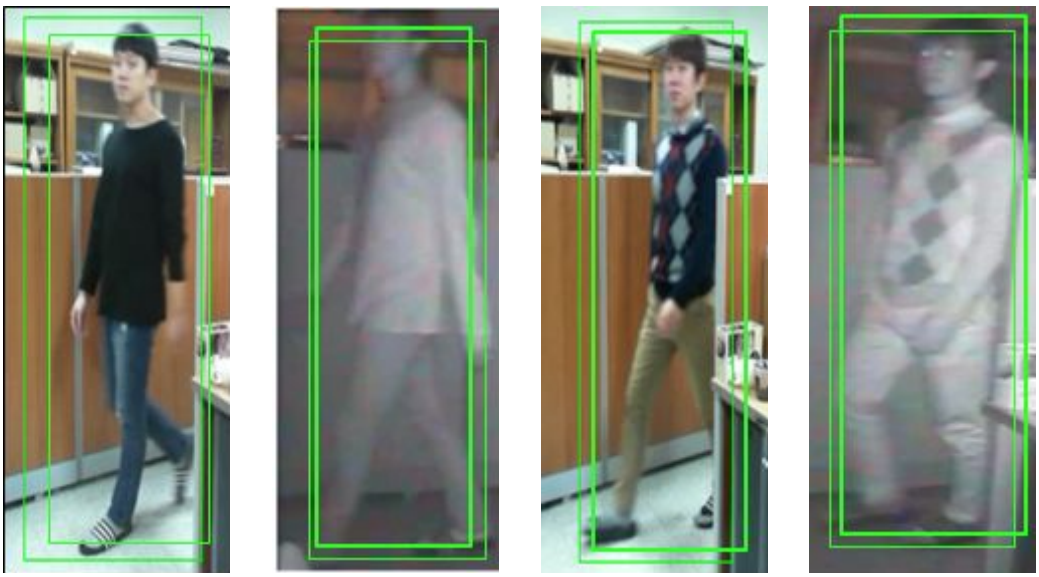
그림 4.10 IR카메라 영상을 이진화

(a)CCTV영상 (b)IR영상 (c)CCTV영상 (d)IR영상

그림 4.11 CCTV와 IR카메라의 보행자 추적 결과

그림 4.11은 각각의 보행자 추적 알고리듬을 이용하여 보행자를 추적한 결과를 나타낸다. (a)와 (b)는 CCTV에서 Haar-like 특징 추출을 통한 보행자 추적 영역이며, (c)와 (d)의 경우 IR카메라 보행자 추적 알고리듬의 영상에서 윤곽선의 최외각을 기준으로 보행자 영역이 생성됨을 알 수 있다. 다음 그림 4.12는 본 논문에서 제안한 CCTV와 IR카메라의 융합된 보행자 추적 결과이다. (a)와 (c)는 CCTV영상으로 각각 (b)와 (d)의 IR영상과 본 논문에서 제안한 융합된 적응적 보행자 추적 알고리듬을 이용하여 영상에서 새로운 보행자 영역이 생성되었다.

그림 4.11에서 각각의 알고리듬으로 추적하여 생성된 보행자의 영역을 기준으로 각각 영상의 좌표 값의 평균값을 이용하여 새로운 융합된 보행자 영역을 생성되었다.



(a)CCTV영상 (b)IR영상 (c)CCTV영상 (d)IR영상

그림 4.12 CCTV와 IR카메라의 융합된 보행자 추적 결과

3.기존의 보행자 추적 방법과 제안한 보행자 추적 방법의 비교

본 논문에서 제안한 융합된 보행자 추적 방법에 대한 성능 개선에 대한 성능 테스트를 위해 기존의 보행자 추적 방법과 다음의 표4.2와 같이 검출율을 가지고 성능 비교를 하였다. 테스트를 위해 주간과 야간으로 나누어 초당 30프레임의 영상을 10초간

촬영한 영상을 사용하였으며, 전체 프레임의 수는 주간과 야간 각각 300프레임이고 CCTV영상의 경우 Haar-like 특징 추출을 이용한 보행자 추적 알고리듬을 사용하였고, IR영상은 윤곽선을 이용한 보행자 추적 알고리듬, CCTV+IR의 경우는 본 논문에서 제안한 융합된 알고리듬을 사용한 결과이다.

표 4.2 보행자 검출 성능 비교

구분	CCTV		IR		CCTV+IR	
	주간	야간	주간	야간	주간	야간
전체 frame수	300	300	300	300	300	300
성공 frame수	258	53	71	287	276	291
실패 frame수	42	247	229	13	24	9
성공률(%)	86	17.6	23.6	95.6	92	97

주간과 야간은 빛이 있는 상황과 없는 상황을 기준으로 하였다. 성공은 보행자를 정확하게 영역으로 감싼 결과이고, 실패의 경우 다른 대상을 영역 지정하거나 또는 영역 범위가 보행자를 감싸지 못한 경우로 판단하였다.

결과적으로 주간의 경우에는 CCTV영상에서 보행자 검출에 비해 6%의 성능 개선을 보이고 IR영상에서의 보행자 검출에 비해서는 68.4%라는 높은 수치의 성능 개선이 이루어졌다. 야간은 CCTV영상에서 보행자 검출에 비해 79.4%의 성능 개선이 이루어졌고 IR영상에서의 보행자 검출의 경우에는 1.4%의 성능이 향상되었다.

V. 결론

본 논문에서 제안된 CCTV와 IR카메라를 융합한 적응적 보행자 추적 알고리듬은 기존의 Haar-like feature를 이용한 Adaboost 알고리듬과, 윤곽선 기반의 보행자 추출 알고리듬을 사용하였으며, 이를 융합하여 CCTV와 IR카메라의 단점을 서로의 장점으로 개선하고자 하였다. 실험을 위한 전제조건으로 동일한 시점에서 동시에 촬영된 영상을 사용하였고, 또한 IR카메라에서의 보행자 추적을 위한 전제조건으로 '보행자의 각각의 인체 부위는 촬영하고 있는 카메라와 같은 거리안에 존재한다'라는 조건을 가진다.

일반적으로 CCTV에서의 보행자 추적의 경우 Haar-like feature는 대상의 노이즈나 움직임에 둔하여 대상을 놓치거나 추적에 실패하는 경우가 많다. 또한 밝은 낮이 아닌 어두운 밤이 되면 대상을 찾지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 IR카메라를 이용하여 개선하여 주간에는 6%, 야간에는 68.4%의 성능을 향상시켰고 IR카메라의 경우 화질이 CCTV에 비해 떨어지고 짧은 시야를 가진 근적외선 카메라이기에 대상의 판별유무가 쉽지 않은 점을 CCTV에서의 보행자 추적 기술을 이용하여 주간에는 79.4%, 야간에는 1.4%의 성능이 향상되었다.

본 논문에서는 단일 얼굴 및 보행자에 대한 학습을 실시하고 실험하였다. 향후 연구과제로 Haar-like feature의 학습데이터를 좀 더 많은 데이터를 축적하여 더 정확하게 보행자를 인식할 것이다. 또한 IR카메라의 보행자 추적 방법을 윤곽선 기반이 아닌 히스토그램 기반으로 추적하는 방안으로 연구하여 다중의 보행자를 인식하는 방안을 연구하려고 한다. 그 외적으로 최근 많이 사용하는 CCTV에서의 추적 알고리듬으로 HOG 알고리듬이 많이 쓰이고 있는데 다음에 기회가 된다면 이에 대한 연구도 진행할 예정이다.

참고 문헌

[1] P.Viola and M.J.Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," In Proc, of CVPR 2003.

[2] N.Dalal and B.Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," In Proc, of CVPR 2005.

[3] Q.Zhu, M.C.Yeh, K.T.Cheng and S.Avidan, "Fast human detection using a cascade of histograms of oriented gradients," In Proc, of CVPR 2006.

[4] P.Dollar, C.Wojek, B.Schiele and P.Perona, "Pedestrian detection: An evaluation of the state of the art," IEEE Trans. on Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence(PAMI), 2012.

[5] C.Zhu, X.Lin and L.P.Chau, "Hexagon-based search pattern for fast block motion estimation," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.12, No.5, pp.349-355, 2002.

[6] K. C Yow and R. Cipolla, "Feature-Based Human Face Detection," Image and Vision Computing, vol. 15, no. 9, pp. 713-735, 1997.

[7] I. Craw, D. Tock and A. Bennett, "Finding Face Feature," Proc. Second European Conf. Computer Vision, pp. 92-96, 1992.

[8] P.Viola, M.J.Jones and D.Snow, "Detecting Pedestrians using Patterns of Motion and Appearance," In Proc, of IEEE International Confereence on Computer Vision, vol.2, pp. 734-741, 2003.

[9] E. E. Osuna, R. Freund and F. Girosi, "Support vector machines: Training and applications", AI Memo 1602, AI Lab, Massachusetts Institude of Technology, March 1997.

[10] P. Viola and M.J. Jones, "Robust real-time object detection", Technical Report Series, Compaq Cambridge research Laboratory, CRL 2001/01, Feb. 2001.

[11] A. Yuille, P. Hallinan and D. Cohen, "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates", Int. J. of Computer Vision, vol.8, no.2, pp.99-111, 1992.

[12] M. Turk and A. Pentland, "Face Recognition Using Eigenfaces," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.586-591, 1991.

[13] S. M. Yoon and H. W. Kim, "Real-time multiple people detection using skin color, motion and appearance information," In Proc. of the 2004 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp. 331-334. 2004.

[14] Y. Zhang, S. J. Kiselewich, A. Bauson and R. Hammoud, "Robust Moving Object Detection at Distance in the Visible Spectrum and Beyond using a Moving Camera," In Proc. the 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, pp.131-138, 2006.

[15] R. Okada, Y. Shirai and J. Miura, "Object Tracking Based on Optical Flow and Depth," Proc. IEEE/SICE/RSJ International Conference on Multisensor Fusion and Intergration for Intelligent System, pp. 565-571, 1996.

[16] Y. Kuno, T. Watanabe, Y. Shimosakoda and S. Nakagawa, "Automated detection of human for visual surveillance system," in Proc. International Conference Pattern Recognition, pp. 865-869, 1996.

[17] S. Mckenna, S. Jabri, Z. Duric, A. Rosenfeld and H. Wechsler, "Tracking Groups of People," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 80, No. 1, pp. 42-56, 2000.

[18] N. Paragios and R. Deriche, "Geodesic active contours and level sets for the detection and tracking of moving objects," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22. PP. 266-280, 2000.

[19] N. Peterfreund, "Robust tracking of position and velocity with Kalman snakes," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22. pp. 564-569, 2000.

[20] T. N. Tan, G. D. Sullivan and K. D. Baker, "Model-based localization and recognition of road vehicles," International Journal Computer Vision, Vol. 29, No. 1, pp. 22-25, 1998.

[21] Y. Freund and R. Shapire, "A Short Introduction to Boosting," Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, vol. 14, pp. 771-780, 1999.