

무인비행체를 이용한 영상 기반 지능형 순찰 시스템

김도현[†], 김정은^{**}, 송지학^{***}, 신용준^{****}, 황성수^{*****}

Image-based Intelligent Surveillance System Using Unmanned Aircraft

Do Hyun Kim[†], Jung Eun Kim^{**}, Ji Hag Song^{***},
Yong Jun Shin^{****}, Sung Soo Hwang^{*****}

ABSTRACT

Necessity of security reinforcement has been increased these days. As a result, surveillance systems using CCTV and the patrol system by person have been applied to security zone. However, CCTV has a blind spot and CCTV itself cannot handle emergency situation. Patrol system by person is economically expensive. To overcome these disadvantages, this paper presents an image-based surveillance system using unmanned aircraft. As a default, unmanned aircraft traces lines installed on ground which represents path for patrolling. If the aircraft detects objects, then it keeps a constant distance between object without missing the object in the image. Simulation results show that the proposed system can be operated even with unmanned aircraft with low specification.

Key words: Intelligent Surveillance System, Unmanned Aircraft, Image-based, Security Zone

1. 서 론

최근 사생활 보호나 개인 정보 보호에 대한 필요성이 높아짐에 따라 보안 구역 순찰 시스템에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 기존에 제안된 보안시스템으로는 CCTV를 활용하거나 순찰 요원을 활용하는 방법이 있다. 하지만 보안시스템에 대한 기댓값이 높아지면서 추가적인 CCTV나 센서를 이용하여 보다 더 정밀한 보안 시스템이 제안되고 있다. CCTV의

경우 설치가 용이하고 간단하지만 사각지대가 존재하고 시야가 고정되어 있어 효율적인 순찰이 불가능하다. 또한 실제로 침입자가 나타났을 경우 순찰 요원이 현장에 출동하기까지 능동적 대처가 불가능하다는 단점이 있다. 순찰 요원을 활용하는 경우 매우 정교하고 능동적 대처가 가능하지만 노동력에 의한 높은 유지비가 요구된다. 이 두 가지 경우를 모두 활용하는 시스템도 제안되고 있으나 여전히 비상시에 순찰 요원이 현장에 출동하기까지 소요되는 시간동

* Corresponding Author : Sung Soo Hwang, Address: (37554) Handong-ro 558, Buk-gu, Pohang, Korea, TEL : +82-54-260-1864, FAX : +82-54-260-1976, E-mail : sshwang@handong.edu

Receipt date : Sep. 13, 2016, Revision date : Nov. 8, 2016
Approval date : Nov. 24, 2016

[†] School of Computer Science and Electronic Engineering, Handong Global University (E-mail : 21300080@handong.edu)

^{**} School of Computer Science and Electronic Engineering, Handong Global University (E-mail : 21300169@handong.edu)

^{***} School of Computer Science and Electronic Engineering, Handong Global University (E-mail : 21000380@handong.edu)

^{****} School of Computer Science and Electronic Engineering, Handong Global University (E-mail : 21300408@handong.edu)

^{*****} School of Computer Science and Electronic Engineering, Handong Global University

안 능동적 대처가 불가능하다는 한계점이 있다.

이를 보완하기 위해 보안업체들이 무인비행체를 이용한 보안 및 순찰 시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다[1-2]. 이는 순찰요원만을 통한 순찰시스템에 비해 덜 정교하며 능동적 대처가 가능한 상황의 경우의 수가 제한적이지만 노동력에 의한 유지비가 훨씬 저렴하고 실시간으로 비상 상황을 모니터링할 수 있다는 점에서 필요한 순찰시스템이다.

이러한 무인비행체를 활용한 순찰 시스템이 활성화되기 위해서는 저사양의 무인비행체도 순찰 시스템에 적용이 가능해야 한다. 따라서 본 논문에서는 저사양의 무인비행체를 이용한 영상 기반 지능형 감시 시스템을 제안한다. 시중에 존재하는 무인비행체는 기본적으로 전방카메라와 하방카메라, 가속도 센서, 자이로 센서, 지자계 센서 등이 탑재되어 있다. 이 중 전방카메라와 하방카메라, 지자계 센서만을 이용한 시스템을 제안함으로써 시중에 존재하는 기본적인 무인비행체에 적용할 수 있다는 장점이 있다.

제안하는 순찰 시스템에 적용되는 무인비행체는 기본적으로는 하방 카메라를 통해 설치한 회선을 경로로 인식하여 경로 비행을 한다. 이 때 특정 주기마다 전방 카메라를 통해 이상 객체가 있는지 확인한다. 만약 순찰 도중 이상 객체가 검출된다면 이상 객체를 순찰요원이 현장으로 출동할 때까지 추적한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 감시 시스템과 무인비행체 제어 기법에 대해서 설명한다. 3장에서는 제안 시스템에 대해 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 나타내고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존에 제안된 감시 시스템으로는 CCTV를 이용하여 움직이는 물체를 추적하는 기법이 제안되었다[3-4]. 다수의 네트워크 카메라를 이용하여 움직이는 물체의 이동방향을 추정하고 협동 추적하는 방법이 제안되었다[3]. 건물 내의 CCTV 영상들을 이용하여 실내 입체 영상지도를 만들어 감시하는 시스템도 제안되었다[4]. 하지만 사각지대와 거리가 멀기 때문에 정확하지 않다는 단점이 있다.

고정되어 있는 카메라가 아닌 바퀴가 달린 주행로봇을 이용한 순찰 시스템도 제안되었다[5-8]. 설치한 표지판을 인식하여 로봇의 이동방향을 결정하며 순

찰하는 감시시스템이 제안되었다[5]. 또한 위치인식 센서와 초음파 센서 및 적외선 센서 등을 이용하여 비상상황에 대처할 수 있는 로봇도 제안되었다[6]. 영상에서의 사람 검출과 함께 음원 추적으로 객체의 방향을 파악하는 방법으로 주행 로봇의 무인 감시 시스템에 적용한 사례도 있다[7]. 그리고 캘리브레이션되지 않은 카메라로 무인비행체를 촬영하고 해당 영상을 이용하여 무인비행체를 제어하는 기법이 제안되었다[8]. 하지만 움직임을 방해하는 장애물에 쉽게 영향을 받으며 센서들을 추가적으로 부착해야 되는 특징이 있다.

무인비행체에 적외선 센서나 라이다 센서를 추가적으로 부착하여 물체를 추적하는 시스템 또한 제안되었다[9-10]. 무인비행체에 짐벌카메라를 장착하여 이동물체 인식 및 추적하는 기법도 제안되었다[11]. 또한 무인비행체에 키넥트 카메라를 부착하여 사람의 자세에 따라 제어하는 기법이 제안되었다[12]. 이러한 방식들은 무인비행체 제어를 위해 추가적인 센서나 장치의 장착이 필요하다는 단점이 있다.

이 외에도 무인비행체의 단일 카메라로 수신된 영상을 HOG알고리즘 혹은, SVM을 이용하여 색상의 차이, 목표물의 움직임의 차이를 어느 정도 배제시키며 사람을 추적하는 기법이 제안되었다[13].

3. 제안 시스템

3.1 제안 시스템의 개요

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 순찰 시스템의 개요를 나타낸다. 제안하는 시스템은 크게 순찰 모드와 객체 추적 모드로 구성되어있다. 순찰 모드에서는 하방카메라를 활용하여 경로 주행을 수행한다. 경로 주행은 사전에 바닥에 부착된 선을 검출하는 방식을 통해 이루어지며, 검출된 선의 영상 내 위치에 따라 무인비행체의 움직임을 제어한다. 객체 추적 모드에서는 전방카메라를 통해 객체를 검출하고, 객체와 무인비행체가 일정한 위치를 유지할 수 있도록 무인비행체를 제어한다.

일반적인 무인비행체는 세 개의 축(x, y, z)을 기준으로 비행하고 이를 각각, roll, pitch, yaw축이라고 한다. 이 세 축에 가속도 센서와 자이로 센서가 존재하고 무인비행체의 하방에는 초음파 센서가 있어 비행 높이를 알 수 있다. 이 센서들에게서 정보를 얻어와

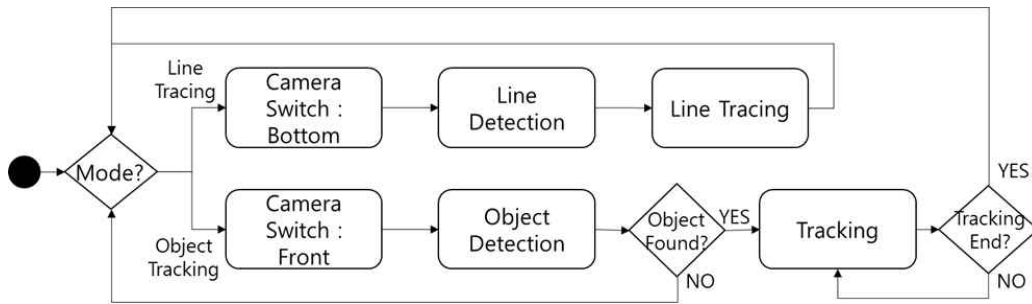


Fig. 1. System flow of the proposing system.

비행에 필요한 정보를 획득한다. 무인비행체의 실제 움직임 명령은 x, y, z, r 축으로의 가속도로 표현된다. 본 논문에서는 각 축의 가속도를 각각 a_x, a_y, a_z, a_r 라고 표현하며, 양수의 a_x 은 무인비행체의 전진, 양수의 a_y 는 왼쪽으로의 기울임, 양수의 a_r 은 왼쪽으로 회전, 양수의 a_z 는 상승의 움직임을 나타낸다.

3.2 순찰 모드

순찰 모드는 무인비행체의 하방카메라를 이용하여 크게 바닥에 설치한 회선 검출과 검출한 회선을 따른 경로 비행으로 구성된다. 회선을 검출하는 과정은 Fig. 2의 과정과 같다. 무인비행체가 순찰하고자 하는 경로에 회선을 설치한다. 설치한 회선의 색에 따라 문턱치 처리를 수행한 후 캐니 연산을 통해 에지 영상을 획득한다. 문턱치 값은 설치하는 회선의 색에 맞는 값을 실험적으로 찾아 설정한다. 에지 영상에 대해 허프 변환을 하여 라인들을 검출한다. 검출된 여러 개의 직선의 양 끝점 좌표 값의 평균을 내어 하나의 직선으로 만들고 그 직선을 경로로 인식하여 주행한다.

순찰 모드는 3가지 정보를 활용한 동작을 수행한다. 영상 내 회선의 좌표를 이용한 좌우 보정, 무인비행체와 회선간의 위치 관계, 회선의 기울기를 이용한

회전 보정을 수행한다.

Fig. 2에서와 같이 회선이 인식되면, 영상 내 회선의 위치에 따라 무인비행체 위치의 오차 값을 계산하여 무인비행체를 제어한다. 일반적으로 무인비행체의 하방 카메라 화각은 좁기 때문에 영상 내 회선의 위치 변화는 무인비행체의 움직임에 대해 민감하다. 따라서 Fig. 3 (a)와 같이 영상 중앙에 데드존을 설정한다. 무인비행체의 회선 위에 위치하게 하는 보정 움직임을 최소화하기 위해 영상 데드존 내에 회선이 검출될 경우에는 기본적으로 전진하여 경로 비행에 어려움이 없도록 한다. 무인비행체 위치의 오차는 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$Error = Center_x(Line) - Center_x(Img) \quad (1)$$

여기서 $Center_x(Line)$ 는 검출한 회선 중점의 x좌표, $Center_x(Img)$ 는 영상 중점의 x좌표를 의미한다. 무인비행체는 계산된 오차 값의 크기에 따라 다른 움직임을 가진다. 오차 값이 데드존에 해당하는 문턱치 값 이하일 경우 양의 a_x 값을 통해 경로를 따라 직진 비행을 한다. 오차 값이 문턱치 값을 넘어서는 경우 a_x 값을 0으로 하고 영상 내에서 선이 왼쪽으로 벗어났다면 a_y 값을 양수, 오른쪽으로 벗어났다면 a_y 값을 음수 값을 입력하여 좌우에 대한 보정을 실시하여 선이 데드존 내에 위치하도록 보정한다. 데드존에

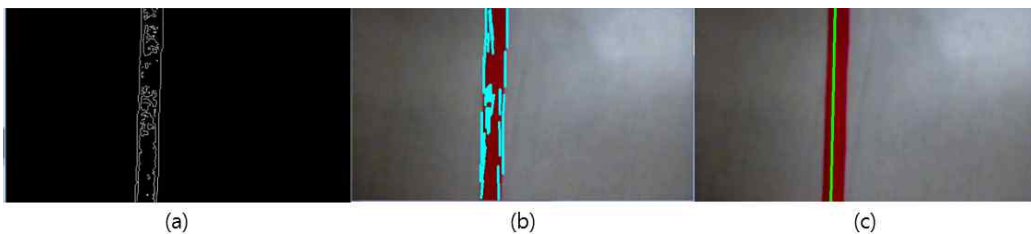


Fig. 2. (a) Canny Transform (b) Hough Transform (c) Result.

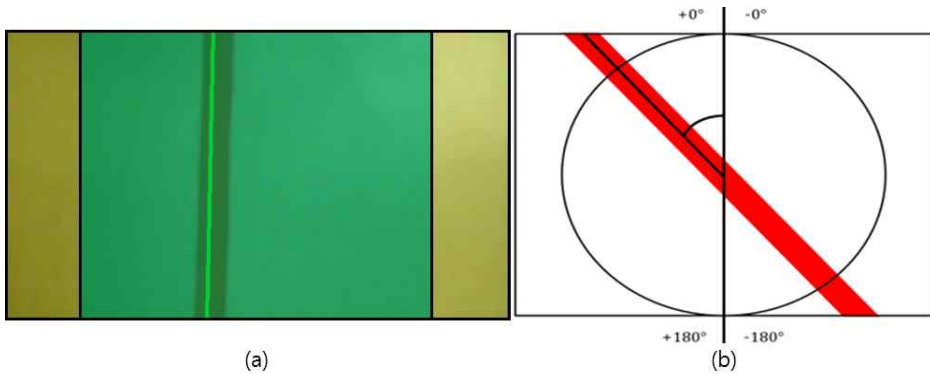


Fig. 3. (a) The middle green rectangle represents dead zone for forward movement and both outsides of yellow rectangles represent correction zone for left or right movement (b) an R axis of unmanned aircraft

해당하는 문턱치 값은 실험적으로 가장 무인비행체의 움직임이 좋은 값을 찾아 적용한다. 또한 무인비행체가 회선을 따라 비행할 때 바람 및 기타 요인으로 인해 예상치 못한 움직임을 보여 회선과 거리가 멀어지는 경우가 발생한다. 이를 위해 무인비행체로부터 받아오는 영상의 중심을 기준으로 회선이 좌우 어느 위치에 있는 지를 매 프레임마다 저장한다. 이렇게 하면 영상의 중심을 기준으로 회선이 왼쪽에 있는지 오른쪽에 있는지에 대한 정보를 획득할 수 있다. 영상 내 회선이 존재하지 않는 경우, 즉 무인비행체가 경로를 완전히 벗어나서 영상 내에 경로가 검출 되지 않으면, 회선의 좌표 정보를 영상의 좌우 끝 좌표로 저장하여 오차 값을 최대화 시킨다. 이 회선의 좌우 정보를 이용하여 무인비행체가 다시 회선 위에 오도록 좌우 방향으로 보정한다. 수식 (2)는 매 프레임 저장되는 경향의 값을 나타내는 식이다.

$$Tendency = \begin{cases} Left_x(Img) & \text{if } Center_x(Line) < Center_x(Img) \\ Right_x(Img) & \text{if } Center_x(Line) > Center_x(Img) \end{cases} \quad (2)$$

무인비행체가 데드존 내에서 양수의 a_r 값을 갖고 경로 비행을 하는 과정에서 회선의 기울기 정보를 이용하여 회전에 대한 보정을 수행한다. 이를 위하여 영상 내 검출된 회선과 무인비행체의 직진 방향의 각도 차를 계산하여, a_r 값을 설정한다. 영상 내 회선의 기울기는 선의 양끝 좌표를 이용하여 계산하며, 이는 영상 내 중앙수직선을 기준으로 -90° 에서 90° 사이의 각도 값을 갖는다. 그러나 이는 경로가 바뀌더라도 무인비행체의 방향성을 반영하지 않는다. 예를 들어 실제로 동쪽과 서쪽을 잇는 회선이 영상 내

에서 위, 아래로 이어지는 선으로 보이는 경우, 좌표를 이용한 기울기로 표현하면 단순히 90° 의 값을 갖는다. 이와 대조하여 많은 무인비행체의 지자계 센서는 무인비행체의 전방카메라가 바라보는 곳을 기준으로 나침반식의 방향성을 나타내므로 r 축의 값을 절대적인 방향성을 가진다. 그러므로 r 축의 값으로 위의 선을 표현하면 동쪽 또는 서쪽을 의미하는 두 가지 값을 갖는다. 따라서 방향을 고려한 제어를 위해서 무인비행체의 r 축의 값을 활용한다.

이러한 무인비행체의 r 축의 값을 절대적 기준으로 하여 영상 내 검출된 회선의 값을 계산한다. 즉, 무인비행체를 기준으로 경로의 절대적 r 축의 값을 알아내어 경로의 r 축의 값에 도달할 때까지 무인비행체의 a_r 값을 설정하여 제어한다. 이 때, 회전되는 방향은 회전각이 작은 방향으로 결정된다. 결과적으로 상대적인 경로의 기울기에 방향성을 부여하여 회전하도록 한다. 영상 내에 보이는 경로의 기울기를 $Degree_{Line} (-90^\circ \sim 90^\circ)$, 무인비행체가 향하는 방향 즉 r 축의 값을 $R_{drone} (-180^\circ \sim 180^\circ)$, 이 두 정보를 통하여 경로에 방향성을 준 경로의 실제 방향을 $R_{Line} (-180^\circ \sim 180^\circ)$ 이라 할 때 다음과 같다.

$$R_{Line} = \begin{cases} (((R_{drone} + 270) - Degree_{Line}) \bmod 360) - 180 & \text{if } Degree_{Line} > 0 \\ (((R_{drone} + 450) - Degree_{Line}) \bmod 360) - 180 & \text{if } Degree_{Line} < 0 \end{cases} \quad (3)$$

위 수식 (3)을 통해 회선의 방향성을 계산하고 회선의 방향과 무인비행체의 방향이 일치하도록 회전하도록 한다.

3.3 객체 추적 모드

객체 추적 기능은 무인비행체의 전방카메라를 이용하여 순찰 기능 도중 객체 검출 조건이 성립된 이후 수행되는 모드이다. 해당 객체를 추적하는 과정에서 객체를 인식하는 객체 검출과 인식한 객체와의 위치관계 보정으로 이루어진다.

객체 검출은 참고문헌 [14]에서 제안한 Histogram of Gradient(HOG) 기반 알고리즘을 활용하였다. HOG 알고리즘을 이용해 특정 물체의 그래디언트에 대한 특징을 미리 학습시켜 놓고 영상에서 학습된 특징과 비슷한 특징을 가진 영역을 찾아낸다. 각 픽셀에 대한 그래디언트를 계산하고 블록별로 미리 학습된 찾고자 하는 물체의 그래디언트 특징과 비교하여 대상을 찾는다. HOG 알고리즘은 계산량이 많기 때문에 Region Of Interest(ROI) 설정을 통해 계산량을 최소화하고, 보다 더 정확한 객체 검출을 수행한다. 짧은 시간 내에는 검출 되는 객체의 크기가 급격하게 변할 수 없고, 객체의 움직임 또한 제한적이므로 추적 과정에 있어 다음 프레임에 존재하는 객체의 위치 후보를 만들 수 있다. 현재 프레임에 검출된 객체 주변에 관심 영역을 설정한다. 이와 같이 관심 영역을 설정하면 그 다음 프레임에서 HOG 알고리즘을 적용하는 관심 영역의 크기가 작으므로 계산량이 줄어들며, 설정한 ROI 외의 영역에서 오검출되는 결과들을 제외할 수 있다.

본 시스템의 객체 추적은 무인비행체와 객체와의 거리가 일정하고 객체를 영상의 중심에 있도록 무인비행체를 조정하는 것을 기본으로 한다. 객체와의 거리를 조절하기 위해 검출된 객체의 크기를 이용하여 a_x 값을 결정한다. 영상 내 객체 위치는 영상 내에서 객체의 위치와 영상의 중심 위치 차를 기준으로 조정한다. 또한 객체가 영상의 중심에 있도록 a_r 값을 설정하여 무인비행체를 조정한다.

객체와의 거리를 일정하게 유지하기 위해서는 객체를 놓치지 말아야 한다. HOG 알고리즘을 통한 객체 검출이 가능한 거리를 유지해야 한다. 객체가 검출되는 범위에 객체가 있어야 하므로 HOG 알고리즘으로 사람이 검출되는 거리 범위의 평균을 적정 거리로 설정하고 그 값을 기준으로 a_r 값을 결정한다. 객체의 가로 길이가 적정 범위 사이에 있도록 다음과 같은 식을 적용한다.

$$a_x = \left(\frac{Width_{Object} - Fit\ Width_{Object}}{\alpha} \right) \times \beta \tag{4}$$

$Width_{Object}$ 는 객체의 가로 길이, $Fit\ Width_{Object}$ 는 무인비행체와 객체 사이의 적정 거리에 있을 때의 객체 가로 길이이다. 수식 (4)에서와 같이 객체 가로 길이에서 기준 가로 길이를 뺀 후 특정 값으로 간격을 나누어 상수를 곱한다. 거리가 더 멀 경우에 더 높은 가속도 명령이 입력되기 때문에 더 빠르게 이상적인 거리에 도달할 수 있다. 또한 α 값을 변화시킴으로써 더 민첩하고 정확한 움직임을 낼 수 있도록 한다. 객체가 무인비행체와 적정거리보다 더 가까이 있을 때는 α 값을 높게 설정하여 기준 거리사이의 구간 개수를 늘려 객체와의 거리를 효과적으로 조절한다. 이때, 객체의 비율이 일정하므로 객체의 신체 크기에 따라 무인비행체 객체를 찾을 수 있는 범위가 다를 수 있다.

$$a_r = (X_{Center} - X_{Object}) \times \gamma \tag{5}$$

무인비행체의 a_r 값 제어는 Fig. 4 (c)에서와 같이 무인비행체 영상 내에서 객체의 위치가 영상의 중심에 올 수 있도록 하며 값은 수식 (5)와 같이 연산된다. 여기서 X_{Center} 는 영상의 중점 x좌표, X_{Object} 는 영상 내 객체의 중심 x좌표이며 이 두 값을 이용해 a_r 값을 결정한다. 객체의 중심 x좌표 값을 X_{Center} 로 맞출 수 있도록 a_r 값을 설정하여 무인비행체의 회전 속도를

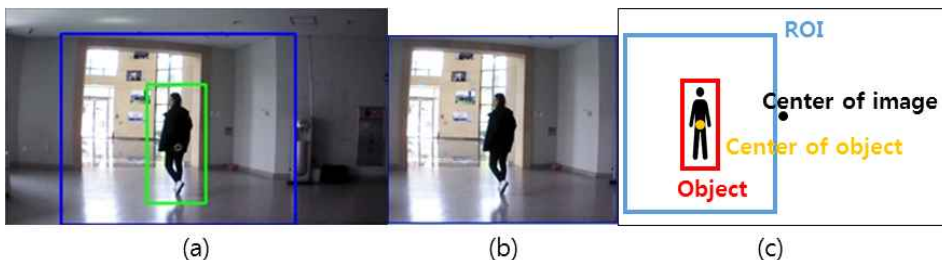


Fig. 4. (a) result of object detection (b) Region of Interest (c) the center of image and the center of object.

조절한다. a_c 값과 동일하게 중심과 떨어진 거리에 따라 속도 입력을 차등 설정한다.

3.4 모드 전환 조건

제안하는 순찰 시스템은 기본적으로 순찰 모드로 진행되며, 순찰 모드를 일정기간 수행 후 객체 검사 조건이 만족되면 객체 추적 모드로 전환된다. 객체 검사 조건은 순찰 모드가 수행되는 도중 매 특정 주기마다 전방카메라 영상 내에 객체가 존재하는지 검사한다. 이 주기는 무인비행체와 객체와의 거리가 적정거리일 때 최대 속도로 움직여 무인비행체의 전방 카메라 영상 내에 존재하는 시간을 고려하여 설정한다. 또한 객체 검출 알고리즘의 오검출을 고려하여 보다 신뢰도 있는 모드 변환을 수행하기 위하여 객체 검사 조건은 3프레임에 걸쳐 이루어진다. Fig. 5과 같이 3 프레임에서 모두 객체 검사 성공적으로 이루어지면 객체 추적 모드로 전환된다. 매 주기마다 전방카메라 영상 내에 객체가 존재하는지 확인하며 그렇지 않은 경우 다시 하방 카메라를 이용하여 순찰 모드를 유지한다.

4. 실험 결과

4.1 실험환경

본 논문에서 제안하는 시스템의 성능을 검증하기 위하여 일반적인 실내 환경에서 실험을 수행하였다. 실내 환경에서 빨간색 무광 테이프를 경로로 설치하고 주행을 하는 도중 사람 객체가 무인비행체 앞에 나타나 객체 추적모드로 전환된 후 객체 추적이 성공적으로 되는지 실험하였다. 본 실험에서는 무인비행체로 AR.Drone 2.0을 사용하였다[15]. 영상 처리 연산과 무인비행체 제어는 컴퓨터에서 이루어지며 Wifi

를 이용하여 통신한다. 무인비행체와의 통신에 사용한 컴퓨터 사양은 Intel Core i7-4800MQ 2.70 GHz CPU, 16 GB RAM이었으며, OpenCV 라이브러리 2.4.11을 사용하여 구현하였다.

실험은 Fig. 6에서와 같이 순찰 모드, 객체 추적 모드, 객체 전환 조건으로 나누어 성능을 실험하였다. 순찰 모드에 대해서는 직선과 곡선 경로에 대해 이탈횟수와 데드존의 크기에 따라 평균 속도를 측정하고 경로의 곡률에 따른 비행 속도 차이를 측정하였다. 10 m의 직선경로를 각각 데드존의 가로 길이를 변화시키며 비행했다. 10 m를 비행하는데 걸린 시간을 계산하여 평균 속도를 계산하였다. 곡선 경로에 대해서는 10 m의 회선을 곡률의 반경을 다르게 주며 비행 시간을 측정하고 평균 속도를 계산하였다.

객체 추적 모드에서는 인식 가능한 객체와의 거리를 측정하고 추적 가능한 객체의 최고 속도를 측정하며 객체와의 평균 거리를 측정하였다.

모드 전환 조건에 대해서는 순찰 모드 도중 사람 객체가 지나가며 객체 검사가 성공적으로 이뤄지며 객체 추적 모드로 전환되는지 실험하였다.

4.2 실험결과

Table 1은 본 시스템의 성능들을 정리한 표이다. 순찰 모드, 객체 추적 모드, 객체 전환 조건에 대해 다음과 같이 실험했다. 먼저 순찰모드에서는 경로 비행의 직진 평균 속도를 설정하기 위하여 데드존의 크기를 변화해가며 실험하였다. 무인비행체에서 전송되는 영상의 가로 크기는 640pixel이며 중심에 데드존 가로 길이를 변화시켰다. 직선 구간에서 데드존이 90pixel의 범위에서는 좌우에 대한 경로 이탈이 너무 빈번하여 전진이 거의 이뤄지지 않았고 150 pixel에서는 약 0.3m/s의 평균 속력을 보였으며, 300

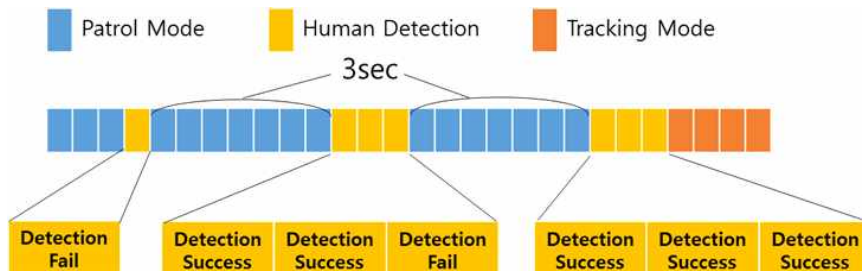


Fig. 5. the sequence of integrated surveillance system.

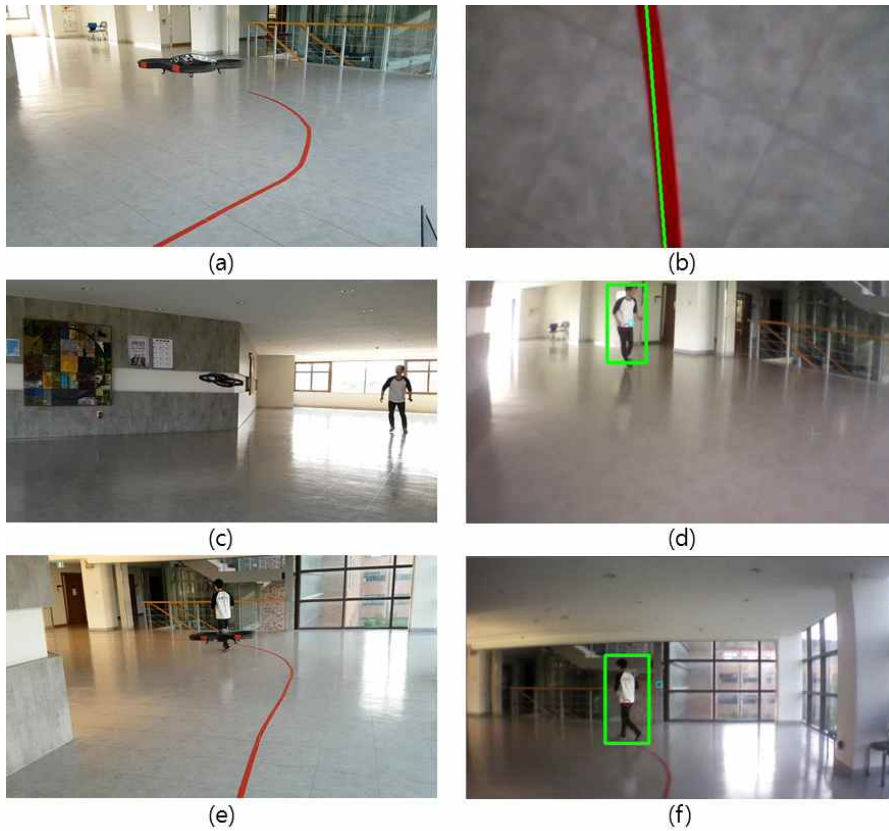


Fig. 6. (a) line tracing (b) the bottom camera of aircraft (c) object tracking (d) the front camera of aircraft (e) mode switch (f) the front camera of aircraft.

Table 1. the result of performance test

Line Tracing		Stability of Object Detection		Object Tracking	
Average Flight Speed	0.54 m/s(straight) 0.49 m/s(curve)	Probability of Unsuitable Object Detection	0.57%	Successfully Recognizable Distance	4-10 m
Maximum Curvature	0.33 m ⁻¹			Average Distance between Object	6 m
Average Deviation Distance and Number	0.5 m, 2 times / 10m			Maximum Speed of Aircraft Tracking Object	5.93 m/s

pixel 이상일 때 약 0.5m/s의 비행 속도가 측정되었다. 곡선 구간에서는 200pixel 미만의 범위에서는 직선 구간과 동일하게 좌우에 대한 경로 이탈이 너무 빈번하여 전진이 거의 이뤄지지 않았다. 200pixel 이상일 때 약 0.2m/s, 300pixel 이상으로 설정 시 0.5m/s 까지 향상된 비행 속도를 보였다. 하방 카메라의 화각이 작고 무인비행체 자체의 기류 때문에 경로를 이탈하는 상황이 자주 발생하여 데드존을 넓게 설정

한 실험들이 높은 효율을 보이는 것으로 나타났으며, 315pixel 값이 전진과 경로 이탈에 따른 좌우 보정이 가장 효율적인 값으로 나타났다. 경로의 곡률에 대해 10m 길이의 회전을 곡률 반경을 변화해가며 실험을 진행하였다. 무인비행체가 전진 움직임을 보이며 비행 가능한 최대 곡률은 0.33m⁻¹ (곡률 반경 3m)이며, 좌우의 움직임을 보이지만 비행이 가능한 적절한 곡률은 0.20 m⁻¹ (곡률 반경 5m)로 측정되었다. 무인비

행체가 경로 비행을 하는 도중 경로를 이탈하는 평균 횡수는 10m당 약 2회이며, 경로 이탈 범위는 약 0.5m이다. 데드존을 벗어나 좌우 보정하는 경우에는 비행체의 날개에 의한 기류와 보정 가속도에 의해 선위를 지나쳐 반대쪽으로 다시 벗어나는 경우가 발생하여 일정 길이씩 움직이며 데드존으로 복귀할 수 있도록 하였다. 객체와 일정거리를 유지하며 추적하지만 객체의 이동 경로와 동일하게 비행하지 않기 때문에 객체와 무인비행체 사이에 장애물이 존재하는 상황에 대해 약점을 보이지만 기동과 같은 장애물이 존재하지 않는 장소에서는 성공적으로 추적할 수 있음을 확인했다.

객체 추적모드에서는 추적 가능한 객체의 최대 속도는 약 5.93m/s로 측정되었다. HOG 알고리즘을 이용하여 객체 인식 가능 거리가 4-10m로 측정되었다. 객체를 놓치지 않기 위해 6m를 유지하였다. 객체 인식 가능 거리 범위를 벗어나는 경우는 무인비행체로부터 오는 영상이 역광, 조명에 어두워 에지가 검출되지 않거나 객체가 장애물에 가려지는 경우를 제외하고는 발생하지 않았다. 모드 전환 조건인 객체 발견 실험에 대해서는 객체 오검출 확률은 0.57%를 보였다. 검출 횡수 346회 중에서 2회 오검출되었다. 각각 액자, 계단 손잡이를 사람 객체로 오검출하였다.

5. 결 론

본 논문은 출입 제한 구역에서 영상 기반 무인비행체를 이용한 새로운 순찰 시스템을 제안하고 구현하는 것을 목적으로 두었다. 또한 실험을 통해 회선을 특정 경로로 인식해 순찰하는 기능, 순찰 도중 이상 객체를 검사하는 기능, 이상 객체를 추적하는 기능으로 나뉘어 구현되었다. 경로 비행 기능에서 무인비행체의 최고 속도, 비행 가능한 경로의 최대 곡률, 객체 검사 정확도, 객체 추적 기능에서 추적할 수 있는 객체의 최고 및 평균 속도 등의 성능을 확인하였다. 위 기술은 현재 신기술 동향으로 떠오르는 '무인비행체'를 활용함으로써 기존 순찰 시스템의 문제점을 극복하고 보다 신뢰성 있는 순찰이 가능할 것이다.

본 논문에서 제안한 시스템의 기능인 경로 비행, 객체 추적은 순찰 분야뿐만 아니라 배달, 대규모 논지 관리 등에도 적용 가능한 기능이다. 특히, 경로 비행과 객체 추적을 통합한 시스템으로 인해 그 활용도가 더욱 높아질 것으로 기대된다.

본 시스템의 향후 과제로는 추가 센서 및 카메라를 이용한 장애물 회피, 실내 지도를 이용한 무인비행체의 위치 인식, 객체 추적이 종료된 후 무인비행체가 출입 제한 구역으로 회귀를 하는 시스템 개발이 필요할 것으로 보인다.

REFERENCE

- [1] ADT CAPS Security Drone, http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2015/03/18/2015031801667.html (accessed Nov., 07, 2016).
- [2] SECOM Drone Surveillance Service, <http://www.ciokorea.com/news/27754> (accessed Nov., 07, 2016).
- [3] D.Y. Lee, H.S. Jeon, and Y.H. Joo, "Collaborative Tracking Algorithm for Intelligent Video Surveillance Systems Using Multiple Network Cameras," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, Vol. 21, Issue 6, pp. 743-748, 2011.
- [4] I.S. Kim and H.S. Shin, "A Study on Development of Intelligent CCTV Security System Based on BIM," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 6, No. 5, pp. 789-795, 2011.
- [5] J.S. Kim, J.W. Lee, Y.K. Shin, and W.Y. Lee, "Implementation of the Manless Security System Using a Wireless Exploring Unit," *Proceedings of the Korean Information Science Society Conference*, pp. 736-738, 2005.
- [6] J.H. Park, D.G. Shin, C.K. Woo, H.C. Kim, Y.K. Kwon, and B.W. Choi, "Development of an Intelligent Security Robot System for Home Surveillance," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 13, Issue 8, pp. 810-816, 2007.
- [7] J.H. Park and K.B. Sim, "A Design of Mobile Robot based on Network Camera and Sound Source Localization for Intelligent Surveillance System," *Proceedings of KIIS Fall Conference*, pp. 253-256, 2008.
- [8] W.E. Dixon, D.M. Dawson, E. Zergeroglu, and A. Behal, "Adaptive Tracking Control of a

Wheeled Mobile Robot via an Uncalibrated Camera System,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, Vol. 31, No. 3, pp. 341-352, 2001.

[9] H.S. Shi, H. Park, H.H. Kim, and K.H. Park, “Vision-Based Trajectory Tracking Control System for a Quadrotor-Type UAV in Indoor Environment,” *The Journal of Korea Information and Communications Society*, Vol. 39, No. 1, pp. 47-59, 2014.

[10] S.S. Huh, S.W. Cho, and D.H.C. Shim, “3-D Indoor Navigation and Autonomous Flight of a Micro Aerial Vehicle Using a Low-cost LIDAR,” *The Journal of Korea Robotics Society*, Vol. 9, No. 3, pp. 154-159, 2014.

[11] J.O. Park, Y.M. Kim, and J.K. Lee, “A Study on Moving Object Recognition and Tracking in Unmanned Aerial Camera,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 13, Issue 5, pp. 684-690, 2010.

[12] A. Sanna, F. Lamberti, G. Paravati, and F. Manuri, “A Kinect-based Natural Interface for Quadrotor Control,” *Entertainment Computing*, Vol. 4, Issue 3, pp. 179-186, 2013.

[13] Y. Imamura, S. Okamoto, and J.H. Lee, “Human Tracking by a Multi-rotor Drone Using HOG Features and Linear SVM on Images Captured by a Monocular Camera,” *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*, pp. 333-338, 2016.

[14] N. Dalal, and B. Triggs, “Histograms of Oriented Gradients for Human Detection,” *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 886-893, 2005.

[15] AR.Drone 2.0, <https://www.parrot.com/fr/drones/parrot-ardrone-20-gps-edition#spare-parts> (accessed Nov., 07, 2016).



김도현

2017년 한동대학교 전산전자공학부 학사
 2017년~현재 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 석, 박사 통합과정
 관심분야: 시스템 생물학, 머신러닝, 영상처리



김정은

2017년 8월 한동대학교 전산전자공학부 학사 졸업 예정
 관심분야: 빅데이터, 머신러닝



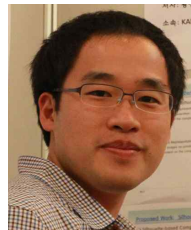
송지학

2017년 한동대학교 전산전자공학부 학사
 2017년~현재 ㈜포스트미디어 재직중
 관심분야: 영상처리, 무인비행체



신용준

2017년 한동대학교 전산전자공학부 학사
 2017년~현재 한국과학기술원 전산학부 석사 과정
 관심분야: 영상처리, 인공지능, 슈퍼컴퓨팅



황성수

2002년 한동대학교 입학
 2008년 한동대학교 졸업(전자전산 복수전공)
 2008년 한국과학기술원 전기 및 전자공학부에 입학
 2010년 석사학위 취득
 2015년 박사학위 취득
 2015년~현재 한동대학교 전산전자공학부 조교수
 관심 분야: 컴퓨터 비전을 활용한 자율 주행 이동체 개발 및 증강현실 콘텐츠 개발, 3차원 데이터 생성 및 부호화 및 장애인을 위한 인터페이스 개발