논문 2014-09-33

면역 알고리즘을 이용한 쿼드로터 장애물회피 기술

(An Obstacle Avoidance Technique of Quadrotor Using Immune Algorithm)

손 병 락, 한 창 섭, 이 현*, 이 동 하*
(Byung-Rak Son, Chang-Seup Han, Hyun Lee, Dong-Ha Lee)

Abstract : In recent, autonomous navigation techniques to avoid obstacles have been studied by using unmanned aircraft vehicles(UAVs) since the increment of UAV's interest and utilization. Particularly, autonomous navigation based UAVs are utilized in several areas such as military, police, media, and so on. However, there are still some problems to avoid obstacle when UVAs perform autonomous navigation. For instance, the UAV can not forward in the corner of corridors even though it utilizes the improved vanish point algorithm that makes an autonomous navigation system. Therefore, in this paper, we propose an obstacle avoidance technique based on immune algorithm for autonomous navigation of Quadrotor. The proposed algorithm is consisted of two steps such as 1) single color discrimination and 2) multiple color discrimination. According to the result of experiments, we can solve the previous problem of the improved vanish point algorithm and improve the performance of autonomous navigation of Quadrotor.

Keywords : Immune algorithm, Obstacle avoidance, Autonomous navigation, Color discrimination, Unmanned aircraft vehicles(UVAs)

Ⅰ. 서론

최대 인터넷 쇼핑몰 아마존 닷컴(Amazon.com)에서 소형 무인항공기를 이용하여 상품배달을 시도하듯이, UAVs(Unmanned Aircraft Vehicles)의 관심이 높아짐에 따라, 다양한 활용분야에서 무인항공기 활용도가 높아지고 있다[1]. 특히, 무인항공기에서 사용되는 자율주행 기법은 주로 군사적 정찰용으로 활용되어지고 있는데[2], 가장 주된 자율주행 기법의 이슈는 자율적으로 장애물을 회피하는데 어려움이 있다는 것이다. 그리고 장애물 회피방식으로는 크게 원격조종과 자율제어의 2가지 방법이 있다. 1) 원격조종은 UAVs를 직접 제어하여 기동시키는 것[3]이고 2) 자율제어는 주어진 환경에 적응하여 모니터링 하는 방법이다. 대표적인 자율제어 기법으로는 소실점 기반의 자율주행 기법이 있다[4]. 이 기법은 카메라센서를 이용하여 소실점을 구해서 무인항공기의 진행 방향을 판단하는 것이다. 하지만, 통로의 구석끝자리에 도달하듯이 더 이상 소실점을 계산하는데 어려움이 생기는 경우, 무인항공기가 진행방향을 판단하지 못하는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 소실점기반 자율주행 기법의 단점을 극복하기 위해, 면역 알고리즘 기반의 장애물 회피 알고리즘을 구현하고자 한다. 면역알고리즘 기반의 장애물 회피 알고리즘이란, 장애물 색상에 따라, UAVs가 장애물을 만났을 때, UAVs는 먼저 장애물 색상을 인식한 뒤, 면역 알고리즘에서 사용되는 항체의 색상과 비교하게 된다. 예를 들어, 장애물 색상과 항체의 색상이 같은 경우, 항체 농도(Concentration) 퍼센트를 증가시키고 농도 퍼센트가 0.7까지 오르게 된 경우, UAVs는 새로운 경로를 찾기 위해 회전을 하게 된다.

*Corresponding Authors
(mahyun91@sunmoon.ac.kr, dhlee@dgist.ac.kr)
Received: 4 Feb. 2014, Revised: 28 Mar. 2014, 1 May 2014, Accepted: 14 May 2014.
B.R. Son, D.H. Lee: DGIST
C.S. Han, H. Lee: Sun Moon University
※ 본 논문은 미래창조과학부에서 지원하는 대구경북과학기술원 기관일반사업에 의해 수행되었습니다. (14-BD-01)

ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2014 Oct.: 9(5) 269-276
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2014.9.5.269

특히, 면역 알고리즘 기반의 자율주행 기법은 1) 단일색상 판별 알고리즘과 2) 다중색상 판별 알고리즘으로 구성되어있다. 본 논문에서는 단일색상 판별 알고리즘을 적용시켜 이전 연구[4] 문제점을 극복하고자 하며, 다중색상 판별 알고리즘을 적용시켜 단일색상 판별 알고리즘에서의 문제점을 극복하고자 한다.

본 논문을 다음과 같이 구성하고자 한다. II장에서는 국내외의 관련연구들을 소개하고 III장에서는 면역 알고리즘 기반의 자율주행 기법을 제안한다. IV장에서는 실험 및 분석을 수행하고 마지막 V장에서 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

II. 관련연구

1. 원격제어기법을 이용한 UAV 제어

원격제어를 이용한 UAV 조종에 관한 연구는 대표적으로 통신망을 이용하여 원거리에서도 컨트롤이 가능한 모델이 구현되어 있다. 예로, 한국 전력공사의 송전탑 관리에 우선적으로 투입되고 있다[5]. 이 모델의 경우, 전용 무선 제어기를 이용하여 UAV를 조종하고, UAV에 장착되어있는 카메라와 컨트롤러를 사용해 주변상황을 모니터링 할 수 있다. 장점으로는 150km떨어진 원거리에서 원격으로 UAV를 조종하는 것이 가능하며 LTE 최고속도인 100Mbps의 전송률을 보여준다. 또한 UAV가 무선 제어기의 조종범위를 벗어날 경우 이륙장소로 돌아오는 기술도 적용되었다. [6]에서는 Wi-Fi 기술을 이용하여 UAV를 스마트폰(i-phone)에서 컨트롤하는 연구를 수행하였다. 연구의 특징으로는 UAV의 내비게이션과 조종을 위해 선회비행, 이륙, 착륙, 전진 비행 등의 다양한 모드를 바꿀 수 있다.

2. 자율제어기법을 이용한 UAV 제어

지금가지 자율제어를 이용한 UAV 조종에는 주로 영상센서를 이용하며 영상센서로 읽은 데이터를 파악하여 UAV의 경로를 설정하는 것에 집중되어 있다[7-11]. 예로, 교토대학[7]의 경우, 색조 임계값을 이용하여 장애물을 판단하고 자율주행 하는 특징을 가지고 있으나 그림자 안에 있을 경우에는 장애물 감지가 불가능하고 파란색과 검정색의 색상을 구분하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 캘거리대학[8]의 경우, 카메라가 손동작을 인식하여 진행방향을 판별하여 자율주행 하는 특징을 가지고 있으나 실제 큰 손동작만을 인식하는 경향이 있어 개선의 여지가 필요하다. Harvey mudd 대학[9]의 경우, 미로 같은 환경에서 새로운 경로를 찾는 데에 많은 시간을 소비한다는 문제점을 해결하기 위해 공중과 지상을 동시에 자율주행 하여, 시간 내에 미로를 빠져나오는가에 대해 단순 비교분석하였다.

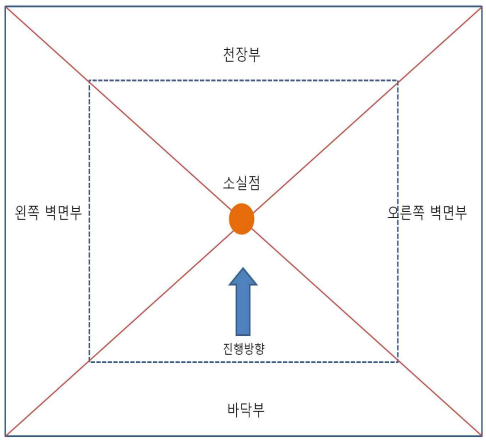

그림 1. 도식화된 통로 이미지
Fig. 1 Schematized corridor image

본 연구팀에서도 그림 1과 같은, 소실점 기반의 자율주행 시스템을 연구했으며, 통로에서 안전하게 끝 방향을 탐색하여 진행하는 연구를 수행하였다. 예로, 실내 환경에서의 통로는 양면의 벽면부와 천장부, 바닥부를 가지고 있다. 이 4면부의 외곽선은 통로 진행방향의 중심점을 향하고 있으며 외곽선이 교차하는 지점이 소실점인데 이 소실점을 이용하여 UAV이 자율적으로 소실점 방향으로 진행하여 자율주행을 구현하였다.

그리고 그림 2는 실제 실험결과의 영상을 보여주고 있다. 하지만 장애물을 만나면 다른 방향으로 진행하지 못하고 제자리에서 멈춰버리는 현상이 일어나게 되는 단점이 있다. 특히, 건물 내부에 통로가 꺾이는 부분이 있으면, 꺾이는 부분에서 UAV가 회전하지 않고 제자리에 멈추는 현상이 일어났다. [12]의 경우, 영상정보를 판별하여, 장애물로 판단되는 경우, UAV가 회전하는 방식을 적용하였다. 특히 bmp영상을 직접 받아 처리하는 방식인데 처리속도가 느려지는 단점이 있다. [12]연구에서는 미로 안에서 1차 목표지점 도달 시간과 2차 목표지점 도달 시간을 비교분석하고 있다.

본 논문에서는 선행연구[12]보다 더 나은 성능을 만들기 위해, 장애물 색을 판별하여 항체와 비교하여 같은 색의 장애물인 경우, 보다 빨리 장애물을

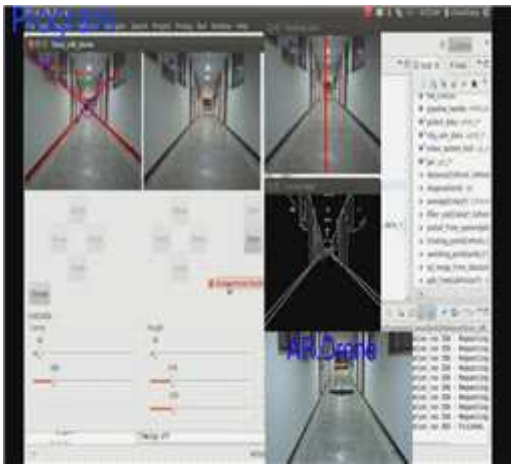

그림 2. 소실점 기반 자율주행 실험 영상
Fig. 2 Test Image for autonomous navigation based on improved vanish point algorithm

인식하고 다른 경로를 찾을 수 있도록 UAV회전 속도를 높이는 방식으로 건물 안의 통로에서 [12]보다 더 빠른 목표지점 도달 시간을 보여주고자 한다.

Ⅲ.면역 알고리즘 기반 자율제어 기법

면역 알고리즘은 생물학적 개념에서 출발하였는데, 항원(바이러스)을 치료하는 항체의 종류는 한 가지만 있어, 똑같은 항원이 재침투하는 경우, 해당 항체 농도(C)의 수가 이전보다 많은 증가하여 빠른 시간 내에 치료한다는 개념이다[13]. 이를 활용하여 본 논문에서 제안하는 면역 알고리즘 기법은 생물학적 면역 알고리즘을 이용하여 목적지까지의 자율주행 중에 가로막는 장애물의 색상을 분석하고 같은 색상의 장애물을 만날 때마다 새로운 루트를 찾기 위한 UAV의 회전속도를 증가시켜 장애물을 회피하는 개념이다. 특히, 특정 RGB칼라를 5개 선택하여 항체모델로 둠으로써, 카메라로 측정된 색깔과 미리 선택된 5개의 항체모델과 비교하여 의사결정하는 방식으로 [12] 연구보다 처리속도를 높이는 개념이다.

1. 단일색상 판별 알고리즘

단일색상 판별 알고리즘은 그림 3과 같이 구성되었다. 소실점 기반의 자율주행 중, 소실점을 찾을 수 없는 경우 카메라에 인식된 장애물 픽셀 값과 미리 선택해둔 색상의 항체모델을 비교하여 항체의

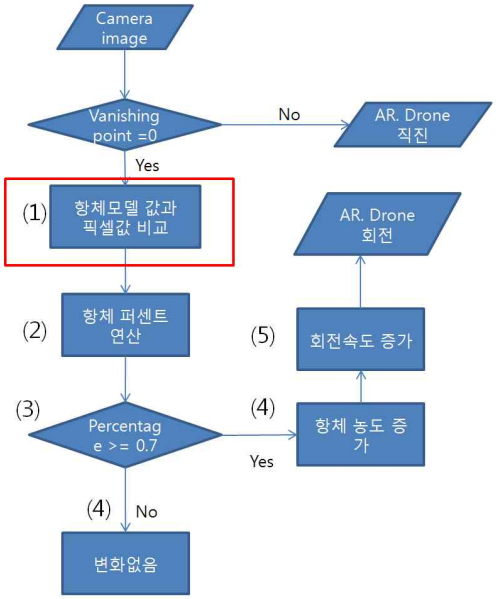

그림 3. 단일 색상 판별 알고리즘 프로세스
Fig. 3 The Process of Single Color Discrimination Algorithm

표 1. UAV의 회전 속도 계산
Table. 1. calculate UAV's rotation speed

항체모델 -> A(Antibody)
항체모델의 농도 -> C(Concentration)
A-> pixelcount/(256*3)
if A >= 0.7
C -> C+0.2
회전속도 -> C

농도 퍼센트(C)를 가중시킨 후 농도 퍼센트(C)가 0.7이상이 되면 항체의 농도(C)를 증가시켜 항체농도(C) 값을 회전속도의 기준으로 하여 UAV가 회전하게 된다. 가중된 농도(C)가 일정 수치 이상이 될 때 회피해야 할 장애물로 판단하고, 항체 농도(C)를 증가시키고 회전속도를 항체 농도(C)와 비례하여 UAV를 회전시키는 방식이다.

또한 새로운 경로를 찾아 UAV가 이동하는 도중, 같은 픽셀 값을 가진 장애물을 만나면 항체 농도(C)는 빠르게 증가되고 회전속도 역시 가중되어 처음 장애물을 판별할 때 보다 더 빠른 속도로 회전을 하게 된다. 표 1은 UAV의 농도(C) 퍼센트 계산에 따른 회전속도 증감을 보여주고 있다.

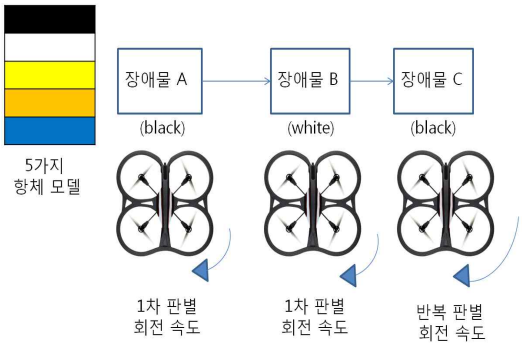

그림 4. 다중 색상 판별 알고리즘의 개요
Fig. 4 The General Concept of Multiple Color Discrimination Algorithm

2. 다중색상 판별 알고리즘

한 가지 패턴의 장애물이 아닌, 또 다른 장애물을 만날 경우에는 이를 해결하는 방법으로 다중색상 판별 알고리즘을 적용할 수 있다. 이는 UAV 내부에 여러 항체모델을 설정해서 장애물을 만나면, 해당 픽셀 값과 비교하여 항체 농도(C)를 증가시키는 방식이다. 예로 그림 4와 같이, 장애물A를 회피한 뒤 이전에 증가했던 항체 농도(C)와 다른 픽셀 값을 가진 장애물B를 만나면 처음에는 장애물A와 동일한 속도로 회전을 하게 된다. 하지만 UAV가 회전한 뒤 장애물A 색상과 동일한 장애물C를 만나면 이전의 항체농도(C)가 유지되기 때문에 UAV의 회전 속도는 장애물A에서의 회전속도보다 더 빠른 속도로 회전하게 된다. 이를 통해, 경로를 찾아가는데 있어, 시간 감소 효과가 기대된다. 다중색상 판별 알고리즘은 그림 3의 (1)번부분에서 항체 모델을 단일모델에서 다중모델로 설정함으로써 UAV가 색상이 다른 장애물도 회피할 수 있도록 하였다.

Ⅳ. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 면역알고리즘 기반의 자율주행 기법 실험을 위해, UAV을 자동주행모드[4]로 가동시킨 뒤, 장애물을 만나면 UAV이 새로운 경로를 찾을 수 있는지 실험하였다. 자동주행모드라 함은 그림 5과 같이 먼저 원격제어기법을 이용한 방법이다. 안드로이드 애플리케이션이 실행되면, activity가 활성화 되고, 각각의 컴포넌트들이 생성 및 초기화, 이벤트 Listener들의 연결 과정을 거친다. 그리고 난 다음 UAV와 연결을 통해 송신/수신

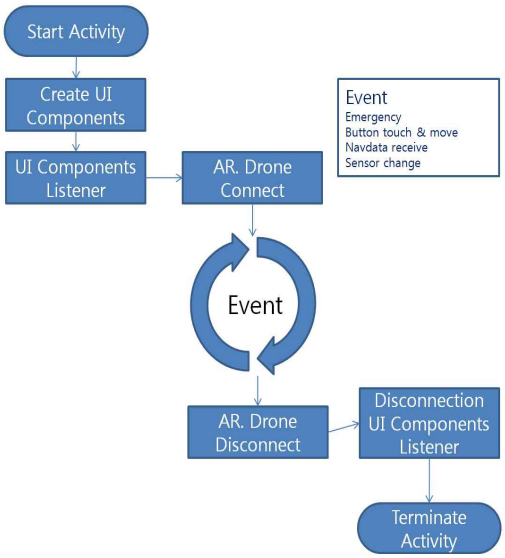

그림 5. 원격제어기법의 동작순서
Fig. 5 Activity process of Remote Control Method

체크를 하고 UAV로부터 영상 및 내비게이션 데이터들을 수신 받아 상태를 점검한다. 또한, 각각의 컴포넌트는 이벤트에 의해 UAV의 비행제어 또는 영상표현 등을 수행하게 된다. UAV의 제어가 종료되면, 연결을 끊고 각각 컴포넌트 자원을 해제시킨 후 activity를 종료한다. 위의 원격제어기법을 자율적으로 수행할 수 있도록 한 모드가 자율주행 모드이다.

본 논문에서는 실험대상 이외의 장애물이 없고 소실점을 판별할 수 있는 통로에서 실험하였으며, 다중색상 판별 알고리즘을 실험하기에 앞서, 항체모델을 흰색, 검정, 노랑, 파랑, 주황의 5가지 색깔로 표현했다. 여러 색깔을 적용하기에 앞서 기본적으로 무채색(흰색, 검정)과 RGB(노랑, 파랑, 주황)의 기본 3색을 이용하여 색깔을 구분하고자 함이다. 이는 실제 건물 안에서의 탐색 진행시의 상황을 고려한 것으로, 대부분 기존 건물 안의 통로가 단색으로 이루어져 있지만, 여러 색으로 벽면이 이루어져 있는 부분도 탐색을 진행하기 위해 5가지 색의 항체 모델을 두었다. 특히, 검정색 패널과 흰색 패널을 이용하였고 RGB 색상의 극명한 값을 주어 정확한 결과 값을 얻고자 하였다. 예로, 각 항체 모델의 색상을 픽셀 값으로 설정할 때, 기본 RGB 색상별로 5색상을 (65,65,65), (230,230,230), (229,216,92), (242,150,97), (103,153,225)로 설정하였다. 이는

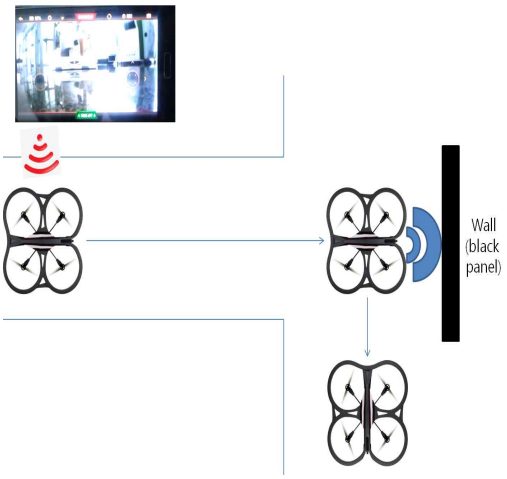

그림 6. 가상 시나리오
Fig. 6 Assumed Scenario

그림 7. 소실점 기반 쿼드로터 자율주행 영상
Fig. 7 The real image of improved vanish point based Quadrotor autonomous navigation

각 색상의 오차범위를 조금씩 주어 UAV가 장애물을 판별하는데 좀 더 효과적으로 설정하기 위함이다. 또한 이전 바람의 영향을 최소화하기 위해 실내에서 실험을 진행하였으며, 장애물에 대한 정확한 색상 값을 판별하기 위해 각 장애물에 해당하는 위치에 블랙 패널을 사용하여 그림 6과 같이, 가상시나리오를 구성하여 실험을 진행하였다.

1. 실험결과 및 분석

먼저 그림 7은 선행 연구[4]의 실험 영상을 보여주고 있다. 그림 7에서 보는 것처럼, 통로 끝에 도달하게 되면 소실점이 없기 때문에 제자리에 멈춰 서버리는 문제점이 드러난다. 이를 해결하기 위해, 면역 알고리즘을 적용한 경우는 그림 8과 그림 9에서 볼 수 있다. 먼저 그림 8은 단일색상 판별 알고리즘을 이용하여 UAV가 자율적으로 회전하여 새로운 경로

그림 8. 단일색상 판별 알고리즘 적용 실험 영상
Fig. 8 The real image of immune algorithm with single color discrimination based Quadrotor autonomous navigation

그림 9. 다중 색상 판별 알고리즘 적용 실험 영상
Fig. 9 The real image of immune algorithm with multiple color discrimination based Quadrotor autonomous navigation

를 찾아내는 모습을 보여주고 있다. 그림 8의 ①은 AR. Drone이 자율주행을 하다가 장애물을 접촉하는 모습이다. ②는 장애물을 판별하여 회전을 하는 모습이다. ③은 새로운 경로를 찾아 진행하는 도중에 장애물을 만나는 모습이다. 그림 8과 같은 결과 화면을 통해, 선행연구의 문제점을 해결할 수 있었다.

다중 색상 판별 알고리즘의 실험영상은 그림 9과 같다. 장애물 A(검정색)를 먼저 3번 접촉 시킨 후 장애물 B(흰색)와 접촉, 마지막으로 장애물 C(검정색)와 접촉시켰다. 다중색상 판별 알고리즘을 적용한 실험 결과 그래프는 그림 10에서 볼 수 있다. 그림 10에서 횡축은 각각의 장애물을 만났을 때의 시간을 의

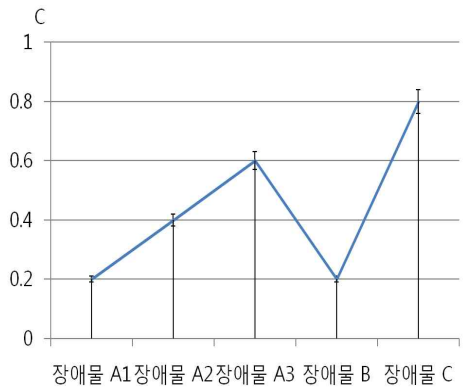

그림 10. 각 장애물 접촉시 회전 속도 비교
Fig. 10 Comparison of the rotation speed of each obstacle

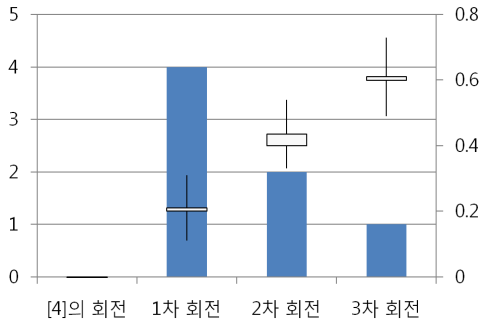

그림 11. 회전 시간과 회전 속도에 따른 비교
Fig. 11 comparison in accordance with rotation speed and rotation time

미 한다. 그래프에서 종축 C의 의미는 Concentrate 이다. Concentrate는 다중 색상 알고리즘에서 항체와 농도(C)를 계산하여 계산된 값이 회전속도에 영향을 주게 된다. 그림 10의 결과처럼, 같은 장애물을 연속적으로 만날 때마다, 회전속도가 비례적으로 증가하였다. 그리고 새로운 장애물B를 만났을 경우, 회전속도는 기본 값으로 되돌려졌다. 하지만 장애물A와 장애물C는 같은 색상을 가지고 있으므로 다시 장애물C를 만났을 때의 회전 속도가 이전 장애물A의 회전 속도 보다 증가하였다.

그림 11은 회전시간과 회전속도에 따른 비교 그래프이다. 막대그래프는 회전시간에 따른 분류이고 분포는 회전속도에 따라 최저 속도, 최고 속도, 평균 속도를 의미한다. 연구[4]는 장애물을 회피하여 새로운 경로를 찾아가지 못하기 때문에 회전 시간, 회전 속도가 없다. 1차 회전 속도는 평균 0.2에 머물러 있으며 2차 회전 속도는 0.4 근처에 머물러 있다. 또한 3차 회전 속도는 0.6근처에 머물러 있다. 이는 각 장애물에 접촉할 경우 항체에 있던 퍼센트 값이 증가하여 회전 속도에 영향을 주기 때문이다.

V. 결론

기존 제안한 향상된 소실점 기반의 쿼드로터 자율주행 기법은 장애물을 만나면 새로운 경로를 찾지 못하고 제자리에 멈추는 경향이 있었다. 본 논문에서 제시한 면역 알고리즘 기반의 자율주행 기법은 선행연구의 문제점을 해결하고, 장애물을 만나면 새로운 경로를 찾아가는 모습을 보여주었다. 하지만 본 논문에서 제시한 면역 알고리즘 기반 자율주행 기법은 빛의 영향을 받아 빛의 세기에 따라 색깔 구별에 오차를 가지고 있다. 따라서 장애물의 인식률을 높이기 위해 원색을 사용하지 않고 약간의 오차범위를 두어 장애물을 판별하도록 하였다. 향후 연구방향으로는 다양한 색상의 인식순서에 따라 변화되는 회전 속도를 분석하여 면역알고리즘 기반의 자율주행 최적화를 구현하고자 한다.

References

[1] L. Brief, “Growth Opportunity in Global UAV Market,” Proceedings of Lucintel Brief, 2011.

[2] C. Goerzen, Z. Kong, B. Mettler, “A Survey of Motion Planning Algorithms from the Perspective of Autonomous UAV Guidance,” Journal of Intelligent Robot Systems, Vol. 57, No. 1-4, pp. 65-100, 2010.

[3] Y. Kang, B. Park, C. Yoo, Y. Kim, S. Koo, “Assessment of flight control performance based on the ground test results of Smart UAV,” Aerospace Engineering and Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 1-8, 2010.

[4] B. Son, S. Kang, H. Lee, D. Lee, “A Real Time Quadrotor Autonomous Navigation and Remote Control Method,” IEMEK J. Embed. Syst. Appl., Vol. 8, No. 4, pp, 205-212, 2013 (in Korean).

[5] http://www.air-gate.co.kr/

[6] P. Bristeau, F. Callou, D. Vissière, N. Petit, "The Navigation and Control technology inside the AR. Drone micro UAV," Proceedings of IFAC World Congress, pp. 1477-1484, 2011.
[7] C. Bills, J. Chen, A. Szxena, "Autonomous MAV Flight in Indoor Environments using Single Image Perspective Cues," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 5776-5783, 2011.
[8] A. Huang, A. Bachrach, P. Henry, M. Krainin, D. Maturana, D. Fox, N. Roy, "Visual odometry and mapping for autonomous flight using an RGB-D Camera," Proceedings of the International Symposium on Robotics Research, 2011.
[9] E. Morimoto, M. Suguri, M. Umeda, "Obstacle Avoidance System for Autonomous Transportation Vehicle based on Image Processing," Journal of Scientific Research and Development, Vol. 4, pp. 1-11, 2002.
[10] K. Boudjit, C. Larbes, M. Alouache "Control of Flight Operation of a Quad rotor AR. Drone Using Depth Map from Microsoft Kinect Sensor," International Journal of Engineering and Innovative Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 15-19, 2013.
[11] J. Engel, J. sturm, D. Cremers, "Camera-based navigation of a low-cost quadrocopter," Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2815-2821, 2012.
[12] R. Challoo, P. Rao, "Navigation control and path mapping of a mobile robot using artificial immune systems," International Journal of Robotics and Automation, Vol. 1, No. 1, pp. 1-25, 2010.
[13] U.S. Dept. of Health and Human Services National Institutes of Health, "Understanding the Immune System How It Works", NIH Publication No. 07-5423, pp. 1-54, 2007.

저 자 소 개

손 병 락

2000년 대구대학교 정보통신공학과 학사.
2005년 대구대학교 정보통신공학과 석사.
2009년 대구대학교 정보통신공학과 박사.
현재, DGIST 웰니스융합연구센터 선임연구원.
관심분야: 센서네트워크, 통신 프로토콜, 생체모방 로봇, 웰니스 휴먼케어 시스템. 사물인터넷 기반 융합시스템
Email: brson@dgist.ac.kr

한 창 섭

2014년 선문대학교 컴퓨터공학과 학사.
관심분야: 임베디드 S/W 시스템, 자율주행 시스템, 로봇원격제어, 안드로이드 기반 가상물리시스템
Email: suid4916@naver.com

이 현

1998년 선문대학교 전자계산학과 학사.
2002년 선문대학교 전자계산학과 석사.
2010년 University of Texas at Arlington 컴퓨터공학과 박사.
현재, 선문대학교 컴퓨터공학과 조교수.
관심분야: 실시간 의사결정 시스템, 자율컴퓨팅, 웰니스 휴먼케어 시스템, 사물인터넷 기반 가상물리시스템
Email: mahyun91@sunmoon.ac.kr

이 동 하

1985년 경북대 전자공학과 학사.
2001년 경북대 전자공학과 석사.
2005년 경북대 전자공학과 박사.
2006년 경북대 경영학과 T-MBA 과정 수료.
현재 DGIST 웰니스융합연구센터 책임연구원 및 DGIST 기획처장.
관심분야: 임베디드 S/W 시스템, 생체모방 로봇 시스템, 웰니스 휴먼케어 시스템
Email: dhlee@dgist.ac.kr