
무선 센서 네트워크를 통한 쿼드콥터들의 편대 비행 기법 설계에 관한 연구

김의환 · 이학수 · 지성인 · 오영준 · 이강환*

*한국기술교육대학교

A Study on the Quadcopters Formation Flight Guidance Law Design in Wireless Sensor Network

Eui-hwan Kim* · Hak-soo Lee* · Seong-in Ji* · Young-jun Oh* · Kang-hwan Lee*

*Korea University in Technology and Education

E-mail : tintin2970@koreatech.ac.kr

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 주어진 상황에 따라 다수의 쿼드콥터들이 편대를 유동적으로 구성할 수 있는 비행 기법을 제안한다. 기존 연구에서는 미리 정해진 구조의 편대로만 비행을 하고 센서를 통해 비행체 간의 거리를 알아야만 편대 유지를 할 수 있었다. 또한, 센서에서 발생하는 오차로 인해 비행체 간 거리가 일정하지 않다는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 상대 좌표 값을 기반으로 한 가상 지도를 통해 실내·외, 장애물 등에 영향 받지 않고 쿼드콥터의 현재 위치를 이용하여 주어진 상황에 맞는 편대 비행을 하는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 선도기 추종 기법(Leader-Follower Technique)으로 메인 쿼드콥터가 주어진 상황을 판단하여 무선 통신을 이용해 서브 쿼드콥터들에게 명령을 내려 편대의 구조를 정하는 방법이다. 모의실험 결과, 제안한 알고리즘이 기존방식에 비해 어떠한 상황을 감지함에 있어서 편대 비행이 효율적인 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a flight techniques many quadcopters which can be configured flexibly squadron according to the situation in wireless sensor networks is suggested. In previous studies, aircrafts fly only as part of a prescribed form and know the distance between the aircraft by sensor was able to maintain the fleet. Also, the problem occurs that between the aircraft distance is not constant. In this paper, proposes an algorithm that the context of the formation fly using the current position of the quadcopter through a virtual map is based on the relative coordinates without being affected by Indoor, outdoor and obstacles. Proposed algorithm is Leader-Follower Technique that the method of determinin the shape of the squadron to the down command to the sub-quadcopter using the wireless network by the main quadcopter to determine a given situation. As simulation result, the proposed algorithm was confirmed that formation flight efficient in sensing the all conditions as compared to the conventional method.

키워드

쿼드콥터, 편대 비행, 측위 기법, 선도기 추종 기법

I. 서 론

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle:UAV)는 항공기에 사람이 탑승하지 않은 상태에서 원격 또는 자동으로 조종되는 항공기를 지칭한다[1]. 이러한 자율이동 및 주행이 가능한 무인기를 이용하여 감시 및 탐색, 환경 모니터링 분야에 적용하는 연구가 근래에 활발히 진행되고 있다[2]. 특히 다수의 쿼드콥터를 동시에 비행하여 다양한 임무를 수행하도록 하는 연구가 확대 되고 있다.

쿼드콥터 편대는 다른 센서들과 통신을 할 수 있고 특정 지역을 촬영하거나 조난자를 찾는 임무를 받을 수도 있다. 또한 태풍이나 산불 등을 마주할 수도 있다. 하지만 기존의 연구에는 모든 상황에서 일정한 편대 구조를 유지하게 된다. 따라서 여러 임무를 수행하고 다양한 상황에 직면하는 등 다양한 변수가 존재함에도 불구하고 쿼드콥터들이 상황에 따른 변환 능력을 가지고 있지 않다는 문제가 발생한다. 이러한 문제는 무인항공기가 가질 수 있는 장점에 비해서 그 활용도를 반감시킨다. 그러므로 유동적인 상황 대처 방안이 필수적이다. 본 연구에서는 감시 및 관찰 등 다양한 임무 수행에 효과적으로 활용될 수 있도록 비행 기법 및 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 주어진 상황에 따라 다수의 쿼드콥터들이 선도기 추종 방법을 사용하여 편대를 유동적으로 구성할 수 있는 비행 기법을 제안한다. 또한 기존 본 연구실에서 개발한 ALPS(Ad hoc network Localized Positioning System)을 사용해 상대좌표를 기반으로 다수의 쿼드콥터들의 위치를 설정 한다. 제안하는 알고리즘은 Zigbee 통신을 사용하여 메인 쿼드콥터가 서브 쿼드콥터로부터 데이터를 전달 받아 현재의 상황을 인지하여 적합한 편대 구조를 정하도록 서브 쿼드콥터에게 명령을 내리는 방법이다.

II. 관련 연구

2.1 무인항공기의 편대비행

다수의 비행체가 일정한 거리와 간격을 유지하는 비행을 편대 비행(Formation Flight)이라 하며 편대비행 유도기법은 편대를 형성하기 위한 정보의 종류에 따라 두 가지로 분류될 수 있다. 첫 번째는 선도기의 정보를 가지고 편대를 형성하는 선도기 추종 방법(Leader- Follower Technique), 두 번째는 편대를 구성하는데 선도기의 정보 이외의 정보를 이용하는 방법이다[4].

기존 연구에서 무인항공기의 군집, 편대 비행의 관한 연구는 활발히 진행되어 왔지만, 복수무인기의 편대비행에 관한 연구는 주로 편대생성 알고리즘과 임무할당에 초점이 맞추어져 있다[5]. 기존 연구처럼 하나의 목적을 가지고 편대를 이루기보다는 능동적으로 상황에 맞춰 선도기의 결

정에 따라 편대의 구조를 자동으로 바꿀 수 있다면 다양한 임무를 수행할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 쿼드콥터들이 상황에 따라 주어진 임무를 효율적으로 수행하기 위해 능동적으로 편대의 구조를 바꾸는 알고리즘에 대해 제안한다.

2.2 도형의 회전이동을 통한 좌표변환

좌표변환은 하나의 좌표계에 나타낸 어떤 점의 위치를 다른 좌표계로 나타내는 일 또는 한 좌표계에서 기술된 식을 다른 좌표계에 의한 기술로 바꾸는 일을 의미한다.

좌표 변환을 응용하여 평행이동과 회전이동에 대한 식을 유도할 수 있다. 회전이동(rotation)이란 좌표평면 위 임의의 점을 원점으로 θ 만큼 회전시키는 방법이다. 다음 그림 1은 좌표의 회전 이동을 나타내는 그림을 의미한다.

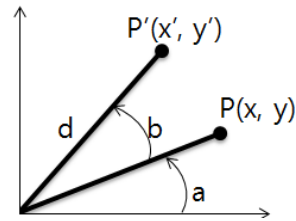


그림 1. 좌표의 회전 이동

위 그림 1과 같이 좌표 값을 알고 있는 임의의 두 점 $P(x, y)$ 와 $P'(x', y')$ 가 같은 거리와 각을 유지하며 동일한 조건으로 평행이동과 회전이동을 했을 경우 한 점의 좌표 값을 통해 다른 한 점의 좌표 값을 유도할 수 있다. 위 그림 1에서 두 점의 좌표는 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} x &= d\cos(a) & x' &= d\cos(a+b) \\ y &= d\sin(a) & y' &= d\sin(a+b) \end{aligned} \quad (1)$$

이 중 x', y' 의 좌표를 삼각함수의 덧셈을 이용하여 풀어쓰면 다음 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} x' &= d\cos(a)\cos(b) - d\sin(a)\sin(b) \\ y' &= d\cos(a)\sin(b) + d\sin(a)\cos(b) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)의 x 와 y 의 값을 식 (2)에 대입한 결과를 행렬의 곱으로 변환하여 나타내면 다음 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3)$$

이와 마찬가지로 좌표 값을 알고 있는 한 점을 제외한 다른 점의 개수가 늘어나도 그 좌표 값을 유도할 수 있음은 동일하다.

III. 제안 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 무선 센서 네트워크에서 주어진 상황에 따라 다수의 쿼드콥터들이 선도기 추종 방법을 사용하여 편대를 유동적으로 구성할 수 있는 비행 기법이다. 제안하는 편대 비행 방법은 세 가지 구조로 다음 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

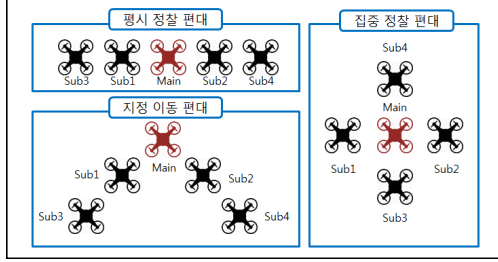


그림 2. 편대 비행 방법

위 그림 2에서 보는 바와 같이 첫 번째는 평시 정찰 편대로 ‘-’ 자 구조로 평시에 넓은 탐지 범위를 가지기 위해 사용한다. 두 번째는 지정 이동 편대로 ‘^’ 자 구조를 통해 공기 마찰을 최소화하여 빠르게 비행할 수 있는 구조이다. 마지막은 집중 정찰 편대로 ‘+’ 자 구조를 띠고 있으며 특정 상황이 발생한 경우에 사용하여 좁은 범위를 집중적으로 탐색할 수 있는 구조이다.

3.1 평시 정찰 편대 알고리즘

평시 정찰 편대는 ‘-’ 자 구조로 비행하며, 특정 상황에 제약을 받지 않고 정찰 임무를 수행한다. 제안하는 평시 정찰 알고리즘은 중앙의 메인 쿼드콥터를 기준으로 좌측에 홀수 번째, 우측에 짝수 번째 쿼드콥터가 위치한다. 서브 쿼드콥터들의 위치 알고리즘은 다음 수식 (4)와 같다.

$$x_3 = \begin{cases} -\frac{k}{l}(y_2 - y_1) \times \frac{n+1}{2} + x_1 & (n \bmod 2 = 1) \\ -\frac{k}{l}(y_2 - y_1) \times \frac{n}{2} + x_1 & (n \bmod 2 = 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$y_3 = \begin{cases} -\frac{k}{l}(x_1 - x_2) \times \frac{n+1}{2} + y_1 & (n \bmod 2 = 1) \\ -\frac{k}{l}(x_1 - x_2) \times \frac{n}{2} + y_1 & (n \bmod 2 = 0) \end{cases}$$

위 수식 (4)에서 메인 쿼드콥터의 위치는 (x_1, y_1) , 목적지의 위치는 (x_2, y_2) , 서브 쿼드콥터의 위치는 (x_3, y_3) 로 한다. 또한 쿼드콥터간의 거리는 k , 메인 쿼드콥터와 목적지 사이의 거리는 l , 서브 쿼드콥터의 번호를 n 이라 한다.

3.2 지정 이동 편대 알고리즘

지정 이동 편대는 ‘^’ 자 구조로 특정 지점으로 빠르게 이동을 해야 하는 경우에 사용한다. 메인 쿼드콥터는 꼭지점, 좌측 하단에 홀수 번째,

우측 하단에 짝수 번째 서브 쿼드콥터들이 위치한다. 서브 쿼드콥터들의 위치 알고리즘은 다음 수식 (5)과 같다.

$$x_3 = \begin{cases} \left(-\frac{k}{\sqrt{2}}\cos\theta + \frac{k}{\sqrt{2}}\sin\theta\right) \times \frac{n+1}{2} + x_1 & (n \bmod 2 = 1) \\ \left(\frac{k}{\sqrt{2}}\cos\theta + \frac{k}{\sqrt{2}}\sin\theta\right) \times \frac{n}{2} + x_1 & (n \bmod 2 = 0) \end{cases} \quad (5)$$

$$y_3 = \begin{cases} \left(-\frac{k}{\sqrt{2}}\sin\theta - \frac{k}{\sqrt{2}}\cos\theta\right) \times \frac{n+1}{2} + y_1 & (n \bmod 2 = 1) \\ \left(\frac{k}{\sqrt{2}}\sin\theta - \frac{k}{\sqrt{2}}\cos\theta\right) \times \frac{n}{2} + y_1 & (n \bmod 2 = 0) \end{cases}$$

위 수식 (5)에서 메인 쿼드콥터의 위치는 (x_1, y_1) , 목적지의 위치는 (x_2, y_2) , 서브 쿼드콥터의 위치는 (x_3, y_3) 로 한다. 또한 쿼드콥터간의 거리는 k , 서브 쿼드콥터의 번호를 n 이라 한다.

3.3 집중 정찰 편대 알고리즘

집중 정찰 편대는 ‘+’ 자 구조로 특정 상황이 발생한 경우에 좁은 범위를 집중적으로 탐색한다. 중심의 메인 쿼드콥터를 기준으로 상하좌우에 서브 쿼드콥터들이 위치한다. 서브 쿼드콥터들의 위치 알고리즘은 다음 수식 (6)과 같다.

$$x_3 = \begin{cases} -k\cos\theta \times \frac{n+3}{4} + x_1 & (n \bmod 4 = 3) \\ k\cos\theta \times \frac{n+2}{4} + x_1 & (n \bmod 4 = 2) \\ -k\sin\theta \times \frac{n+1}{4} + x_1 & (n \bmod 4 = 1) \\ k\sin\theta \times \frac{n}{4} + x_1 & (n \bmod 4 = 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$y_3 = \begin{cases} -k\sin\theta \times \frac{n+3}{4} + y_1 & (n \bmod 4 = 3) \\ k\sin\theta \times \frac{n+2}{4} + y_1 & (n \bmod 4 = 2) \\ k\cos\theta \times \frac{n+1}{4} + y_1 & (n \bmod 4 = 1) \\ -k\cos\theta \times \frac{n}{4} + y_1 & (n \bmod 4 = 0) \end{cases}$$

위 수식 (6)에서 메인 쿼드콥터의 위치는 (x_1, y_1) , 목적지의 위치는 (x_2, y_2) , 서브 쿼드콥터의 위치는 (x_3, y_3) 로 한다. 또한 쿼드콥터간의 거리는 k , 서브 쿼드콥터의 번호를 n 이라 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

제안하는 알고리즘의 효율성을 증명하기 위하여 시뮬레이터를 제작하였다. 본 논문에서 사용한 시뮬레이터는 C# 언어와 7개의 고정 노드, 5개의 쿼드콥터가 사용되었다. 시뮬레이터는 하나의 화재 감지 시스템을 가정한다. 가상 노드와 쿼드콥터가 일정 거리 이상 가까워지면 해당 노드로부터 센싱 데이터를 수집 받는다. 평시 정찰 편대로 비행하던 쿼드콥터들은 수집 받은 데이터에서 화재 감지가 확인되면 집중 정찰 편대로 바뀌어 화재 감지가 된 노드들을 반복적으로 비행한다.



그림 3. 시뮬레이터 초기 화면

시뮬레이터의 초기 화면은 위 그림 3에서 보는 바와 같이 하단에 보이는 5개의 원 중 중앙에 있는 원이 메인 쿼드콥터, 좌우에 있는 작은 원은 서버 쿼드콥터들을 나타내고 불규칙하게 퍼져있는 큰 원은 고정 센서 노드를 나타낸다.

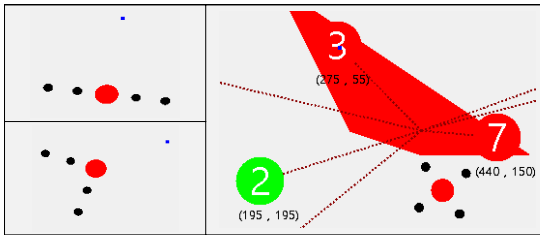


그림 4. 편대 비행의 종류

특정 목적지를 설정하면 쿼드콥터들이 위 그림 4의 좌측 상단과 같이 평시 정찰 편대로 비행하는 것을 확인할 수 있다. 또, 시뮬레이터 상단의 지정이동모드를 선택했을 경우 그림 4의 좌측 하단과 같이 지정 이동 편대로 이동하게 된다. 마지막으로, 위 그림 4의 우측과 같이 임의의 지점에 화재를 발생시키고 특정 노드가 화재를 감지한다면 쿼드콥터가 고정 노드와 통신을 통해 화재 발생 사실을 알게 된다면 화재 발생이 감지된 노드를 향해 집중 정찰 편대로 이동하게 된다. 위 3가지 경우를 통해 제안한 알고리즘에 따라 쿼드콥터들이 상황에 맞는 편대를 구성하여 이동하는 것을 확인할 수 있다.

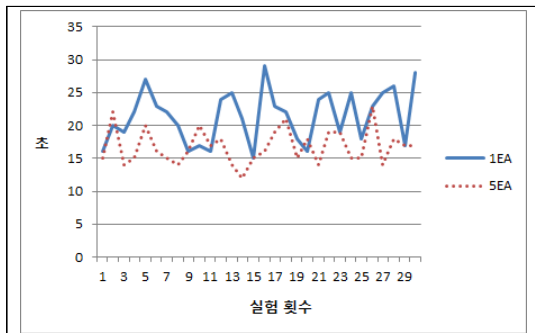


그림 5. 비교 실험 결과

위 그림 5는 본 연구의 효율성을 비교 증명하기 위한 시뮬레이션 결과로 쿼드콥터가 1개, 5개 인 경우 최초 화재감지시간을 각각 측정하여 그

래프로 그린 것이다. 그 결과 5개의 쿼드콥터를 사용하는 경우에 더욱 빨리 화재를 감지한다는 사실이 확인 되었고, 본 연구가 더 빠르고 광범위한 관측이 가능함을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 연구에서 확립되었던 편대의 구조를 벗어나 상황에 맞는 임무를 효율적으로 수행할 수 있는 다양한 편대 구조 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 쿼드콥터들이 비행 중 센서로부터 수집된 데이터에 따라 임무 수행에 최적화된 편대 구조를 구성하는 방법이다. 시뮬레이션 환경에서는 쿼드콥터 편대가 여러 센서로부터 데이터를 수집한다. 수집한 데이터를 서버로 전송 및 분석하여 재난·재해를 발생 초기에 감지할 수 있다면 산사태와 구조물 붕괴, 지진 등 다양한 방면에서 활용될 수 있을 것이다. 또한 재난·재해를 사전에 감지함으로써 많은 재산 및 인명 피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 추가적으로 고정 센서 노드의 역할은 최근 이슈화되고 있는 IoT(Internet of Things)기술을 통해 다양한 사물이 대체할 수 있을 것이다. 앞으로 실제 비행시험을 통해 제안한 알고리즘을 적용한 쿼드콥터 편대를 구현할 계획이다.

<감사의 글>

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 산학협력 특성화 지원사업(NPA-2014-H0808-14-1007) 및 한국기술교육대학교 교육연구진흥비의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] 문형환, 박재형, “임베디드 쿼드콥터키트를 이용한 원격 무인정찰 시스템”, 전남대학교 학사학위논문, 2014. 8
- [2] 변상민, 이경민, 윤석훈, “다중센서를 이용하는 쿼드콥터 자율항법 알고리즘”, 한국공학·예술학회 논문지, 제5권, 제1호, pp. 109-117, 2013. 8
- [3] Young-jun Oh, Kang-whan Lee, “Energy Conserving Optimal path Schedule algorithm in Ad-hoc networks”, Journal of Convergence Information Technology, Volume8, Number14, 2013. 9
- [4] 김성환, 조성범, 박상혁, 김도완, 유창경, “군집비행을 위한 상대 거리정보 기반의 편대 유도기법 설계”, 제어로봇시스템학회 논문지, 제18권, 제2호, pp. 87-93, 2012. 2
- [5] 박철우, 김유단, “온보드 실시간 정보공유를 이용한 고정익 무인기의 Leader-Follower 편대비행”, 한국항공우주학회, 2013년도 추계학술대회, pp. 426-429, 2013. 11