

## 소형 무인 비행체 집단의 이동성 제어 기법

남수현\*, 최명환\*, 최효현\*\*

### Group Mobility Control Mechanism for Micro Unmanned Aerial Vehicle

Su Hyun Nam\*, Myung Whan Choi\*, Hyo Hyun Choi\*\*

#### 요약

본 논문에서는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)을 이용하여 목표물을 찾은 후 기지국까지 통신 네트워크를 제공하기 위해 UAV 집단을 제어하는 방안을 제안한다. 기존의 통신 시설을 이용하지 않고 UAV들 간에만 무선 랜 통신이 가능하다고 가정한다. 제안 방안은 UAV들이 탐색지역 내에 위치한 목표물을 찾기 위해 기지국으로부터 선형 형태로 출발하고 목표물을 찾은 후에, 목표물에 대한 정보를 기지국까지 전달하기 위하여 UAV 그룹을 이동시킨다. 이 때, 목표물을 발견한 최소 하나의 UAV는 그 위치에 머무른다. 본 논문은 기지국으로의 이동하는 과정에서 안정적인 연결성을 유지하기 위한 방법을 설명한다. NS-2를 사용한 모의실험을 통하여 제안되는 기법을 검증하고 성능을 평가한다. 제안 기법은 기존의 통신 시설을 이용할 수 없는 재난 상황이나 전시 상황과 같이 UAV가 사람을 대신하여 목표물을 감지하며 기지국으로 신속히 전달하는데 유용하게 사용될 수 있다.

▶ Keyword : 소형 무인 비행체, 연결성, 그룹 이동성

#### Abstract

We propose control mechanism of UAV(Unmanned Aerial Vehicle) group for making the communication network to the base station after the target is found. We assume UAVs can communicate to each other by wireless LAN without existing communication infrastructure. UAVs started to fly in linear formation, after finding target, UAVs move to the base station to send the

• 제1저자 : 남수현    교신저자 : 최효현

• 투고일 : 2012. 01. 08, 심사일 : 2012. 01. 26, 게재확정일 : 2012. 02. 06

\* 서강대학교 컴퓨터공학과 (Dept. of Computer Science and Engineering, Sogang University)

\*\* 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 (Dept. of Computer Science, Inha Technical College)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No.2011-0014740)

information about the target. At least one UAV stays the position that the target is found. This paper explains the mechanism supporting reliable connectivity during UAV group's flying. We verify the proposed scheme and evaluate the performance through NS-2 simulation. The proposed scheme can be applied to the disaster area and war zone, which the existing communication infrastructure cannot be worked.

▶ Keyword : micro unmanned aerial vehicle, connectivity, group mobility

## I. 서론

최근 몇 년 동안 로봇, 무인 자동차와 무인 비행기에 대한 뉴스가 관심을 끌면서, 현재 까지 사람이 힘들게 수행하던 작업들을 로봇들이 자동으로 수행해주는 시대가 도래하여 로봇 청소기, 물품 자동 운반기, 공항안내 로봇과 이족보행 로봇 등이 현재 실용화 되었다. 현재의 연구개발 동향은 로봇과 자동차의 자동주행과 같은 기초 지식을 바탕으로, 소형으로 제작하여 비용을 줄이고 보관 및 이동을 용이하게 하기 위한 방법을 모색한다. 이러한 소형 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 재해정보 수집이나 군대에서의 활용을 목적으로 개발되어 왔다. 재난 상황에서 기존 통신 인프라가 붕괴된 상황에서 응급 처리를 요하는 환자를 찾거나, 재난 상황을 모니터링 하는 활용과 국방에서의 적의 탐지, 야근끼리의 통신 수단으로 활용하는 수준을 넘어서 스파이 활동, 개인 일상 비서 등의 다양한 응용이 이어질 전망이다. 이러한 응용들이 활성화 되면 무인 항공기 기기 산업에서 이를 활용한 서비스 산업으로까지 확장되어 많은 경제적 부가가치가 창출될 것이다.



그림 1. 소형 무인 비행체  
Fig. 1. A Micro Unmanned Aerial Vehicle

소형 무인 비행체 제작 분야에, 또는 산업에 관련된 많은 연구 기관들과 업체들이 뛰어들었으며 앞서 전술한 바와 같이 사람 손 위에 올라갈 정도로 작은 비행기가 실용화에 와 있다. 그러나, 소형 무인 비행체는 기기 자체의 기술개발과 더불어 군집제어라는 기술이 필요하다. 소형이므로 한 개체가 넓은 범위에서 동시에 많은 일을 수행하지 못하기 때문이다. 비행체이므로 제어와 결과를 얻는 주 통신 방법은 무선으로 이루어

어져야 하나, 그 크기와 가격의 제한성으로 인해 전송 범위가 큰 위성 통신 모듈을 사용하는 것은 현실적으로 어렵다. 또한 군집 제어를 위해서 무인 비행체들 간에 무선통신으로 서로의 정보를 교환하고 결정하는 분산 제어의 방법이 필요하다.

Song Lu와 HuaTing-lei는 "A summary of key technologies of ad hoc networks with UAV node"[1]에서 분산 제어를 위하여 멀티 홉 네트워크를 형성하고 적용시킬 방법으로, 모바일 애드 hoc 네트워크(Mobile Ad Hoc Network)나 센서 네트워크에서 많은 기술 개발들이 이루어 졌다는 것을 보여주었다. 본 논문에서는 앞서 언급한 재난상황에서 UAV그룹이 목표물을 찾은 후 신속하게 이동하고, 이동하는 과정에서 안정적인 통신 체계를 유지하기 위한 UAV 그룹 제어 방안을 제안한다. 제안되는 방안은 두 가지로 각각 Method1과 Method2로 명시한다. 두 방안의 이동과정은 모두 Homogeneous System을 따르며 최소 경로 이동을 선점한다. 이러한 목표로 이루어지는 각 방안의 과정은 다음과 같다.

Method1과 Method2에서 목표물을 발견한 UAV를 Center Node라 지칭한다. Method1에서 Center Node는 목표 지점까지 모든 UAV를 이동 완성 시간을 기준으로 3단계로 나누어 이동시킨다. Method1은 다른 UAV가 이동이 끝날 때 까지 기다리는 시간차가 존재하여 그룹 형성은 다소 느린 편이나, 모든 UAV들이 동일한 도착 시간과 이동 방식을 가져 안정적인 연결성을 유지하며 이동할 수 있다. Method2는 최종 형태를 만들기 위한 이동 간에 UAV들의 이동속도와 거리가 달라 도착하는 시간이 다르고, UAV들 간에 간격 또한 일정하지가 않아 충돌 가능성이 높고 안정성이 낮다. 하지만, Method1보다 빠른 군집 완성이 가능하다. 필자는 이러한 방안들이 UAV를 이용한 인명구조와 같은 긴급 상황에 쓰인다고 가정하였을 때, 상황 별로 적합한 방안이 무엇인지에 대해 논하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장 관련연구에서는 주요 연구와 관련된 기존의 연구내용을 기술하였고, 주요 연구에 대한 이슈 및 가정을 서술하였다. 3장에서는 제안 방안인 Method1과 Method2에 필요한 값들을 구하는 방법과 UAV들이 기지국까지 이동하는 과정을 보인다. 4장에서는 시

나리오에 대한 시뮬레이션 모델링 및 결과 분석을 보인다. 5장 결론 및 향후 과제에서는 논문의 결론을 맺고 추후 개선 방향에 대해서 논한다.

## II. 관련 연구

### 1. 연구 배경

군집 이동은 크게 동질(Homogeneous)시스템과 이종(Heterogeneous)시스템 두 가지로 구분할 수 있다. 동질 시스템은 군집 이동을 이루는 로봇들이 비슷한 구조와 성능을 가져 같은 역할을 수행하는 것이고, 이종 시스템은 서로 다른 구조와 성능을 가져 역할 수행을 달리 하는 것이다. 동질 시스템은 로봇간의 행동규칙이 일관성이 있고 환경변화에 대한 반응능력도 같아 의도치 않은 변화에 대한 대처방안을 같은 시각으로 볼 수 있다. 하지만, 이종 시스템은 행동 규칙이나 환경 변화에 대한 반응 능력이 각각일 경우 대처방안을 달리 주어 문제 해결의 복잡성은 더욱 증가된다.

이러한 Communication-sensitive에 의존한 임무 수행을 기반으로 로봇간 군집 이동 방식의 설계를 하게 된다면, 개별로 움직이는 로봇의 이동에 대한 타당성을 확신할 수 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 기지국으로의 연결성을 확보하는 방안 에 근접하기 까지 군집이동 방식을 동질 시스템으로 적용시킨다. 탐색이 마무리가 되면 UAV들 중 먼저 목표물을 발견한 UAV는 Center Node가 되어, 다른 UAV들이 Center Node로부터 기지국까지 일직선 형태로 위치할 수 있는 기준이 된다. 이 과정에 있어 고려할 사항은 다음 4가지로 분류할 수 있었다.

1. UAV간의 충돌 가능성
2. 이동 간에 낮아지는 연결성
3. 자리 위치 후 지속적인 패킷 전송
4. 빠른 위치 이동과 이동 간에 연결성 보장

1과 2를 해결하기 위해 동 시간대에 UAV들이 이동해야 할 거리와 속도를 조절하여 기지국까지 이동해야 한다.

Kaminka의 "Using sensor morphology for multirobot formations"[2]과 Radhakrishnan의 "Target tracking with communication constraints: An Aerial perspective"[3]에서는 센서를 사용하여 현재 UAV가 다른 UAV와의 상대적 위치를 파악하여 서로 간에 거리를 유지하였고, 거리 차에 따른 가중

치 값을 다르게 적용하여 두어 UAV의 움직이는 속도를 달리 하였다. 두 연구에서는 센서를 사용한 추적 방식이 센서로 감지 가능한 범위 안에 존재하는 UAV의 위치와 방향에 따른 영향이 크고, 센서의 범위 밖에 UAV는 배제하게 된다. 본 논문에서는 이러한 점을 착안하여 GPS를 사용하였으며, UAV들끼리 서로 위치를 확인할 수 있다는 사실을 가정하였다.

[3]의 논문에서 본 논문의 이동 방안 연구에 동기가 된 Motion Assignment는, UAV가 한 위치에서 다른 위치로 이동하였을 때 각각에게 주어진 속도의 가중치와 Heading Angle( $\theta$ )로 최소한의 시간동안 목표지점 까지 이동하는 알고리즘을 제안한다. 이러한 방식을 적용하여 동일한 시간동안 UAV들이 Homogeneous System을 기반으로 군집 형태를 유지하며 이동할 수 있다면, UAV간에 일정 거리 유지를 비롯한 연결성의 저하를 줄일 수 있다. 그 외에 Khare, VR의 "Ad-hoc network of uav swarms for search & destroy tasks"[4]에서 군지 형태와 상관없이 UAV의 인식범위를 나누어 인력과 척력을 적용하고, 이를 통해 군집형태를 유지하는 방법을 참고하였다. 이 논문을 근거로 본 논문에서는 UAV들의 선형 군집형태를 유지시키며 서로 간에 충돌을 줄일 수 있게 한다.

I. Rekleitis의 "Experiments in free space triangulation using cooperative localization,"[5]의 연구에서는 IEEE 802.11프로토콜의 패킷 전송 거리를 파악할 수 있었다. 802.11의 표준 전송거리는 무선기술 WI-FI로 150m까지 가능하다. 실험에 적용되는 환경이 제한된 지역이라는 점에서, 통신거리가 짧은 UAV들이 얼마나 가깝고 서로 간에 통신이 가능한 위치에 배치되었는지에 따라 지속적인 패킷 전송 여부가 정해진다. UAV간에 통신이 허용되는 Detection Range를 프로토콜의 표준기준에 맞추어 적용시켰고, UAV는 충분하다는 점을 가정사실로 두어 실험을 진행하였다. 이러한 거리를 유지하기 위해 UAV들은 서로 간에 위치를 확인하고 정보를 전달 할 수 있는 메시지 교환이 필요하였다.

de Freitas, E.P의 "UAV Relay Network to Support WSN Connectivity"[6]는 Beacon메세지를 사용하여 UAV간 거리 차에 따른 신호의 강약으로 UAV의 이동속도를 조절하여 군집을 유지하였고, Daniel, K의 "A Communication Aware steering strategy avoiding self-separation of flying robot swarms"[7]은 [6]의 연구에서 이루어진 군집 간에 거리를 유지하는 방식으로 추가 제안하였다. 두 연구는 군집 형태 유지를 위하여 Beacon메세지를 사용하는데 주안점을 두었지만, 본 논문에서는 GPS로 확인한 좌표를 Beacon메세지를 통해 패킷을 전달하고, 전달받은 UAV는 다

른 UAV와의 거리차를 가중치로 삼아 마지막 이동 지점까지 위치하기 위해 필요한 속도 및 거리를 계산하는데 사용하였다.

2. 연구 사항

본 장에서는 UAV들이 군집을 이루어 목표물을 탐색하고 그에 대한 정보를 기지국까지 연결하는 과정 간에 이슈와 그에 대한 해결책을 설명한다. 시나리오의 중점 이슈는 <그림 2>를 진행하는 동안 어떻게 패킷 전송에 대한 연결성을 유지할 것인가이다.

이를 중점으로 각 이슈를 목표물 탐색은 어떻게 할 것인가, 이동할 때 군집은 어떻게 유지할 것인가, 이동 중 연결성이 저하되면 어떻게 할 것인가와 마지막으로 목표물을 찾은 후 기지국까지 정보를 빠르고 안정적으로 전달하는 방법이 무엇인지에 대하여 총 4가지로 나누었다.

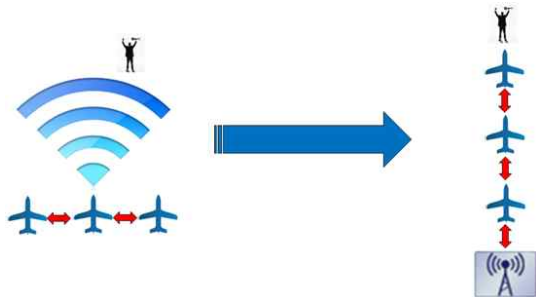


그림 2 전체 시나리오  
Fig. 2. The overall scenario

UAV들의 탐색 과정을 포함한 모든 움직임은 동질의 환경을 갖는다. 이러한 동질의 환경은 앞서 언급한 중점 이슈를 고려하면 연결성을 유지할 수 있게, 탐색의 방향성과 방향으로 나아가기 이동속도를 맞추어야 한다. 본 논문에서는 이에 군집형태를 기지국으로부터 목표물까지 탐색 지역범위 안에 UAV들을 선형으로 배치하여 1방향 1수행 탐색을 수행한다.

탐색과정 중 UAV들의 위치확인인 GPS를 사용하여 서로 간에 좌표를 확인하고 알 수 있어야 한다. 목표물을 찾은 후 기지국까지 정보를 빠르게 전달하는 방법의 논점은 어떻게 기지국까지 UAV들을 일직선 형태로 배치하느냐이고, 이러한 배치를 단 시간에 연결성이 저하되지 않는 서로의 통신 범위 안에서 UAV들을 어떻게 동시에 움직이느냐가 안정적인 정보 전달 방식에서의 주요 연구사항이다.

위와 같은 연구문제를 다루며 본 논문에서 중점적으로 살피는 방안들에 변수로 작용할 수 있는 문제점들을 아래와 같이 가정으로 두었다. 가정들은 향후 과제로서 앞으로 해결해야 할 문제점이기도 하다.

- 첫째, UAV의 연료와 탐색에 있어 필요개수는 충분하다.
- 둘째, UAV의 탐색고도는 일정하다.
- 셋째, UAV는 탐색구역의 모서리에 위치하지 않는다.
- 넷째, 탐색지역 내 장애물은 존재하지 않는다.
- 다섯째, 탐색에 있어 환경은 방해요소가 되지 않는다.
- 여섯째, 탐색구역의 위치 및 크기는 탐색 시작 전에 알고 있다.
- 일곱째, 기지국은 여섯째에 근거하여 항상 시작점의 중앙에 위치해야 한다.

III. 제안 방안

UAV가 목표물을 발견 후 기지국까지 연결을 유지하는데 있어 특정 값이 필요하다. 이러한 값은 각 Method의 과정에서 일괄된 움직임을 보여주기 위한 전제조건이기도 하다. UAV가 목표물을 탐색할 때, 목표물은 정해진 위치에 존재하지 않는다. 탐색과정 도중 발견될 수도 있고 탐색이 끝난 후에 발견될 수도 있다

1. 기지국까지의 연결성 확보를 위한 주요값들

1.1 Neighbor UAV3

모든 UAV들은 목표물을 찾는 이동 간에 자신의 옆에 존재하는 이웃 UAV를 파악해야 한다. 이동하면서 자신의 존재유무를 이웃 UAV에게 알릴 시, 패킷에 자신의 좌표와 Node ID를 전달한다. 전달 받은 UAV는 자신의 좌표와 비교하여, 그 거리 값이 자신의 Detection Range 범위 안에 포함된다 판단되면 해당 신호를 보낸 UAV는 신호를 받은 UAV의 이웃 UAV가 된다. 이러한 UAV들 중 가장 가까운 범위 안에 속한 UAV가 위치에 따라서 왼쪽과 오른쪽의 이웃 UAV로 설정된다.

1.2 LRM 과 RRM

모든 UAV들은 목표물을 탐색 도중 서로 패킷을 주고받으며 자신의 양 옆에 존재하는 UAV들의 개수를 미리 파악하고, 이러한 값들을 LRM(Left Receive Message)과 RRM(Right Receive Message)으로 저장한다. LRM과 RRM은 해당 UAV가 기지국까지 이동할 위치를 파악 후, 이동하는데 있어서 적용시켜야 할 속도의 배율값과 관련이 있다.

1.3 Center Node

탐색 하는 과정에서 목표물을 먼저 발견한 UAV는 Center Node(CN)가 된다. Center Node가 된 UAV는 목표물을 추적

하며, 다른 UAV들이 기지국까지의 연결을 유지하기 위한 군집을 형성하는데 있어 이동하는 거리와 속도, 기지국까지의 방향, 먼저 이동할 순서 등을 제어할 수 있는 기준이 되어준다. Center Node가 된 UAV는 자신의 Node ID를 주변 UAV에게 전달하여 목표물을 발견한 UAV라는 사실을 알리며, 자신의 좌표와 목표물의 좌표 등을 패킷에 담아 이웃 UAV에게 전달한다. 전달받은 UAV는 값을 다른 이웃 UAV에게 재전달한다. Center Node가 바뀌게 되면 각 UAV들은 새로운 Center Node의 정보를 전달받고 기준값을 갱신 한다. 전달받은 값을 다시 저장하고 받았다는 신호를 새로운 Center Node에게 보낸다.

1.4 Unification Movement

Unification Movement(UM)는 UAV들이 Method1에서 일정한 속도로 통합 이동을 하기 위한 공통 배율값으로 쓰인다. UM은 Center Node가 결정될 때 함께 정해지고, 이 값은 CN과 함께 패킷에 담아 이웃 UAV들에게 전달된다. 이러한 UM은 Center Node가 된 UAV의 LRM과 RRM으로 결정되며, UAV들이 신호를 전달하기 위한 방향인 direction값도 정해진다 Center Node의 LRM이 RRM보다 작으면 LRM이 UM값이고, direction은 -1이다. LRM이 RRM보다 크면 RRM이 UM 값이고, direction은 +1이다.

1.5 Heading Angle

목표물 T를 발견했을 때 발견한 UAV에서 기지국 B까지의 Heading Angle(θ)(이하 HA)을 알아야 한다. 이러한 HA는 다른 UAV들이 기지국까지 이동하는데 있어 척도가 되며 공통으로 적용된다. 먼저, GPS로 Center Node와 기지국(B)까지의 X축 거리를 알아낸 후 이 차를 “w”로 정하고, Y축 거리를 “h”로 정한다. 각 θ는 “w”와 “h”값을 이용하여 다음에 식으로 계산할 수 있다.

$$\tan\theta = \frac{h}{w}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{w}$$

수식 1. Heading Angle  
Equation. 1. Heading Angle

이렇게 계산된 HA(θ)는 Center Node 기준에서 왼쪽과 오른쪽 중 UAV가 많은 라인쪽으로 그 값이 지정된다. UAV의 수 비교는 UM이 정해지는 과정에서 결정되는 direction 값에 의해 알 수 있다. 반대편은 180-θ이다. 예로 들자면, Center Node의 RRM > LRM이면 RRM쪽의 HA는 θ이고,

LRM쪽의 HA는 180-θ가 된다.

1.6 Safety Count

목표물 T를 발견한 Center Node는 이웃 UAV에게 패킷에 각각 자신의 LRM과 RRM값을 실어 보낸다. LRM은 자신의 왼쪽 UAV들에게 보내고, RRM은 오른쪽 UAV들에게 보낸다. Center Node의 LRM, 또는 RRM을 수신받은 UAV는 그 신호를 보낸 UAV의 Node ID값을 자신의 ID값과 비교한다. 자신의 ID값보다 큰 UAV라면 Center Node의 LRM과 자신의 LRM을, 작은 UAV라면 Center Node의 RRM과 자신의 RRM을 비교하여 그 차를 구하며, 값은 해당 UAV가 Center Node로부터 떨어진 거리값이 된다. 이 값이 Safety Count(SC)로서 UAV들이 목표물과 기지국을 서로 연결짓기 위해 이동하는데, 총 이동거리와 속도의 배율값으로 쓰인다.

2. 기지국까지의 연결성 확보방안

앞서 언급한 값들이 정해지는 과정에서, 값을 저장하기 위해 쓰이는 모든 UAV들의 시스템 필드와 패킷 필드는 다음과 같다.

표 1. UAV 시스템 필드 & 패킷 필드  
Table 1. UAV System field & Packet field

| 필드                          | 역할                            |
|-----------------------------|-------------------------------|
| CN (Center Node)            | 목표물을 찾은 UAV의 Index            |
| SC (Safety Count)           | 개별 이동거리 배율값                   |
| UM (Unification Movement)   | 통합 이동거리 배율값                   |
| LRM (Left Receive Message)  | 자신의 왼쪽 UAV들의 수                |
| RRM (Right Receive Message) | 자신의 오른쪽 UAV들의 수               |
| SN_PATH (Signal Path)       | SN이 이동할 경로값                   |
| CN_PATH (Center Node Path)  | CN이 이동할 경로값                   |
| HA (Heading Angle)          | Heading Angle θ               |
| NCDT (Next Coordinate)      | UAV가 다음에 이동할 좌표 값             |
| T_X, T_Y                    | 목표물의 좌표값                      |
| C_X, C_Y                    | CN의 좌표값                       |
| Direction                   | Center Node를 기준으로 한 Signal 방향 |

표 2 패킷에 추가 필드  
Table 2. Additional fields in the packet

| 필드             | 역할                                     |
|----------------|--|
| SN (패킷 Signal) | 각 UAV들이 자신의 LRM, RRM의 값을 정하기 위해 보내는 신호 |
| nx, ny, nz     | 이웃 UAV의 좌표값                            |

2.1 Method1

Method1은 Center Node의 LRM과 RRM의 차이에 따라 먼저 이동할 UAV라인이 정해지고, 각 라인 간에 이동하는데 있어 시간차가 존재하며 이러한 움직임은 총 3단계로 나

누어진다.

- (1) Center Node를 기준으로 UAV수가 가장 적은 라인을 먼저 이동시킨다.
- (2) 다음 라인을 먼저 이동시킨 라인의 끝에 위치하는 UAV의 옆으로 이동시킨다.
- (3) (2)의 라인을 기지국까지 일직선으로 정렬시킨다.

Center Node는 자신의 LRM과 RRM을 비교한다. 둘 중 적은 라인의 UAV들을 기지국까지의 축(180-θ)에 맞추어 이동시킨다. 여기서 UAV들이 첫 번째로 이동하게 될 거리를 C라 가정한다. 이때, 각 UAV들이 이동 시작할 처음지점과 도착지점을 Center Node와의 거리를 측정하여 각각 A, B라 하고, 그 사이의 끼인각을 구 한다. A, B는 UAV들의 사이간 거리인 d의 배수이며, 이때 C를 구하는 수식은 <수식 2>와 같다. 모든 이동 완료까지는 <수식 3>과 같이 "T"만큼의 시간이 소요된다.

$$C^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cdot \cos\theta \quad (A, B = d) \\ = 2d^2(1 + \cos\theta) \\ C = d\sqrt{2(1 + \cos\theta)}$$

수식 2. Method1에서 1, 3단계 UAV의 이동거리  
Equation 2. The distance of 1, 3 steps in Method1 UAV

$$T = \frac{D}{V} \quad (D = (SC) d \sqrt{2(1 + \cos\theta)}, V = (SC)v)$$

수식 3. 동일 이동시간 T에 따른 UAV들의 이동거리와 속도계산  
Equation 3. At the same time T, calculated the UAV of the distance and speed

이동이 완료되면 다른 라인의 UAV들은 방향은 θ로 잡고, 이동할 거리는 "UM \* d"로 계산된다. 이때, 도착하는 시간과 속도 모두 동일해야 한다. 해당 UAV들이 도착하면 마지막으로 <수식 3>을 이용하여 UAV들을 기지국까지 일직선 방향으로 위치하게 이동 시킨다.

## 2.2 Method2

Method2는 Method1과 다른 전제조건으로 이동시킨다.

- (1) UAV의 SC값은 재조정되고, 그 목적이 바뀐다.
- (2) 모든 UAV는 서로 다른 시간대에 목표지점까지 도달 한다.
- (3) 빠른 위치선정을 위하여 이동 간 Connectivity는 고려 하지 않는다.

Method1에서 SC는 Center Node로 부터 떨어진 거리를 배율값으로 환산하여 각 UAV가 이동하는 거리와 속도를 조절

해 도착하는 시간 T를 동일시하는데 있다. 그러나, Method2에서의 SC는 그 목적이 다르다. Method1과 같이 이동속도의 배율값으로 기본 쓰임새는 같으나, Method2에서는 Center Node를 기준으로 기지국까지 각 UAV들을 일직선으로 배치시키기 위해 나열되는 위치 순서를 나타내기도 한다.

SC값은 Center Node를 기준으로 UAV수가 적은 UAV들이 홀수배로 적용된다. 반대편 UAV들은 짝수배로 적용된다. 이때, 짝수배로 적용시킨 UAV들은 홀수 값을 가진 라인의 UAV들보다 그 수가 많으므로, 홀수 값을 가진 라인의 UAV들 수만큼만 짝수배로 적용시키고 나머지 UAV들을 크기 1차이의 오름차순으로 정렬한다. 예를 들어, Center Node기준으로 왼쪽 라인의 UAV들이 3개이고 오른쪽 라인의 UAV들이 5개이면, 왼쪽라인의 UAV들은 각각 1, 3, 5의 SC값을 갖고 오른쪽 라인의 UAV들은 각각 2, 4, 6, 7, 8의 SC값을 갖게 된다.

UAV들은 Center Node가 목표물을 발견하고, CN값을 전달하여, 전달받은 UAV들은 Center Node에게 이동 준비완료 신호를 보낸다. 모든 UAV들은 Center Node로부터 이동시작 신호를 받게 되면 이동을 시작한다. UAV들의 초기 시작지점은 서로 일정한 거리를 두고 있지만, 도착하게 될 지점은 일정하지가 않다. 예를 들어, Center Node의 왼쪽 UAV들이 그 수가 적다면, Center Node기준으로 왼쪽 첫번째에 위치했던 UAV는 이동 후 가장 가깝게 위치하고 그 다음 오른쪽 첫번째에 위치했던 UAV가 두번째로 가깝게 위치하게 된다. 여기서, 두 UAV의 이동 후 최종 위치는 UAV간에 d만큼의 일정거리 유지를 하나, 이동하게 될 거리는 수식에 각각 θ와 180 - θ를 사용하여 그 값이 1배, 2배와 같이 일정한 비율로 측정될 수 없다.

$$C^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cdot \cos\theta$$

수식 4. 두 변의 길이와 그 사이의 끼인각으로 구하는 셋째 변의 길이  
Equation 4. Between the length of two sides and the included angle obtain the length of third side

<수식 4>는 <수식 2>에서 응용한 기초 수식으로서 Method1의 이동거리에 사용되었으며, UAV간 거리를 d라 하면 Method1에서는 모든 UAV들의 이동 거리를 <수식 2>와 같은 전제로 계산할 수 있다. 그러나 Method2에서는 UAV의 이동속도가 SC배로 이동한다면, 결국 이동하는데 걸리는 시간은 UAV들 마다 다르게 적용된다.

### IV. 성능 평가

#### 1. 시뮬레이션

##### 1.1 시뮬레이션 모델

제안한 방안들의 시뮬레이션은 NS-2(Network Simulator v2.34)를 이용하여 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 이동 간 UAV들의 충돌 가능 횟수와 기지국까지 모든 UAV들의 이동이 완료되기까지 걸리는 시간 등을 Output으로 산출하였다. 시뮬레이션은 2000m x 1200m크기의 Ad Hoc네트워크에서 8개의 이동 노드와 목표물, 기지국 등의 2개의 고정 노드를 배치하였다. 이동노드는 0에서 7까지의 순번을 가지고 있고, 8번은 기지국, 9번은 목표물이다. 각 이동 노드간의 거리는 150m이며 노드들의 속도는 마이크로 에어 뷁클(Micro Airvehicle)을 모델로 적용하여 20m/s기준으로 설정하였다.

노드들은 세로 100m지점 에서 시작하여 1100m의 도착 지점 까지 총 1000m의 탐색을 실시한다. 기지국은 가로 1000m, 세로 0m인 탐색 지역의 중앙에 위치하였고, 목표물은 양 끝과 중간지점, 그리고 중간과 끝의 사이 2군데 등 총 5군데를 바꿔가며 실험하였다. 위치는 x축으로 475m, 700m, 1000m, 1300m, 1525m이고, y축으로 1200m와 600m 등 두 군데로 나누어 총 10가지의 상황별로 120초 동안 실험 하였다.

Protocol은 AODV를 사용하였으며, 데이터 패킷의 생성은 Hello Message를 사용하였다. AODV에서 노드가 네트워크에 처음 참가하려고 할 때 주기적으로 Hello Message를 이용하여 주변 노드에 자신의 존재를 알리는데, 이러한 Hello Message를 이용하여 경로 설정 없이 주변 노드에게 패킷을 전달할 수 있다. Hello Message의 전송 주기는 0.5초~0.6초로 설정하였다. 그 외 세부적인 시뮬레이션 환경변수는 <표 3>과 같다.

표 3. 시뮬레이션 환경 변수들  
Table 3. Simulation environment variables

| 환경변수                    | 값                 |
|-------------------------|-------------------|
| Channel Type            | Wireless Channel  |
| Radio propagation model | Two Ray Ground    |
| Network interface type  | Wireless Physical |
| MAC type                | 802.11            |
| Link layer type         | LL                |
| Antenna model           | OmniAntenna       |

##### 1.2 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션의 목표는 Method1과 Method2를 1.1에 언급한 내용과 같이 동일한 환경을 적용하였을 때를 전제조건으로 두고, 이동 중 안정적인 연결성 유지와 빠른 군집형성에 상황별로 유리한 이동 방식을 정리하며 최종적으로 재난, 또는 긴급 상황에 적합한 알고리즘이 무엇인지를 결론짓는다.

이때, 시뮬레이션에서 네트워크 내의 모든 노드의 배터리는 무한하다 가정하여, 배터리 영향으로 인한 경로의 단절은 없으며, 모든 노드들은 양방향 링크를 지원한다고 가정하였다.

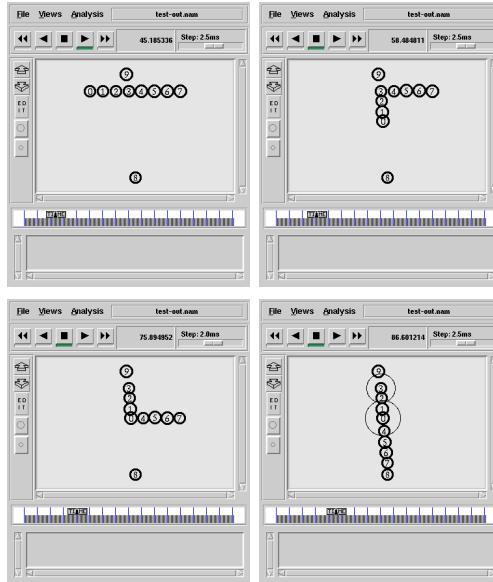


그림 4. Method1 시뮬레이터 과정  
Fig. 4. Method1 process simulator

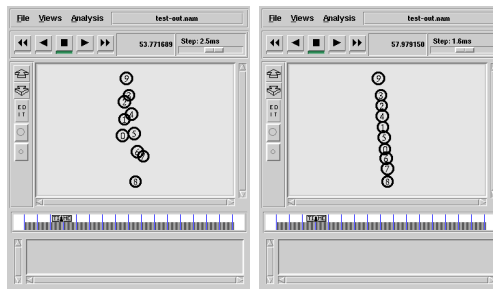


그림 5. Method2 시뮬레이터 과정  
Fig. 5. Method2 process simulator

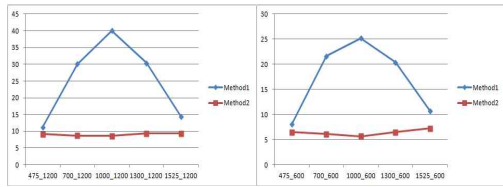


그림 6. Formation 완성 시간  
Fig. 6. The completion time of formation

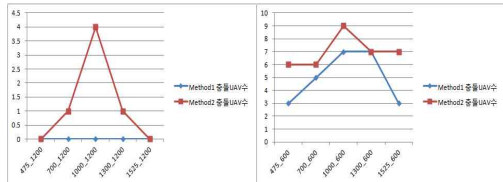


그림 7. 충돌가능성 UAV수  
Fig. 7. A number of potential for conflicts UAV's

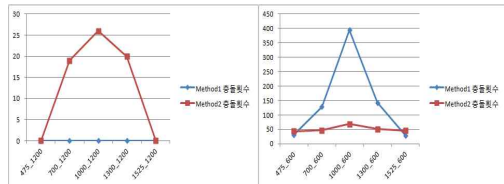


그림 8. UAV 총 충돌 횟수  
Fig. 8. The total number of UAV conflicts

<그림 6>의 그래프를 보면 Method1은 Method2보다 전체적으로 군집 완성 시간이 늦고, 목표물의 좌표에 따라서 그 기복이 크다. 반면 Method2는 목표물이 어떤 곳에 위치하여도 군집 완성 시간이 일정하고 빠르다. Method1은 한쪽 UAV가 움직이는 동안에는 다른 한쪽 UAV가 다음 이동명령을 수행하기 위한 대기시간이 존재하여 불필요한 시간차가 생기며, 이 시간은 먼저 발견한 UAV의 위치가 군집의 끝에 가까게 위치할수록 선행하는 UAV의 동작 시간이 짧아지게 되어 전체 대기시간도 줄어들게 된다. 하지만, 목표물이 군집의 중앙에 위치한 UAV에게 발견되었을 시에 Method1의 군집완성에서 그 시간 차이가 큰 폭으로 나타나게 되며, 이로 인해 상대적으로 Method2가 더 빠른 모습을 보여주고 있다.

<그림 7>과 <그림 8>의 그래프는 UAV간에 거리 차가 100m미만이었을 시 충돌가능성 여부를 판단하고 통계를 내었다. 충돌 가능한 UAV의 수는 Method2가 Method1보다 큰 결과를 보여주었다. Method2는 빠른 위치 이동이 가능하나 Method1과 같이 각각의 UAV들이 일정한 간격의 이동경로를 갖지 않아, 이동시 UAV간에 서로 겹치게 되는 현상이 많아진 것으로 분석된다. 결국, 안정적인 연결성에서는

Method1이 Method2보다 뛰어나다고 볼 수 있다. 그러나, 목표물의 위치가 시작점과 가까워질수록(Y축 600m 지점) Method1에서 UAV들의 이동 복잡도가 커지게 되며 다른 결과를 보여주었다.

Method1의 3단계의 동작에서 그 시간차에 의해 충돌 가능성이 있는 UAV수는 적으나, UAV당 충돌 횟수는 Method2보다 큰 결과를 보여주었다. 반면 Method2는 목표물의 X좌표와 상관없이 충돌 횟수에 기복이 크지 않지만 충돌 가능성 UAV수는 여전히 Method1보다 큰 결과 값을 가져, 연결성면에서는 항상 불안정한 환경을 갖고 있다는 결론을 내릴 수 있다.

제안된 두 방안의 차이는 탐색범위 내 목표물의 발견 위치에 따라서 그 결과가 좌우되며, 안정적인 연결성 면에서는 Method1이 Method2보다 좋고 빠른 군집형성 면에서는 Method2가 Method1보다 좋다. 그러나, Method1은 Method2에 비해 상대적으로 복잡한 이동방식에 의하여 목표물의 발견 위치에 따라서 그 영향을 많이 받게 되며 기복이 크다는 단점이 있다. 반면, Method2는 목표물의 발견 위치에 따른 군집 완성 시간이 큰 차이가 없는 알고리즘이지만, 전체적으로 UAV들의 충돌 가능성이 Method1보다 높고 그 외 불안 요소를 갖고 있는 점이 단점이다. 예를 들어, 이동 도중 목표물이 다른 곳으로 이동시, Center Node가 목표물을 추적 한다. 이때 해당 정보를 전달할 Center Node에게서 UAV들이 기지국까지 이동 중에 정보전달을 받지 못하여 목표물을 놓치는 상황이 생길 가능성이 존재한다.

### V. 결론

본 논문은 UAV 집단이 목표물을 찾은 후 UAV들 간의 통신을 통하여 이동을 제어하여 기지국까지 통신 네트워크를 제공하는 두 가지 방안을 제안하였다. Method1과 Method2라 명명하여 제안하였으며 Method1은 이동 중 충돌 가능성이 낮은 장점이 있고, Method2는 네트워크 제공을 위해 빠른 이동을 하는데 유리하다. 두 이동 방식을 UAV에 적용시키면 실제 재난 현장이나 국방에서의 적의 탐지와 같은 긴급 상황에서 사용될 수 있을 것이다. 추후에, 상반되는 두 방안의 장점을 모두 갖춘 방안을 연구하여 목표물을 찾은 후 제한시간 내에 기지국까지 안정적이고 빠른 데이터 전송이 이루어 질 수 있는 방안을 도출할 계획이다.

참고문헌

[1] Song Lu and Huang Ting-lei, "A summary of key technologies of ad hoc networks with UAV node", Intelligent Computing and Intergrated Systems(ICISS), pp. 944-949, 2010

[2] Gal A. Kaminka, Member, IEEE, Ruti Schechter-Glick, and Vladimir Sadov, "Using Sensor Morphology for Multirobot Formations, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, VOL. 24, NO. 2, 271-281, April 2008

[3] Radhakrishnan. G.S, Saripalli. S, "Target tracking with communication constraints: An Aerial perspective", Robotic and Sensors Environments (ROSE), 2010 IEEE International Workshop on, 15-16, 23 December 2010

[4] Khare. V.R, Wang. F.Z, Sining Wu, Yuhui Deng and Thompson, C, "Adhoc Network of Unmanned Aerial Vehicle Swarms for Search And Destroy Tasks", 2008 4th International IEEE Conference "Intelligent Systems", 6-65p~6-72p, 11 November 2008

[5] I. Rekleitis, G. Dudek, and E. Milios, "Experiments in free space triangulation using cooperative localization," in Proc. 2003 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots Systems, pp 1777-1782, Oct. 2003

[6] de Freitas. E.P, Heimfarth. T, Netto. I.F, Lino. C.E, Pereira. C.E, Ferreira. A.M, Wagner. F.R, Larsson. T, "UAV Relay Network to Support WSN Connectivity", 309p - 314p, 30 December 2010

[7] Daniel. K, Rohde. S, Goddemeier. N, Wietfeld. C, "A communication aware steering strategy avoiding self-separation of flying robot swarms", Intelligent Systems (IS), 2010 5th

[8] Hyun Joon Cho, "A simulation Method for Terminal Mobilities with Regularity in Mobile Networks", Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.10, no.2, pp.133-141, 2005 5th

[9] Jun Pyo Lee and Chul Young Cho, "Development of Remote Control Station and Unmanned

Ground Vehicle using Emergency Operation Technique in Combat Field Situation", Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.16, no.4, pp.225-233, 2011 4th

저자 소개



**남수현**  
 2010: 명지대학교 소프트웨어학과 공학사  
 2010 - 현재: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학석사과정  
 관심분야: 네트워크  
 Email : skib75@gmail.com



**최명환**  
 1978: 서울대학교 공학사  
 1980: KAIST 공학석사  
 1989: U.of Massachusetts, Amherst 전기컴퓨터공학과 공학박사  
 1993 - 현재 : 서강대학교 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야: 유무선 네트워크, 무선 네트워크 보안, 차량 ad hoc & 센서 네트워크  
 Email : mchoi@sogang.ac.kr



**최효현**  
 1994: 서강대학교 전자계산학과 공학사  
 1996: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학석사  
 2005: 서강대학교 컴퓨터공학과 공학박사  
 2005 - 2009: 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
 2009 - 현재 : 인하공업전문대학 컴퓨터정보과 조교수  
 관심분야: 무선 네트워크 프로토콜, 유비쿼터스 컴퓨팅, HCI, 무인비행기 군집 제어  
 Email : hchoi@inhac.ac.kr

