

# HAP 네트워크 지상 노드의 클러스터링

송하윤\*

## 요약

HAP(High Altitude Platform)은 정지위성, 중궤도위성, 저궤도위성, 무인비행기 및 무인비행선 등을 이용하여 고고도에 네트워크의 인프라스트럭처를 전개하여 이를 매개체로 한 네트워크 시스템을 운용하는 것을 가능하게 해준다. 성층권 비행선 통신 시스템은 위성 통신망과 지상 이동 통신망의 장점을 동시에 보유한 시스템으로 긴급 전개 가능, 저비용 서비스 실현, 고속 광대역 서비스 제공, 휴대 단말 통신 가능, 넓은 커버리지에 의한 서비스 지원, 짧은 전송 지연, 초대용량 회선 공급, 사용자 요구에 대한 유연한 응답, 멀티캐스트와 브로드캐스트에 유리, 지상 관리 시설비용의 절감, 네트워크 망 전체의 유연한 증가 가능 등의 특징을 보유하고 있다. 본 논문에서는 넓은 지역에 전개된 다수의 성층권 플랫폼을 가정하고, 지상 노드를 효율적으로 클러스터링 함으로써 어느 위치에 얼마만큼의 커버리지로 성층권 플랫폼이 전개되어야 할지를 연구하였다. 특정 지역에 전개된 지상 노드들은 그 분포한 영역의 넓이와 그 지상 노드들이 요구하는 대역폭의 함수로 나타내지는 수만큼의 성층권 무인 플랫폼이 필요하다. 이러한 성층권 무인 플랫폼을 적절히 배치하여 광대역 네트워크 서비스가 가능하게 하는 동적 클러스터링 결과를 시뮬레이션으로 나타내었다.

## A Clustering for Ground Nodes of HAPS Network

Ha Yoon Song\*

### Abstract

High Altitude Platform network systems utilize Unmanned Aerial Vehicle as routers for ground node communication. For this purpose, geographical clustering of ground nodes must be required. In this paper, we assume mobile ground nodes over wide area and the clusters composed of ground nodes are identified. UAVs can be positioned at the point of centroid of clusters. The number of UAVs are derived from the area size and the number of ground nodes deployed in that area. From the simulation and application of clustering algorithms, we showed visual clustering results with dynamic variance of number of ground nodes.

Keyword : HAPS, Network, Clustering, Simulation

### 1. 서론

자체적으로 다양한 위성 통신 시스템을 구축하기 힘든 국내현실에서 성층권 통신망 구축에 대한 관심이 높아지고 있다. 일례로 성층권 비행선을 이용한 무선통신 시스템 구성을 위해 국내

에서 무인 비행선을 띄우는데 성공한 사례가 보고되었다. 또한 자연 재해로 인해 지상 통신망이 붕괴되거나 험지 및 오지에 전개하기위해서는 통신망이 저비용 고효율의 대표적인 예로 소개되고 있다. 일례로 1994년 캘리포니아의 노스리지 대지진 때는 지상 유선망이 붕괴되어 셀룰러 폰(Cellular Phone)만이 동작하였으며 이 무선전화망으로 인하여 지진 초기에 최소한의 재해구난 시스템이 동작한 예가 보고되어있다.

유럽, 미국, 일본 등의 연구 성과로 현재 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)과 지상간의 통신에 관해서는 상당한 연구가 진척되어 있다. 그러나 성층권에 위치하는 UAV간의 통신 망 구축에 관해서는 연구가 미비하다. 또한 UAV과 통

※ 제일저자(First Author) : 송하윤  
접수일자:2008년02월09일, 심사완료:2008년02월20일  
\* 홍익대학교  
hayoon@wow.hongik.ac.kr  
■ 이 논문은 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2005-D00305-100393)

신위성간의 통신망에 대하여서도 연구가 미비한 실정이다. 본 연구에서는 직접적인 접근 및 실험이 어려운 성층권 UAV간의 네트워크의 환경을 시뮬레이션을 통하여 구현하여 성층권에 존재하는 UAV을 위한 네트워킹 기법 중 가장 핵심이 될 것으로 보이는 클러스터링 기법을 연구하였다. 이러한 클러스터링 기법을 통하여 성층권에 위치하는 UAV과 지상 노드간의 통신만이 아닌 좀 더 넓은 지역에 걸친 성층권에서의 UAV 네트워크를 구성하는 것이 가능해진다. 더불어 클러스터링 기법을 통하여 사용자의 수와 서비스 지역에 따른 최적의 서비스가 가능해진다[7].

우리나라는 근 미래에 성층권 UAV 통신 시스템을 실용화 할 예정이다. 특히 통일에 대비하여 북한에 통신망을 전개해야할 경우 성층권 통신망은 저비용으로 신속히 전개할 수 있다는 장점이 있다. 향후 이 시스템을 실제로 운용 가능하게 하기 위해 국제적으로 활발한 연구가 진행 중이다. 특히 성층권 UAV의 물리적인 운용방법, UAV과 지상 시스템의 통신 방법 그리고 UAV간 통신 및 환경 구성 등이 주요 연구과제로 부각되어 있다. 성층권 통신망은 무선을 이용하기 때문에 물리계층부터 애플리케이션계층까지 다양한 시스템이 사용될 가능성이 있다. 국내에서는 실제 성층권에서의 통신 테스트가 힘든 이유로 네트워크 계층 및 전송 프로토콜의 연구가 미비한 상태이고 이는 앞으로 해결해야할 과제로 남아있다. 현재 상태에서는 UAV 단독으로 한 지역의 통신을 담당하고자 하는 실정이나, 넓은 지역을 커버하기 위하여서는 다수의 UAV이 필요하고, 이 상황에서는 UAV끼리의 네트워크의 구성 및 운용이 필요하게 된다. 여기에 UAV끼리의 클러스터링과 UAV 내부에서의 라우팅 기능까지 고려하여야 한다. 이러한 특성상 최근까지 연구가 지속되고 있는 ad-hoc 네트워크의 관련 기술이 다른 네트워크 분야로 응용되면서 UAV의 독립성으로 인해 센서 네트워크와 유사한 성질을 보임으로 두 분야의 기술이 융합하는 성과를 가져올 것이다.

본 연구에서는 성층권 UAV간 네트워킹 방식의 기반 확립을 위한 시뮬레이션 환경 연구 및 실험을 통해 실제 성층권의 환경에서 효율적으로 UAV간 네트워크를 구성하는 기법을 연구하였다. 시뮬레이터의 모빌리티 트레일을 비주얼라

이제이션 하였고 이는 시뮬레이션의 장점을 최대한 살려서 적은 비용과 인력을 통해 실제에 가까운 환경을 구현하였다. 실제로 성층권 무선 네트워크가 구성되면 오지, 험지, 낙도 인근해까지 국가 기반망의 전개가 가능해지며 시베리아, 아프리카, 남태평양 군도 등을 대상 지역으로 하여 이 기술의 해외 수출도 가능해진다. 이렇게 넓은 지역에 효율적으로 서비스를 전개하기 위하여서는 성층권에서 UAV이 담당하는 지상노드의 동적 클러스터링(Dynamic Clustering)이 반드시 필요해지며 본 연구에서는 클러스터링 기법중 하나를 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 성층권 UAV을 이용한 HAP 네트워크의 기본 사항 및 표준화 현황, 기존의 대표적인 연구에 대해 알아본다. 3장에서는 HAP 네트워크의 기본 구조를, 4장에서는 지상 노드와 UAV간의 통신을 위한 기존 프로토콜에 대하여 알아본다. 5장에서는 UAV간의 통신을 위한 라우팅 프로토콜에 대해 설명하였으며, 6장에서는 HAP 네트워크를 위한 클러스터링 고려사항과 그 알고리즘을 제시하였으며, 7장에서 시뮬레이션을 통하여 몇 가지 의미 있는 클러스터링 결과를 제시하였다. 8장에서 결론 및 향후 연구에 대하여 언급하였다.

## 2. 관련 연구

성층권에 무선 중계 기지를 구축하여 통신에 이용하는 개념은 이미 오래전부터 제안되어 왔지만 구현상 기술적 난이도가 높고, 성층권 접근이 어려워 그 동안 현실화되지 못했다. 그러나 최근 새로운 통신서비스에 대한 시대적 요구와 경량 고인장 강도의 피복재료, 고효율의 태양전지 및 연료전지, 강회 폴리에스터, GPS 항법 시스템 등의 신기술 개발과 더불어 성층권 UAV의 구현이 현실화되고 이를 플랫폼으로 이용하는 무선 통신 개념이 가시화되고 있다. 성층권에 상주할 비행체로는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)와 UAF(Airship)이 주로 대상화되어 있으며, 이중 정지비행(Hovering)이 가능하고 적은 에너지로도 제어가 쉬워 상당한 수준의 이동성을 가지는 UAV이 주로 대상으로 인식된다. 이러한 UAV은 우리나라를 포함한 세계 각국에서

상용화를 목표로 연구하고 있다.

비행선의 정지비행은 지상 노드와 안정적으로 무선연결이 가능한 환경을 제공하며, 이동성은 클러스터의 구성 및 재구성을 위한 UAV의 이동에 절대적으로 필요하여 무선 네트워크 서비스의 안정성과 적응성을 위한 필요 최소한의 보장이 가능해진다. 이러한 기반 하에 진행된 국내 외의 다른 연구는 다음과 같다.

국내의 성층권 통신 시스템에 대한 연구는 한국전자통신연구원의 주관 하에 한국항공우주연구소 및 SK 텔레콤의 공동 연구로 수행되고 있으며, 많은 자원을 요구하는 방대한 프로젝트인 만큼 국책사업으로 채택이 될 때, 실질적인 결실을 얻게 될 것이다. 우리나라에 가장 적절한 성층권 비행선의 운용고도는 20.6 ~ 23.8Km 상공이며, ITU에 의하여 할당된 47.9 ~ 48.2GHz, 47.2 ~ 47.5GHz 주파수대역외 추가로 배정된 HAPS의 분배 주파수인 20/30GHz 대역에서 500MHz 대역폭을 사용하는 것을 검토 중이다.

성층권 통신 시스템의 서비스 지역은 수요에 따른 적기 공급이라는 장점을 최대한 활용하여 초기단계에서는 수도권으로부터 시작하여 대도시 중심으로 확장하고 최종적으로는 한반도 전역 및 연근해를 포함하는 전국이 서비스 될 것이다. 이러한 배경에서 UAV이라는 플랫폼에 탑재된 네트워크 장비끼리의 망 구성이 최근의 연구주제로 떠오르고 있다.

또한 한국항공우주연구원 주관 하에 산업자원부 차세대기술개발사업의 일환으로 2000년부터 추진하고 있는 차세대 통신 중계 및 지구관측용 무인비행선으로 2010년 실용화를 목표로 하고 있으며 2003년 10월에 개발 목표 1단계인 50m급 대형 무인비행선 개발에 성공하였다. 또한 차세대 HAPS 통신시스템 기술개발을 위해 1998년에 한국전자통신연구원 주관 하에 정보통신부 국책과제로서 "성층권 비행선의 의한 전파통신 이용방안에 관한 연구"가 시작되었으며 현재 후속 과제로 한국 항공우주연구원과 SK텔레콤 등이 공동으로 참여하는 "성층권 통신기술 기준 및 핵심 요소기술 개발"에서 100Mbps급 초고속 데이터 통신이 가능한 HAPS용 다중빔 통신탑재체 기술개발 및 HAPS 무선 정보통신 시험시스템 개발을 추진하고 있다. 이러한 국내의 연구는 세계적 연구 수준에 상응하는 것으로

서, 미국, 영국, 일본 등에서 활발한 연구가 진행되고 있으며 세르비아몬테네그로 및 이집트 등도 HAP 네트워크의 상용화에 대한 연구 결과를 발표하고 있다.

<표 1> 국내 성층권 망 기술 계획

1 단계 ('00 ~ '03)	성층권 기술 확보를 위한 50m급 무인비행선 개발
2 단계('03 ~ '07)	성층권 장기체공 무인비행선의 시제기 개발
3 단계('07 ~ '10)	200m급 성층권 장기체공 무인비행선의 실용화 개발

<표 2> WRC 논의사항

회 의	논의된 사항
WRC-97	<ul style="list-style-type: none"> <li>47.2 ~ 47.5GHz 및 47.9 ~ 48.2GHz의 주파수 대역을 HAPS용으로 분배하였으며 타 통신시스템과의 주파수 공유문제를 연구하도록 결의.</li> </ul>
WRC-2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>추가적으로 분배가 가능한 18 ~ 32GHz 분배 검토 연구가 논의되었으며 3GHz 이상의 지상 무선용으로만 분배된 주파수 대역에 대한 HAPS 타당성 연구가 제안.</li> </ul>
WRC-2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>우리나라 HAPS용으로 27GHz 및 31GHz 대역에서 1차 업무와 비간섭 비보호 조건으로 추가 분배 받음.</li> <li>제 2지역 국가들은 모든 업무와 비간섭 비보호 조건으로 사용할 수 있도록 결의.</li> <li>HAPS를 IMT-2000 기지국용으로 이용하기 위하여 필요한 통고 기준과 절차 정함.</li> <li>8GHz 이상 대역에서 고정 및 이동업무 HAPS활용 타당성 연구를 계속 수행하여 차기 WRC 회의에서 검토하기로 함.</li> </ul>

## 2.1 표준화

세계전파통신회의(WRC) 1997에서 처음으로 HAPS용 주파수 대역을 분배한 이후로 HAPS의 실용화를 위해 논의된 사항에 대해 간략히 정리해보면 <표 2>와 같다.

현재 IMT-2000 서비스를 제공하는 지상국으로 HAPS의 이용에 대한 최종 결정사항을 요약하면 다음과 같다.

- HAPS를 IMT-2000 지상 기지국용으로 활용할 수 있다
- HAPS 활용가능 주파수 대역은 IMT-2000 지상용 분배 주파수 대역 중에서 유럽 및 아시아 지역 1885 ~ 1980MHz, 2010 ~ 2025MHz, 2110 ~ 2160MHz와 미주지역 1885 ~ 1980MHz, 2110 ~ 2160MHz이다.
- 상기 주파수 대역에서 HAPS를 이용한 IMT-2000서비스는 동 대역에 분배된 타 일차 서비스와 동등한 권한을 갖는다.
- IMT-2000용 HAPS 기지국이 고도 20km 상공에 위치하고, 비교적 낮은 주파수를 사용하나 주변 국가와의 간섭 레벨에 대해 사전에 상호 조정한다.
- 엄격한 안테나 요구 규격을 설정하고, 위성 이동 서비스의 보호를 위한 대역의 PFD를 설정한다.

## 2.2 미국

현재 미국에서는 무인 연식 비행선을 이용하는 방법과 비행기를 이용하는 무선중계방법이 제안되고 있다. 이중 비행선을 이용하는 방법은 SSI(Sky Station Inc)사가 추진하고 있는 STS(Stratospheric Telecommunication Service)가 대표적이다.

<표 3> 미국 SSI사의 성층권 비행선 제원

파라미터	규격
길이	208m
직경	55m
체적	326,000m <sup>3</sup>
활용 기체	헬륨
수명	5 ~ 10년
페이로드 무게	1톤 이상

SSI사는 2002년 최초 상용 성층권 비행선 발사를 시작으로 2005년까지 250기의 비행선을 이용하여 범국가적 광대역 이동통신망 구축을 목표로 하고 있다. SSI사가 구상중인 HAPS 통신 시스템의 비행선은 길이가 약 208m이며 수용 가능한 가입자 수는 약 백만 명 정도로 예상하고 있다.

## 2.3 일본

일본은 국가적인 프로젝트로서 성층권 무선 통신망 개발을 진행 중이며 최소 양각이 10도일 때에는 서비스 커버리지가 직경 220km로 16개의 비행선으로 일본 전역을 커버할 수 있을 것으로 예상하고 있다. 이를 위하여 비행선끼리의 통신이 성공하였음이 일본에서 보고된 바가 있다. 일본의 성층권 플랫폼 연구개발의 목표는 국가 연구개발 기관 등이 핵심 시스템이 되는 비행선 시스템을 구현하고, 성층권 플랫폼을 이용한 통신, 방송 임무 및 지구 관측 임무의 달성을 통하여 가능한 조기에 성층권 플랫폼의 실용화를 이루는 것이다.

<표 4>는 일본의 추진하고 있는 성층권 플랫폼 연구 개발의 각 분야와 연구개발 항목을 정리한 것이다.

<표 4> 일본의 성층권 플랫폼 연구개발 현황

분야	연구개발 항목
비행선 시스템	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전체 시스템기의 연구개발</li> <li>• 요소기술 연구 개발</li> <li>• 추적 관제기의 연구 개발</li> </ul>
통신, 방송 임무	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전체 통신 시스템 연구개발</li> <li>• 탑재체, 지상 장비 및 무선 액세스 제어 기술 개발</li> <li>• 응용 연구 개발</li> </ul>
지구 관측 임무	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전체 관측 시스템 연구 개발</li> <li>• 요소 기술 확립과 센서 개발</li> <li>• 이용 기술 확립</li> </ul>
기술 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 임무기기를 탑재한 비행선을 실제 환경에서 운용하여 전체 시스템에 대한 종합기술 실증</li> </ul>

## 3. HAPS 망의 기본 구성

성층권 UAV 통신 시스템은 일반적인 위성통신망 구성 개념과 유사하다. 광역성, 동보성, 망

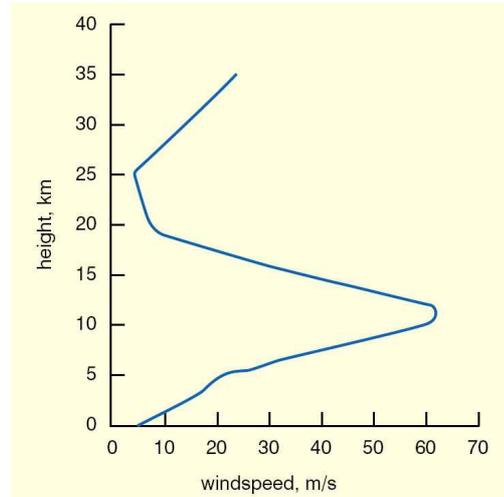
구성의 유연성, 광대역성 등 위성통신의 장점을 보유하면서도 수요에 따른 적기 공급, 시설의 유지보수 용이, 짧은 전송 거리로 인한 단말기의 소형화/저 전력화 및 짧은 전송 지연시간 등 지상 이동통신의 장점도 함께 보유한다. 따라서 위성이 가지지 못한 유연한 전개성과 짧은 전송지연 시간이라는 관점에서 성층권 통신망이 구성된다.

### 3.1 특성

성층권 UAV 통신 시스템은 위성 통신망과 지상 이동 통신망의 장점을 동시에 보유한 시스템으로 긴급 전개 가능, 저비용 서비스 실현, 고속 광대역 서비스 제공, 휴대 단말 통신 가능, 넓은 커버리지에 의한 서비스 지원, 짧은 전송 지연, 초대용량 회선 공급, 사용자 요구에 대한 유연한 응답, 멀티캐스트와 브로드캐스트에 유리, 지상 관리 시설비용의 절감, 네트워크 망 전체의 유연한 증가 가능 등의 특징을 보유하고 있다. 또한 자연스러운 대각선 우회 경로를 생성함으로써 지상 무선망이 비나 구름에 의한 영향을 받는 것보다 훨씬 적은 영향을 받는다.

성층권 시스템은 시스템 비용이 정지궤도 위성과 비교할 때 1/4 ~ 1/10에 불과하며, 2 ~ 3년 마다 성층권 UAV를 하강시켜 수리하고, 연료를 보급하므로 유지보수가 용이하고 수명 또한 길다. 지상 통신망과 서비스 비용 면에서도 훨씬 경제적이며 높은 경쟁력을 가질 수 있다. 또한 Ka 밴드 또는 밀리미터파 대의 넓은 주파수 대역을 사용하는 성층권 통신 시스템은 고속 통신 서비스가 가능하여 화상전화, 멀티미디어 통신 등의 초고속 통신까지 가능하고, 정지궤도 위성이나 저궤도 위성과 비교할 때, 훨씬 근거리에서 통신이 이루어지므로 정지궤도 위성의 1/300만, 저궤도 위성의 1/1600의 전송 손실 감소로 단말기의 소형화가 가능하며 저 전력 휴대 통신이 가능하며, 전송 지연 역시 매우 작다. HAP 시스템의 상주 위치로 성층권이 거론되는 것은 주로 고도에 따른 바람 속도에 기인한다. 성층권대는 바람의 속도가 매우 낮은 것으로 알려져 있으며, 이는 적은 연료로 UAV의 정지비행 및 이동비행이 가능하게 됨을 의미한다. 지구 상에서의 고도와 바람속도의 관계는 (그림 1)과 같이 NASA(미 항공 우주국)에 의하여 발표된

바 있다.



(그림 1) 고도에 따른 풍속 프로파일

### 3.2 UAV 간의 통신

현재 성층권 UAV간 통신 미디어는 RF와 무선 광 송신 기술이 대표적인 연구 대상이 되고 있으며 각 미디어간의 장단점으로 인해 뚜렷한 표준이 책정되지 못한 상태이다. 본 연구에서는 대표적인 두 가지 통신 미디어를 분석하였다.

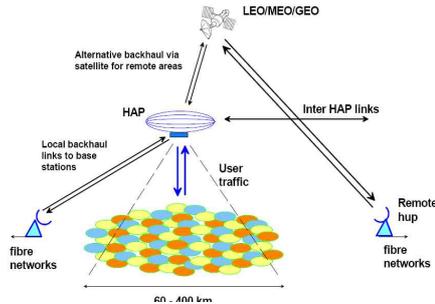
#### 3.2.1 RF(Radio Frequency) 통신 시스템

RF는 성층권과 지상망간의 통신 외에도 현재 대부분의 무선 통신 시스템으로 사용되고 있으나 새로 성층권 통신 시스템의 주 미디어로 사용하기엔 주파수 할당이 큰 문제점으로 남아있다. 이는 전송 속도 및 품질에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 현재 WRC에서 관련 문제가 논의 중이다.

#### 3.2.2 무선 광통신 시스템

무선 광통신 시스템은 레이저빔에 의한 통신이므로 전송로 상에 장애물이 있으면 통신이 불가능하다. 하지만 성층권내에 위치하는 UAV간의 통신 환경은 물리적인 장애물이 존재하지 않으므로 무선 광통신을 구현하기에 적합한 환경이다. (그림 2)는 성층권내 UAV 및 위성간의 무선 광전송 구성 포함한 시스템 구성의 개념도를 보여준다.

그러나 무선 광통신 시스템은 레이저를 이용한 일대일 통신 방식이므로 UAV의 미세한 위치 변동에도 큰 영향을 받게 된다. 즉 레이저의 발사각, 렌즈 및 장비 등과 UAV의 성층권내 위치 정보 등을 종합적으로 고려해야 한다는 문제점을 갖고 있다.



(그림 2) HAP 네트워크 시스템의 개념도

#### 4. 망 통신 프로토콜

지상 노드와 HAP과의 통신을 위하여 다양한 프로토콜 및 파라미터가 고려되고 있다. 본 장에서는 성층권 네트워크 구성을 위해 고려하여야 할 사항 무선 네트워크에 적합한 여러 가지 관련 사항을 제시한다. 이러한 사항들은 HAP 네트워크 구성시 선행되어야 할 가정이다.

##### 4.1 무선 네트워크의 특성

무선 네트워크가 가지는 일반적인 특징은 다음과 같다.

- ◆ 각각의 노드 위치가 일정치 않다
- ◆ 각 노드의 링크에러율이 높지만, 위성링크 보다 낮다
- ◆ 토폴로지의 변화가 자주 발생 한다
- ◆ 통신의 bandwidth가 낮다.
- ◆ 통신이 개방적이라 보안 대책이 필수적이다

이와 같은 특징에서 더 자세히 살펴보면 무선 네트워크를 구성하는데 있어서 다음과 같은 파라미터들이 존재한다.

- ◆ 네트워크 size - 전체 노드의 개수

- ◆ 네트워크 connectivity - 한 노드에 인접하는 노드들의 평균적인 개수
- ◆ Topological rate of change - 네트워크 토폴로지가 변화하는 속도 및 비율
- ◆ Link capacity - 링크속도(bits/second), 다중 접속 시의 loss비율, 패킷을 무선 매체로 생성하는 비율 등의 요소를 고려한 실제 링크 용량
- ◆ Fraction of unidirectional links - 단방향 링크에서 프로토콜이 가지는 전송효율
- ◆ Traffic patterns - 프로토콜 상에서 패킷 흐름에 대한 패턴
- ◆ Mobility - 라우팅 프로토콜의 효율
- ◆ Fraction and frequency of sleeping nodes - 프로토콜로 인해서 노드가 sleep상태 혹은 active상태가 되는 비율

#### 4.2 무선 네트워크 미디어

최근의 무선 통신에 사용되는 일반적인 방식은 다음과 같은 매체를 사용한다.

1) Radio Frequency radiation (microwave, millimeter wave)

- ◆ 가시거리에 있지 않아도 통신이 가능하다.
- ◆ 모든 방향으로 통신이 가능 하다.
- ◆ 효율적인 안테나 설계가 필요하다.
- ◆ RF를 통한 통신은 전송효율이 작다.
- ◆ 수신측과의 거리가 멀어질수록 통신에러가 일어날 확률이 증가한다.
- ◆ 모든 방향으로 통신이 가능하기에 도청이 일어날 수 있다.

2) Free-Space Optical (FSO) communication

- ◆ 단방향으로 통신이 가능하다.
- ◆ 수신측에서의 복호화 효율이 상당히 높다.
- ◆ 거리에 관계없이 전송효율이 일정하다.
- ◆ SDMA(Spatial Division Multiple Access)가 가능하다.
- ◆ 점대 점의 통신으로 인해 전송신호를 중간에서 도청하기 힘들다.
- ◆ 가시거리 안에 있어야 한다.
- ◆ 통신 디바이스 간에 정확한 포인팅이 이루어

져야 한다.

### 4.3 Physical / Data Link 계층

HAP 네트워크용의 주파수로 아시아에서는 28GHz가 할당되어(기타 지역은 26GHz)있으며, 38GHz도 할당되어 있다[16]. B-FWA 또는 BWA라 불리는 브로드밴드 서비스가 영국 연구진에 의해 이용되고 있다. 이와 더불어 채널의 할당에 대한 연구도 진행되어있다[10]. 그와 더불어 현재 연구 중이거나 혹은 상업용으로 사용되고 있는 무선 네트워크용 전송기술은 다음과 같다. 일반적으로 상용화가 완료되거나 교과서적인 전송기술은 별도로 기술하지 않았다. 이 무선 네트워크용 전송 기술 역시 HAP 네트워크용 물리 계층에 사용될 수 있는 후보이다.

- 1) WiMax - IEEE 802.16
  - ◆ 802.16 : LOS(Line-of-Sight)가 반드시 확보되어야함. 고정 방식의 경우 최대 8km에서 75Mbps의 전송속도
  - ◆ 802.16a : 11GHz 이하의 저주파수를 사용하여 LOS가 필요 없음. 최대 50km 거리에서 75Mbps의 전송속도
  - ◆ 802.16e : 제한된 이동성 및 로밍 기능 추가. 최대 3~5km 거리에서 15Mbps의 전송속도
- 2) UWB(Ultra Wideband) 802.15.3
  - ◆ 넓은 주파수 대역을 사용하므로 주파수가 중첩되어 사용하더라도 간섭 거의 없음
  - ◆ 3GHz에서 10GHz 사이의 주파수 대역으로 통신용 신호 전력의 한계를 제한
  - ◆ 현재 10 m 이내에서 110 Mbps ~ 480 Mbps 급 초고속 데이터 전송을 위한 물리 계층 (Alternate PHY)의 결정을 위해 활발히 연구 중
- 3) CDMA
- 4) TDMA
- 5) CSMA/CA
- 6) SDMA(Space Division Multiple Access)
  - ◆ 모든 방향으로 방사되는 전력 중 원하는 방향을 제외한 나머지는 오히려 다른 사용자들에게 간섭으로 작용
  - ◆ SPOT빔 안테나를 사용하여 여러 방

향으로 동일 주파수를 사용. 안테나 빔을 지향시킴으로써 주파수 재사용

### 4.4 Network/Transport 계층

각 UAV 간의 통신은 일반적인 TCP 프로토콜을 기반으로 한 변형 프로토콜을 사용한다. 그러나 성층권 UAV은 위성과 비슷한 환경이므로 위성에서 사용하는 프로토콜 역시 활용할 수 있다. 이 때 위성과의 상호연결가능성이 높아진다. 대표적인 위성 프로토콜의 예는 다음과 같고, 이중 SABUL은 위성통신용 프로토콜은 아니나 장거리에서 대용량의 데이터를 전송하기에 용이한 프로토콜이므로 예에 포함시켰다.

#### 1) STP (Satellite Transport Protocol)

- ◆ 위성통신을 위한 대표적 프로토콜
- ◆ 큰 RTT(Round Trip Time)와 높은 BER(Bit Error Rate)을 보이는 위성통신 환경에 대응
- ◆ 성층권 네트워크 시스템의 RTT와 BER은 일반적으로 위성통신환경보다는 작은 값을 가짐
- ◆ 성층권 네트워크 시스템의 RTT와 BER은 일반적으로 지상망보다는 큰 값을 가짐
- ◆ 위성 네트워크 환경에서 TCP가 가질 수 있는 문제점을 보완
- ◆ 단일방향으로 전송하는 데이터를 적게 사용함
- ◆ RTT 변화에 따른 영향을 받지 않음
- ◆ 선택적인 부정 확인응답을 사용함으로써, 비트에러율의 범위가 낮음

#### 2) XSTP (eXtended Satellite Transport Protocol)

- ◆ STP(Satellite Transport Protocol)의 기능을 소프트웨어적으로 확장한 버전
- ◆ STP등 대부분의 프로토콜이 혼잡 제어(congestion control)만을 하는 단점을 보완
- ◆ XSTP-Probing이라는 새로운 링크 제어 방법이 사용되었음
- ◆ 다양한 에러(bit corruption, handoff, limited connectivity)를 제어하는데

효과적

### 3) SABUL (Simple Available Data Transfer Protocol)

- ◆ 고성능 응용 레벨에서 설계된 신뢰할 만한 데이터 전송 프로토콜
- ◆ 데이터 전송 시 UDP 방식 사용
- ◆ 제어 메시지 전송 시 TCP 방식 사용
- ◆ 전송속도조절기능으로 큰 RTT(Round Trip Time) 환경에서 효과적인 데이터 전송 가능

## 5. HAP 망의 라우팅과 클러스터링

성충권 UAV에 탑재된 네트워크 기기들 간의 클러스터링과 이 클러스터간의 라우팅이 성충권 네트워크 망을 구성하는데 핵심요소가 된다. 이 중 성충권 네트워크 구성에 사용될 수 있는 라우팅 프로토콜에 대하여 특징을 간략히 분석하였다. 본 논문에서는 아래 사항중 AODV를 이용한 시뮬레이터에 기반한 결과를 보일 예정이다.

### 5.1 프로토콜 분류

1) Table-driven 또는 Proactive 방식 : 미리 라우팅 정보를 교환하며 OLSR, TBRPF, DSDV, CGSR, WRP 등이 해당된다.

2) Demand-driven 또는 Reactive 방식 : 패킷이 전송될 때마다 수신자로 도달하기 위한 라우팅 정보를 수집한다. AODV, DSR, LMR, TORA, ABR, SSR 등이 있다.

3) Hybrid 방식 : Reactive와 Proactive를 혼합한 방식으로 ZRP 등이 있다.

### 5.2 기타 고려사항

이 외에 센서 네트워크용으로 개발된 프로토콜이 다수 존재하며 일단 전개하면 UAV 간의 자율적 코디네이션(Coordination)이 요구되는 성충권 UAV 네트워크의 특징상 센서 네트워크용 프로토콜들도 참고할 가치가 있다. 또한 저전력을 요구하는 센서 네트워크용 프로토콜의 특징 역시 성충권 UAV 네트워크의 활용을 위해 참고가 가능하다. 그러나 성충권 UAV의 경우 재할

용이 가능하다는 점에서 센서 네트워크와는 다른 특징을 가진다. 성충권 UAV의 유지보수는 성충권 UAV을 지상으로 회수 후 재전개 하는 방식으로 이루어진다. 또한 지상노드들의 경우 전력소비요구에서 비교적 자유롭다는 점에서 센서 네트워크와 다른 특징을 가진다. 일종의 포메이션(Formation)이라 할 수 있는 클러스터링이 성충권 UAV 집단에서 요구된다는 점을 고려할 때 센서 네트워크에서 참고할만한 요소는 개별 노드의 로컬라이제이션(Localization)과 포메이션(Formation) 이다.

## 6. HAP 망을 위한 지리적 클러스터링

성충권에 전개될 UAV들은 각각 스스로의 서비스 지역을 담당하여 서비스를 함과 동시에 광역 서비스를 위하여 UAV들끼리의 통신도 필요해진다. 이 때 필요한 네트워크의 요소들은 앞에서 논의되었다. 적절한 서비스를 위하여 기본적으로 사용자의 요구량이 하나의 파라미터가 되며, 서비스 영역이 다른 하나의 파라미터가 된다. 즉, 정해진 서비스 지역을 그 넓이와 사용자수로 분할하여 필요한 수만큼의 UAV을 전개시킴으로서 서비스가 이루어진다. 따라서 넓이와 사용자수를 고려하여 지상의 영역을 분할하는 작업이 필수적이며, 이 때 지상 사용자들의 클러스터링은 네트워크의 특성을 고려하기 보다는 지리적 특성을 고려하여 이루어진다. 그리고 UAV은 이루어진 한 클러스터의 중심점으로 이동하여 담당 클러스터 전체에 대한 안정적 서비스를 추구함과 동시에 양각을 조정하여 클러스터의 크기를 조절하게 된다. 즉 UAV은 지상노드들로 이루어진 한 클러스터의 클러스터헤드(clusterhead)가 되며, 다른 클러스터에 속한 지상노드간의 통신은 UAV간의 통신을 거쳐서 이루어지게 된다. 이러한 접근방법은 여러 대의 UAV이 그룹을 이루어 성충권 네트워크망을 서비스 할 때 절대적으로 필요한 방식이나 현재까지 구체적으로 연구된바가 전무하다. 본 논문에서는 지상 노드의 클러스터링을 통한 여러 대의 UAV에 의한 성충권망의 서비스가 가능한 방식을 다음과 같이 소개한다.

본 논문에서 사용한 클러스터링 알고리즘은 k-Mean 클러스터링 알고리즘에 기반하고 있다. 유사한 클러스터링 알고리즘으로 continuous k-Mean 알고리즘이 있으나, 이는 정확도를 희생하고 실시간성을 중시하는 알고리즘으로서, 비디오 코딩이나 압축 등등에 좀 더 많이 쓰인다. 여러 가지의 클러스터링 알고리즘 중에서 본 논문에서는 k-Mean 알고리즘이 보이는 전표본성(whole-sampleness)을 중요시하여 k-Mean 알고리즘을 사용하였다. 동적 클러스터링이 필요한 시나리오의 경우는 다음과 같다.

- 성층권 네트워크 서비스 초기 전개시 (initial clustering) : 당연히 일어나는 클러스터링이다. 정적 클러스터링이 가능하다.
- 지상 노드의 유입이나 신규 배치로 클러스터당 지상 노드의 수가 1개 UAV의 라우터가 감당할 수 있는 수를 초과할 때 (service-oriented reclustering) : 지상 노드가 다른 지역에서의 이동의 결과로 한 클러스터에 유입 되거나 신규 사용을 요청하는 지상 노드가 클러스터 내에 발생 되었을 때, 그 결과로 그 클러스터의 담당 UAV이 서비스 해줄 수 있는 요구량을 넘어서게 되면 새로운 UAV이 투입되어야 하고, 그 지역 및 주변 지역의 클러스터를 분할하여 새로운 클러스터가 이루어져야 한다. 이 때 서비스 중인 UAV의 이동이 일어난다.
- 서비스 커버리지가 노드의 이동 등등으로 인하여 넓어질 때 (geographical reclustering) : 노드의 이동으로 클러스터 전체의 위치가 변하거나 또는 소수 노드의 이동으로 서비스가 되지 않는 영역까지 서비스가 필요할 때 클러스터링이 다시 이루어져야 한다. 이 때 서비스 중인 UAV의 이동 또는 새로운 UAV의 투입이 이루어져야 한다.
- UAV의 고장 등등으로 다른 UAV이 담당할 영역이 어쩔 수 없이 넓어져야 할 때 (airship-backup reclustering) : UAV의 고장으로 인하여 리클러스터링이 일어나며, UAV이 새로이 투입되어야 할 경우도 있다.
- 지상노드의 수가 감소할 때 (shrinking clustering) : 이 경우는 반드시 리클러스터링이 일어날 필요는 없으나, 리클러스터링 시 클러스터의 수는 감소할 수 있고 이 때 각 UAV의 커

버리지는 커지게 된다.

한 클러스터에서 다른 클러스터로 지상 노드가 이동할 때에는 핸드오프(Hand-Off)가 이루어져야 하며 이에 관한 연구는 충분히 진행되어 있다. 지상파를 이용한 무선 네트워크의 경우 기지국은 정지 상태이고 사용자의 이동에 의한 핸드오프가 주로 일어나며, 저궤도 위성(LEO)을 이용한 위성 네트워크의 경우 위성의 공전에 따른 핸드오프가 주로 일어난다. 성층권 UAV 네트워크의 경우 정지비행이 가능하므로 지상파 무선 네트워크의 경우와 유사하다고 볼 수 있으나, UAV의 이동도 가능하므로 LEO 위성 네트워크의 경우와 유사한 면도 있다. 무인 비행기 대신에 무인 UAV을 이용하는 주 이유는 비행기의 선회비행으로 인해 생길 수 있는 의미 없는 핸드오프가 감소할 수 있기 때문이다.

위에 열거한 시나리오의 경우는 모두 클러스터링 알고리즘이 실행되어 지상 노드의 분포 및 서비스 영역에 따라 지상 노드가 리클러스터링되고 UAV의 재배치가 이루어져야 한다. 이때 필요한 가정은 다음과 같다.

- 1) UAV은 현재 서비스 중인 지상 노드의 숫자를 알 수 있다. 지상 노드의 ID 시그널에 의하여 가능하다.
- 2) UAV은 현재 서비스 중인 지상 노드의 위치를 알 수 있다. 지상 노드의 위치 보고에 의하여 가능하다.
- 3) UAV은 스스로의 위치를 알 수 있다. GPS 등의 위치파악 시스템을 이용하여 가능하다.
- 4) UAV은 주어진 범위 내에서 임의로 커버리지를 변경할 수 있다. 합성 개구 안테나 등을 이용하여 가능하다.
- 5) UAV끼리의 통신이 가능하다. 이에 관하여서는 앞 장에서 논의하였다.
- 6) UAV이 분산 알고리즘을 실행할 수 있을 정도의 컴퓨팅 파워가 필요하다.

7) 기타 지상 관리국과의 통신이 가능하다. 즉 UAV을 지상에서 임의로 제어하는 것이 가능하다.

위와 같은 가정 하에서 UAV의 재배치를 포함한 전체 클러스터링 알고리즘은 다음과 같다.

a) 클러스터의 수 K를 정한다. 클러스터의 수는 다음 중 큰 수이다. 이 때 K는 필요한 UAV의 최소수가 된다.

가) UAV에 탑재된 라우터의 총 대역폭 용량(router capacity)/지상 노드가 요구하는 총 대역폭 용량(node capacity)

나) 지상 노드가 전개된 총 영역의 넓이(service coverage)/UAV이 커버하는 총 영역의 넓이(airship coverage)

b) 클러스터링 알고리즘을 실행하여 지상 노드들이 어떤 클러스터에 속하게 되는지 분류한다.

가) 클러스터링의 기준은 지상노드들이 전개된 직교좌표계를 따른다.

나) 각각의 좌표축에 대하여 k-Mean 알고리즘을 실행하여 나타난 결과의 교집합이 하나의 서비스 클러스터가 된다.

c) 각 클러스터의 중심점을 파악한다.

가) 클러스터에 속한 지상노드들의 직교좌표로 클러스터의 중심점을 계산한다. k-Mean 알고리즘의 센트로이드 개념이다.

d) 각 클러스터의 중심점으로 UAV을 이동시킨다.

e) 클러스터의 수가 조정되어야 될 필요가 있을 시 1)부터 다시 실행한다. (서비스 시나리오의 변경시)

위의 알고리즘을 이용하여 클러스터링 방식을 도입하면 UAV간의 통신 및 지상 기지국과의 통신을 이용하여 UAV을 제어함으로써 효율적으로 성층권망을 전개할 수 있게 된다.

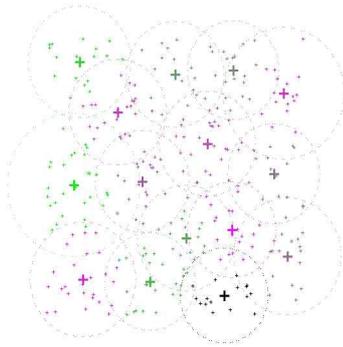
클러스터링에 필요한 시뮬레이션은 NS-2를 이용하여 지상 노드의 추가 및 감소 상황을 확보한 후 클러스터링을 실시하였고, 그 결과를 시각화 하였다. 클러스터간의 라우팅은 OLSR 알고리즘을 이용하였다. 지상 노드수의 변화와 커버리지의 변화로 인하여 리클러스터링이 이루어지는 시각적 결과가 다음에 나타난다. 서비스 지역의 범위는 사방 200Km 길이를 가진 정사각형으로 가정하였다. 지역의 넓이만을 고려하면 최소 7개의 UAV이 필요할 것이며(양각 15도시) 최대 20개의 UAV이 필요할 것으로 예상된다(양각 45도시). 지상노드의 수는 시간에 따라 증가 또는 감소한다. 300개의 노드로 만든 클러스터의 수는 모두 15개이며, 이는 지역의 넓이에 관계없이 노드의 총수와 UAV당 담당하는 노드의 수로 결정된 것이다. 다음 결과를 보이기 위하여 선택한 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다.

- 300개 노드의 초기 클러스터링 (그림 3)
- 적은 숫자의 노드(10개) 증가, 총 310개의 노드 (그림 4)
- 큰 숫자의 노드(40)개 증가, 총 350개의 노드 (그림 5)
- 250개로 노드의 숫자 급격히 감소 (그림 6)
- 290개로 노드의 숫자 감소 (그림 7)

위의 경우에 대응하는 그림들은 주어진 시뮬레이션 시나리오에서의 클러스터링 결과를 나타낸다. 작은 점은 지상 노드이며, 큰 십자가는 한 클러스터의 중심에 위치한 UAV을 나타낸다. 같은 클러스터에 속한 노드들과 클러스터헤드 역할을 하는 UAV은 같은 색상으로 표시하였다. 작은 수의 노드가 증가하였을 때 UAV의 숫자는 변화하지 않았으며 단지 위치조정으로 모든 노드의 서비스를 커버할 수 있었다. 그러나 350개로 노드의 숫자가 증가하였을 때는 2개의 UAV가 더 필요한 것으로 시뮬레이션 결과 나타난다. 마찬가지로 250개로 노드 숫자가 급격히 감소한 경우 총 13대의 UAV만이 필요하여 2대의 UAV는 예비상태로 전환하게 된다. 노드의 숫자가 290개로 감소한 경우에는 역시 15대의 UAV로 전체 노드에 대한 서비스가 가능하다.

## 8. 시뮬레이션 결과

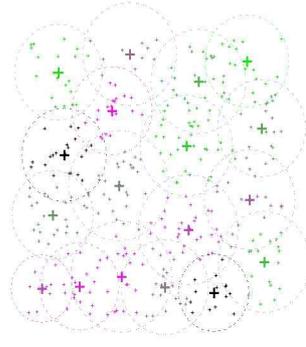
Area: 40,000 km<sup>2</sup> Max Number of Cluster: 15 Max Number of Nodes: 300 Number of Mobile Nodes: 300  
 Max nodes per cluster: 20 Max # of Nodes in cluster[0]: 28 Min # of Nodes in cluster[0]: 15  
 Number of Cluster: 15



Max radius of cluster: 72.50 Km Min radius of cluster: 48.00 Km Average speed of nodes: 0.00

(그림 3) 300개 노드의 초기 클러스터링

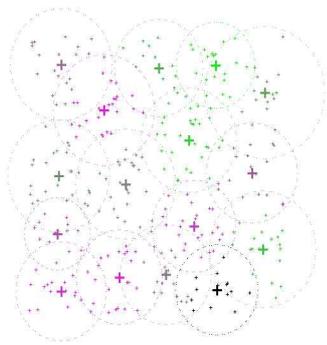
Area: 40,000 km<sup>2</sup> Max Number of Cluster: 18 Max Number of Nodes: 350 Number of Mobile Nodes: 350  
 Max nodes per cluster: 20 Max # of Nodes in cluster[7]: 29 Min # of Nodes in cluster[7]: 9  
 Number of Cluster: 18



Max radius of cluster: 56.00 Km Min radius of cluster: 34.00 Km Average speed of nodes: 0.00

(그림 5) 350개로 40개 노드수 증가

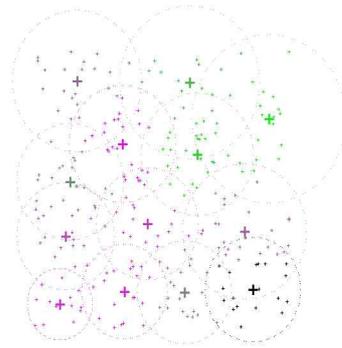
Area: 40,000 km<sup>2</sup> Max Number of Cluster: 16 Max Number of Nodes: 310 Number of Mobile Nodes: 310  
 Max nodes per cluster: 20 Max # of Nodes in cluster[7]: 28 Min # of Nodes in cluster[11]: 13  
 Number of Cluster: 16



Max radius of cluster: 66.50 Km Min radius of cluster: 36.50 Km Average speed of nodes: 0.00

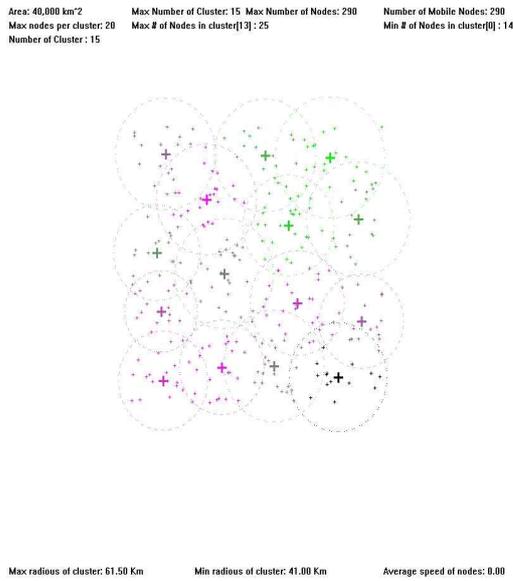
(그림 4) 310개로 노드수의 증가

Area: 40,000 km<sup>2</sup> Max Number of Cluster: 13 Max Number of Nodes: 250 Number of Mobile Nodes: 250  
 Max nodes per cluster: 20 Max # of Nodes in cluster[7]: 28 Min # of Nodes in cluster[10]: 13  
 Number of Cluster: 13



Max radius of cluster: 85.00 Km Min radius of cluster: 36.00 Km Average speed of nodes: 0.00

(그림 6) 250개로 노드수의 큰 감소



(그림 7) 290개로 작은 노드수의 감소

## 9. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 성층권에 지상노드와의 통신장비를 장치한 UAV을 다수 전개하여 통신망을 구성할 수 있는 개략적인 방법에 대해 논하였다. 이러한 성층권망은 대규모 재해로 인하여 지상 통신망이 붕괴될 때 또는 혐오지에 저비용으로 신속한 전개가 가능하다.

성층권 통신망은 위성 망과 유사한 듯 보이나 크게 다르다. 일례로 저궤도(LEO) 위성망과 유사하게 보이는 성층권 통신망은 저궤도 위성을 이용한 통신망에서 위성의 빠른 공전주기로 인하여 빈번하게 Hand-Off가 일어나 생기는 통신상의 문제점이 거의 존재하지 않으며 위성 제작 및 발사, 통제에 따른 비용도 현저하게 감소시킬 수 있다. 그러나 이러한 장점을 가진 성층권 통신망을 실제로 전개하기 위하여서는 많은 기존 연구들이 존재함에도 불구하고 물리계층에서부터 적어도 네트워크 계층까지 많은 프로토콜 및 운용에 관한 연구가 이루어져야 한다. 그리고 항공 및 통신 분야에서 이를 지원할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 이와 같은 기존연구를 토대로 성층권망에 반드시 필요한 클러스터링 기법을

연구하였다. 주어진 서비스 커버리지에서 지상노드의 요구를 고려하여 일정한 수의 UAV을 투입하고, 한 UAV이 한 클러스터의 헤드를 담당하게 하여 지상노드와 UAV간의 통신 및 UAV간의 통신을 통하여 특정 지역에서 성층권망을 전개할 수 있는 기반을 마련하였다. k-Mean 알고리즘을 기반으로 하는 본 논문의 클러스터링 기법은 작성된 시뮬레이터를 통하여 원하는 결과가 나타났으며 시각화된 결과도 제시되었다.

이러한 클러스터링은 반드시 지상노드들간에 일어날 뿐만이 아니라 UAV들 간에도 일어날 수 있다. 많은 수의 UAV이 넓은 영역을 커버하게 된다면, 클러스터간의 통신을 위해 많은 수의 UAV을 거쳐서 통신하는 것은 HOP의 수를 비효율적으로 증가시킨다. 따라서 UAV집단을 클러스터링 하여 클러스터헤드를 선택한 후 클러스터헤드가 저궤도 또는 정지위성을 매개로 통신하는 것이 통신량과 통신지연시간을 크게 줄일 수 있다. 이를 위해 UAV간의 통신링크 및 UAV과 위성간의 통신링크에 대한 심도 있는 연구가 후속되어야 할 것으로 보인다.

뿐만 아니라 지역적 장애물과 라우터의 용량 제한이 고려된 새로운 클러스터링 알고리즘이 개발되어야 할 것으로 보인다. 이러한 클러스터링 알고리즘은 UAV의 이동 능력을 고려하기 위하여 클러스터 헤드의 급격한 이동을 방지하여야 할 뿐만 아니라 노드의 이동 및 추가로 인하여 생기는 현상에 실시간적으로 대응할 수 있어야 하므로 충분히 낮은 계산 복잡도를 가지고 있어야 한다.

리클러스터링의 결과로 인한 UAV의 이동으로 지상노드와 UAV간의 통신에 문제가 생기는 경우도 가능하다. 즉 UAV을 지향하고 있는 지상노드의 안테나가 UAV의 이동으로 인하여 포커스를 잃고 통신 장애를 초래하는 경우도 가능하다. 그러나 UAV의 이동 위치는 리클러스터링의 순간 이미 정해진 것이며 대부분의 경우 먼 거리를 이동하는 것이 아니므로 안테나의 방향 조절로 해결할 수 있다. 이 때 안테나가 UAV의 위치를 추적하게 하거나(Active Homing Antenna) 또는 UAV의 예상위치를 미리 파악하고 있는 방법이 가능하다. 다만 이러한 방식은 지상 노드 단말의 고비용화를 초래할 것이므로, 효율적으로 이에 대응할 수 있는 추가 연구가

필요하다.

다른 미래의 연구주제중 하나는 UAV의 위치 파악이다. 자연재해 시에 대비하여 신속 전개될 수 있다는 UAV의 특징상 GPS, Gronass, GALILEO 등의 위치파악시스템이 동작하지 않는 상황에서도 UAV의 상대적 위치가 파악될 수 있어야 클러스터링을 기반으로 하는 성층권 통신망이 효과적으로 운용될 수 있다. 이러한 UAV의 로컬라이제이션(Localization)은 UAV끼리의 통신망에 RSSI(Radio Signal Strength Identification) 기능을 부가하여 달성될 수 있을 것으로 보이나 이를 위하여서는 향후 심도 있는 연구가 필요한 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] 이연우, 윤영중, “성층권 통신망 구축을 위한 무선 광전송 시스템 설계”, 연세대학교, 2001  
 [2] 김봉석, 강영홍, “IMT-2000 서비스를 위한 성층권 통신 시스템과 지상통신 시스템간의 간섭 영향에 대한 연구”, 군산대학교, 2002  
 [3] 구분준, 안대섭, “HAPS 국제표준화 및 국외기술 동향 분석”, 전자통신동향분석 15권 5호, 2000  
 [4] 구분준, 박종민, 안대섭, “HAPS와 지상무선중계국(RRS)간의 간섭 평가를 위한 알고리즘 설계”, 전자통신동향분석 18권 4호, 2003  
 [5] 박종민, 오대섭 “일본의 HAPS 개발 및 성능시험 동향 분석”, 전자통신동향분석 18권 5호, 2003  
 [6] 이상준, “세계최초의 전기추진식 무인비행선 개발”, 산업자원부 보도자료  
 [7] 손인수, “HAPS(성층권 무선통신 시스템)”, TTA 저널 제96호  
 [8] Robert Andrew Janis Purvinskis, “Interplatform Links”, Univ. South Australia, Feb. 2003  
 [9] J. Thornton, D. Grace, C. Spillard, T. Konefal and T. C. Tozer, “Broadband communications from a high-altitude platform”, ELECTRONICS & COMMUNICATION ENGINEERING JOURNAL, JUNE 2001  
 [10] D. Grace, C. Spillard, J. Thornton, T.C. Toze, “CHANNEL ASSIGNMENT STRATEGIES FOR A HIGH ALTITUDE PLATFORM SPOT-BEAM ARCHITECTURE”, IEEE PIMRC 2002  
 [11] Toshiaki Tsujii, Jinling Wang, Liwen Dai, Chris Rizos, “A Technique for Precise Positioning of High Altitude Platforms System (HAPS) Using a GPS Gr

ound Reference Network”, Univ. of New South Wales  
 [12] Durga Shankar Dasha, Arjan Durresi and RajJain, “Routing of VoIP traffic in multi-layered Satellite Networks”, The Ohio State University at Columbus, 2003  
 [13] “http://www.rapa.or.kr” , 전파진흥협회  
 [14] “http://www.skystation.com”, 미국 SSI사  
 [15] “http://www.jaxa.jp”, 일본 우정성  
 [16] Dudley Lab’s list of Frequency Allocations, May 2001, http://www.dudleylab.com/freqaloc.html  
 [17] Vance Faber, “Clustering and the Continuous k-Means Algorithm”, Los Alamos Science, Number 22, 1994  
 [18] J. MacQueen, “Some methods for classification and analysis of multivariate observations”, Fifth Berkeley Symposium on Math Statistics and Probability, 281-297, 1967.  
 [19] I.S. Dhillon and D.S. Modha, “A data-clustering algorithm on distributed memory multiprocessors”, Large-Scale Parallel Data Mining, 245-260, 1999.

송 하 윤



1991년 : 서울대학교 자연과학대학 (이학사)  
 1993년 : 서울대학교 자연과학대학 원 (이학석사)  
 2001년 : UCLA (Ph.D. in Computer Science)  
 2001년~현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야 : 이동 센서 네트워크(MSN), 고고도 네트워크 시스템 (HAPS network), 성능 평가, 시뮬레이션, 내장형 시스템