

지상 이동 노드의 클러스터링을 이용한 HAP 기반 네트워크의 이동 기지국 배치 시뮬레이션

송 하 윤[†]

요 약

HAP(High Altitude Platform) 기반 네트워크에서는 무인비행체 등을 이용하여 고고도에 네트워크의 이동기 지국을 전개하여 이를 매개체로 한 네트워크 시스템을 구성한다. HAP 기반 네트워크는 최종적 형태로 다수의 무인 플랫폼을 성층권에 배치하여 무인 플랫폼 간의 협력을 통하여 원하는 지역에 대한 광역 네트워크 서비스를 효율적으로 구현하고자 한다. 본 논문에서는 넓은 지역에 전개된 다수의 이동 기지국을 활용하였을 때 어느 위치에 얼마만큼의 커버리지로 성층권 플랫폼이 전개되어야 할지를 지상 이동 노드를 클러스터링 하는 방식을 통하여 해결하고자 한다. 제주도 및 인근 해상지역을 대상으로 고정 및 이동 지상 이동 노드를 가정하고 이러한 환경에서 성층권 네트워크를 전개할 때의 상황을 시뮬레이션으로 실험 하여 HAP 기반 네트워크에서의 이동기 지국 배치 문제를 다루었다. 동적 클러스터링 결과로 성층권 이동 기지국이 배치되는 결과를 시뮬레이션으로 나타내었으며 지상 이동 노드가 이동하여 클러스터링이 새롭게 이루어지는 하는 과정을 보였다.

A Simulation of Mobile Base Station Placement for HAP based Networks by Clustering of Mobile Ground Nodes

Ha Yoon Song[†]

ABSTRACT

High Altitude Platform (HAP) based networks deploy network infrastructures of Mobile Base Station (MBS) in a form of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) at stratosphere in order to build network configuration. The ultimate goal of HAP based network is a wireless network service for wide area by deploying multiple MBS for such area. In this paper we assume multiple UAVs over designated area and solve the MBS placement and coverage problem by clustering the mobile ground nodes. For this study we assumed area around Cheju island and nearby naval area where multiple mobile and fixed nodes are deployed and requires HAP based networking service. By simulation, visual results of stratospheric MBS placement have been presented. These results include clustering, MBS placement and coverage as well as dynamic reclustering according to the movement of mobile ground nodes.

Key words: HAP based Networking(고고도 플랫폼 기반 네트워크), Clustering(클러스터링), Simulation(모의실험), HAP MBS Placement(고고도 플랫폼 이동 기지국 위치설정)

1. 서 론

위성 통신 시스템의 문제점으로 인하여 성층권 통

신망 구축에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 자연 재해 및 전쟁 상황으로 인해 지상 통신망이 붕괴되거나 험지 및 오지에 전개하기위해서는 성층권 통신망

※ 교신저자(Corresponding Author) : 송하윤, 주소 : 서울특별시 마포구 상수동 72-1(121-791), 전화 : (02)320-1617, FAX : 02-332-1653, E-mail : hayoon@wow.hongik.ac.kr
접수일 : 2008년 5월 14일, 완료일 : 2008년 9월 24일

[†] 종신회원, 홍익대학교 컴퓨터공학과
※ This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD) (KRF-2005-D00305-I00393)

이 저비용 고효율의 대표적인 예로 소개되고 있다. 이러한 성층권 통신망에는 네트워크 장비를 탑재한 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)가 이동기지국으로 사용되어 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다.

유럽, 미국, 일본의 연구 성과로 현재 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)과 지상간의 통신에 관해서는 상당한 연구가 진척되어 있으며 ITU에 의하여 기본적 표준안이 정의되고 있다[1,2]. 또한 UAV간의 통신은 광통신을 전제로 한 연구가 활발히 이루어지고 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. 현재 상태에서는 UAV 단독으로 한 지역의 통신을 담당하는 환경이 주로 연구되고 있으나, 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 직접적인 접근 및 실험이 어려운 성층권 네트워크의 환경을 시뮬레이션을 통하여 구현하여 성층권에 전개될 다수의 이동기지국의 위치와 담당영역을 결정하는 방법을 제시한다. 이동 지상 노드에 대한 클러스터링을 통하여 성층권 이동 기지국의 위치 및 담당영역을 결정하는 방식을 제시하였으며 이를 통하여 사용자의 수와 서비스 지역에 따른 최적의 서비스가 가능하다[3]. 넓은 지역에 효율적으로 서비스를 전개하기 위하여서는 성층권에서 UAV이 담당하는 지상노드의 동적 클러스터링(Dynamic Clustering)이 반드시 필요해지며 이를 이용하여 UAV의 위치배정이 가능해진다. 즉 지상 이동 노드를 지리적인 위치에 따라 클러스터링 하여 각 클러스터의 센트로이드(Centroid)에 UAV를 배치함으로써 원활한 무선 네트워크 서비스가 가능하도록 한다. 즉, 본 논문에서는 클러스터링 기법을 통한 이동 BS(Mobile Base Station)의 배치(Placement) 문제

를 해결한다.

보통 데이터마이닝(Data Mining)분야에 쓰이는 여러 가지 클러스터링 기법 중에 극소소의 알고리즘만이 지상 이동 노드의 지리적 클러스터링에 응용될 수 있으며 본 연구에서는 K-mean [4] 클러스터링 알고리즘에 기반한 기법을 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 구조 및 통신을 위한 프로토콜 고려사항에 대하여 언급한다. 4장에서는 HAP 네트워크를 위한 클러스터링 고려사항과 그 알고리즘을 제시하였으며, 5장에서 시뮬레이션을 통하여 클러스터링 결과 및 그 분석을 제시하였다. 7장에서 결론 및 향후 연구에 대하여 언급하였다.

2. 관련 연구

2.1 HAP 기반 성층권 통신망

성층권에 무선 중계 기지를 구축하여 통신에 이용하는 개념은 이미 오래전부터 제안되어 왔지만 구현상 기술적 난이도가 높고, 성층권 접근이 어려워 그동안 현실화되지 못했다. 그러나 최근 새로운 통신서비스에 대한 시대적 요구와 경량 고인장 강도의 피복재료, 고효율의 태양전지 및 연료전지, 강화 폴리메스터, 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) 중에서 비행선(Airship)이 주로 대상화되어 있으며, 이중 정지비행(Hovering)이 가능하고 적은 에너지로도 제어가 쉬워 상당한 수준의 이동성을 가지는 비행선이 주로 대상으로 인식된다. 이러한 UAV은 우리나라를 포함한 세계 각국에서 상용화를 목표로 연구하고 있다. 우리나라에서는 한국항공우주연구원 주관 하에 산업자원부 차세대신기술개발사업의 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[5].

비행선의 정지비행은 지상 이동 노드와 안정적으로 무선연결이 가능한 환경을 제공하며, 이동성은 이동기

지국의 전개, 네트워크의 구성 및 재구성을 위한 UAV의 이동에 필요하여 무선 네트워크 서비스의 안정성과 적응성을 위한 필요 최소한의 보장이 가능해진다.

국제적으로는 1997년에 처음 세계전파통신회의(WRC)에서 처음으로 HAPS용 주파수 대역을 분배한 이후로 HAPS의 실용화를 위해 논의되었다. 지역별 주파수 배분 및 공유의 문제가 주를 이루었으며 [6,7], 엄격한 안테나 요구 구격을 설정하고, 위성 이동 서비스의 보호를 위한 대역의 PFD를 설정한다. 이러한 HAP을 매개체로 하여 3G 네트워크를 구성하려는 연구가 이루어지고 있다[8].

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[9]. SSI사는 2002년 최초 상용 성층권 비행선 발사를 시작으로 2005년까지 250기의 비행선을 이용하여 범국가적 광대역 이동통신망 구축을 목표로 하고 있다. SSI사가 구상중인 HAPS 통신시스템의 비행선은 길이가 약 208m이며 수용 가능한 가입자 수는 약 백만 명 정도로 예상하고 있다. 이 외에 미국에서는 SkyStation, High Altitude Long Operation, SkyTower, Staratellite, Weather Balloon HAPS 등의 관련 연구가 진행되고 있다[1].

일본은 국가적인 프로젝트로서 SkyNet을 진행 중이다. 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[10,11].

유럽에서는 HeliNet과 CAPANINA 등의 관련 연구가 진행 중이다. HeliNet은 고정익 무인 비행기를 이용하여 현재 밀리미터파 안테나와 그 전파, 셀 넘버의 추정, 간섭, 강우감쇄 등에 관한 연구가 진행 중이다. CAPANINA는 60Km의 커버리지 영역에서 120Mbps의 대역폭을 보장하는 것을 목표로 연구되고 있으며, 영국 및 스웨덴 등에서 비행선을 이용한 실험이 진행되었다[1].

2.2 클러스터링 알고리즘

데이터 마이닝 분야에서는 대용량 데이터베이스

에서 데이터를 클러스터링 하는 기법에 대한 많은 연구가 진행되었다[12,13]. 이러한 연구들은 관련된 데이터 패턴에 집중된 관계로 본 논문에서 요구되는 지리적인 클러스터링에 직접적으로 이용하기가 곤란하다. 따라서 본 논문에서는 적합한 것으로 파악되는 몇 개의 클러스터링 알고리즘을 선정하여 이용하였다. 가장 적합할 것으로 생각되는 알고리즘은 K-mean, BIRCH [14], Expectation Maximization (EM) [15], PROCLUS, 와 SUBCLUS 알고리즘이다.

지상 이동노드의 위치가 정확하기 파악되기 힘들며, 단지 위치에 따른 확률만이 주어진다라는 점에서 EM 알고리즘이 고려되었다. 클러스터에 할당된 이동 기지국의 총 대역폭을 고려할 때, 적절한 수의 지상 이동 노드들이 클러스터에 배치되도록 클러스터를 분할 및 병합 할 수 있는 능력을 가진 BIRCH와 그에 관련된 알고리즘이 고려되었다. 비록 EM과 BIRCH가 적절한 알고리즘으로 보이나 초기 클러스터링에 큰 오버헤드를 보이며 결과가 대부분의 경우 지리적인 것과 무관하기 때문에 K-mean을 코어(core) 알고리즘으로 한 클러스터링 알고리즘을 개발하였다. 한 클러스터를 병합 또는 분할하기 위하여서는 후처리(postprocessing)가 요구된다. 이를 위해서는 다단계 클러스터링 기법이 필요하며 SUBCLUS와 PROCLUS는 다단계 클러스터링 알고리즘의 대표적인 예로서 참고되었다.

2.3 타 유사 네트워크의 기존 연구

HAP 기반 네트워크와 유사한 문제는 다른 네트워크에서도 제기되었으며 연구가 진행되어왔다. 그 예는 지상 장비에 기반한 무선 이동 네트워크와 애드혹(Ad-Hoc) 네트워크, 센서 네트워크(Sensor Network)에서 찾아볼 수 있다. 고정 또는 이동 기지국의 위치 선정 최적화 문제와 네트워크의 연결성을 보장하는 클러스터링 문제가 HAP 기반 네트워크에서와 유사한 문제이다.

그러나 이러한 네트워크에서의 클러스터링은 무선 이동 노드 간의 연결성을 보장하기 위한 클러스터링으로 본 논문에서 이동 기지국 위치설정을 위하여 적용한 지리적 클러스터링과는 근본적인 차이가 있다. 본 논문의 지리적 클러스터링은 이동 기지국 역할을 하는 UAV의 최적화된 위치와 담당영역

을 파악하기 위하여 이용된 것으로 네트워크의 연결성 및 라우팅을 보장하기 위하여 최적화된 클러스터 및 클러스터헤드를 설정하는 무선 이동 네트워크의 클러스터링과 차별된다. 또 센서 네트워크에서는 주로 에너지 소비를 최적화하기 위하여 에너지 유의 클러스터링(Energy Aware Clustering) 방식이 이용된다.

상용 무선 이동 네트워크 및 센서 네트워크에서 이동 기지국의 위치를 파악하는 문제는 꾸준히 연구되어 왔다. 상용 무선 이동 네트워크에서는 사용자에게 최적의 효율로 최적의 서비스를 제공하기 위하여 고정 및 이동 기지국의 위치를 설정해야 하며[16-18], 센서 네트워크에서는 주로 에너지 소비를 최적화하기 위하여 이동 기지국의 위치를 설정한다 [19]. 본 논문에서는 최대한의 지역에 적절한 수의 이동 기지국을 적절한 위치에 배치하여 HAP 기반 네트워크에 속하는 지상 이동 노드에게 효율적인 네트워크 서비스를 제공하는 목적 하에 이동 기지국 위치 문제가 다루어졌다.

이 외에 일단 전개하면 UAV 간의 자율적 코디네이션(Coordination)이 요구되는 HAP 기반 네트워크에서도 자율적 구성을 목표로 개발된 센서 네트워크용 프로토콜들도 참고할 가치가 있다. 또한 저전력을 요구하는 센서 네트워크용 프로토콜의 특징 역시 성층권 UAV 네트워크의 활용을 위해 참고가 가능하다. 그러나 성층권 UAV의 경우 재활용이 가능하다는 점에서 센서 네트워크와는 다른 특징을 가진다. 성층권 UAV의 유지보수는 성층권 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 성층권 UAV 집단에서 요구된다는 점을 고려할 때 센서 네트워크에서 참고할만한 요소는 개별 노드의 로컬라이제이션(Localization)과 포메이션(Formation)이라고 할 수 있다.

3. HAP 기반 네트워크의 기본 구성

3.1 특성

성층권 UAV 통신 시스템은 위성 통신망과 지상 이동 통신망의 장점을 동시에 보유한 시스템으로 긴

급 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, 네트워크의 유연한 증가 가능 등의 특징을 보유하고 있다. 또한 자연스러운 대각선 우회 경로를 생성함으로써 지상 무선망이 비나 구름에 의한 영향보다 훨씬 적은 영향을 받는다.

성층권 시스템은 시스템 비용이 정지궤도 위성과 비교할 때 1/4 ~ 1/10에 불과하며, 2 ~ 3년 마다 성층권 UAV을 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 밀리미터 파 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.

3.2 UAV 간의 통신

현재 성층권 UAV간 통신 미디어는 RF와 무선 광통신 기술이 대표적인 연구 대상이 되고 있으며 [20-21] 각 미디어간의 장단점으로 인해 뚜렷한 표준이 책정되지 못한 상태이다.

- 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.

- 무선 광통신 시스템 : 무선 광통신 시스템은 레

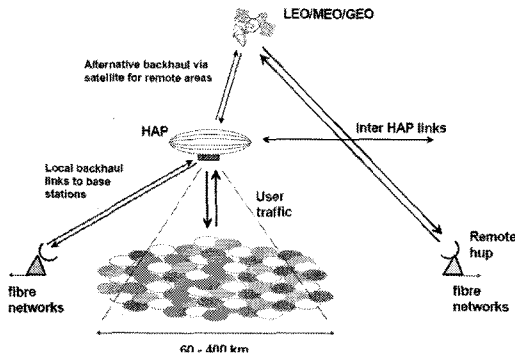


그림 1. HAP 네트워크 시스템의 개념도

이러한 통신이므로 전송로 상에 장애물이 있으면 통신이 불가능하다. 하지만 성층권내에 위치하는 UAV간의 통신 환경은 물리적인 장애물이 존재하지 않으므로 무선 광통신을 구현하기에 적합한 환경이다. 그림 1은 성층권내 UAV 및 위성간의 무선 광통신 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.

3.3 HAP 기반 네트워크를 위한 IEEE 표준안

지상 이동 노드와 HAP과의 통신을 위하여 다양한 프로토콜 및 파라미터가 고려되고 있으며[22] 이에 대한 채널 할당 정책 등의 관련 연구도 의미 있는 결과를 도출하고 있다[23]. 위에서 언급한 문제들을 종합하여 HAP 기반 네트워크용으로는 IEEE의 표준안인 802.16과 802.20이 표준화를 담당한 연구진에 의하여 연구되고 있다[24,25].

802.16 프로토콜은 점대다 광대역 전송을 위한 프로토콜로써 10-66GHz, 2-11GHz 주파수 대역을 이용하며 에너지 유의 및 핸드오프(Hand-Off)기능을 도입하였다. 이 중 802.16e 프로토콜은 802.16a의 MAC 계층을 발전시켜 QOS기능을 확장하였으며 OFDM/OFDMA 기법을 PHY 계층에 이용한다. 이러한 기능은 기지국의 QOS 기능을 제공하면서 지상노드가 기지국간에 핸드오프 하는 기능을 포함하고 있다. 802.16SC 프로토콜은 HAP MBS와 지상 이동 노드 간에 이용되는 것으로써 28-31GHz를 사용한다.

이 때 지상 이동 노드간의 프로토콜은 802.16e를 이용하며 2-6GHz를 이용함으로써 지상 이동 노드 간에는 OFDM 변조가 불필요하게 된다. 802.16 프로토콜과 더불어 802.20 프로토콜도 HAP 기반 네트워크에 유용한 프로토콜의 하나로 연구가 진행되고 있다.

4. HAP 망을 위한 지리적 클러스터링

성층권에 전개되어 이동기지국 역할을 하는 UAV들은 각각 스스로의 서비스 지역을 담당하여 서비스를 함과 동시에 광역 서비스를 위하여 UAV들끼리의 통신도 필요해진다. 기본적으로 사용자의 요구량이 하나의 파라미터가 되며, 서비스 영역이 다른 하나의 파라미터가 된다. 즉, 정해진 서비스 지역을 그 넓이와 사용자수로 분할하여 필요한 수만큼의 UAV를 전개시키므로서 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 클러스터 헤드(clusterhead)가 되며, 다른 클러스터에 속한 지상노드간의 통신은 UAV간의 통신을 거쳐서 이루어지게 된다. 지상 이동 노드의 클러스터링을 통한 여러 대의 UAV에 의한 성층권망의 서비스 중 동적 클러스터링이 필요한 시나리오의 경우는 다음과 같다.

- 성층권 네트워크 서비스 초기 전개 (initial clustering) : 당연히 일어나는 클러스터링이다. 정적 클러스터링이 가능하다.

- 지상 이동 노드의 유입이나 신규 배치로 클러스터당 지상 이동 노드의 수가 1개 UAV의 라우터가 감당할 수 있는 수를 초과 (service-oriented re-clustering) : 지상 이동 노드가 다른 지역에서의 이동의 결과로 한 클러스터에 유입 되거나 신규 사용을 요청하는 지상 이동 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.

서비스 중인 UAV의 이동이 일어난다.

• 서비스 커버리지가 노드의 이동 등등으로 인하여 변동 (geographical reclustering) : 노드의 이동으로 클러스터 전체의 위치가 변하거나 또는 소수 노드의 이동으로 서비스가 되지 않는 영역까지 서비스가 필요할 때 클러스터링이 다시 이루어져야 한다. 이때 서비스 중인 UAV의 이동 또는 새로운 UAV의 투입이 이루어져야 한다.

• UAV의 고장 등등으로 다른 UAV이 담당할 영역이 확장 (airship-backup reclustering) : UAV의 고장으로 인하여 리클러스터링이 일어나며, UAV이 신규 투입되는 경우도 있다.

• 지상노드의 수가 감소 (shrinking clustering) : 이 경우는 반드시 리클러스터링이 일어날 필요는 없으나, 리클러스터링 시 클러스터의 수는 감소할 수 있고, 각 UAV의 커버리지는 커지게 된다.

앞에서 열거한 다양한 시나리오 중 본 논문에서는 노드의 이동으로 인한 클러스터의 변동을 알아보는 것에 중점을 두고 시뮬레이션을 실시하였다. 위에 열거한 시나리오의 경우는 모두 클러스터링 알고리즘이 실행되어 지상 이동 노드의 분포 및 서비스 영역에 따라 지상 이동 노드가 리클러스터링 되고 이동 기지국인 UAV의 재배치가 이루어져야 한다. 이때 이동기지국인 UAV에서 필요한 파라미터는 다음과 같다.

- 1) 현재 서비스 중인 지상 이동 노드의 숫자를 알 수 있다. (지상 이동 노드의 ID 시그널)
- 2) 현재 서비스 중인 지상 이동 노드의 위치를 알 수 있다. (지상 이동 노드의 위치 보고)
- 3) 스스로의 위치를 알 수 있다. (GPS 등의 위치 파악 시스템)
- 4) 주어진 범위 내에서 임의로 커버리지를 변경할 수 있다. (합성 개구 안테나 등 이용가능)
- 5) UAV끼리의 통신이 가능하다.
- 6) UAV이 분산 알고리즘을 실행할 수 있을 정도의 컴퓨팅 파워가 필요하다.
- 7) 기타 지상 관리국과의 통신이 가능하다. 즉 UAV을 지상에서 제어하는 것이 가능하다.

이상의 가정과 더불어 클러스터링 알고리즘이 만족해야 할 조건은 다음과 같다.

- 1) 클러스터 내의 모든 노드가 요구하는 총 대역폭이 한 이동기지국이 제공할 수 있는 총 대역폭

보다 작아야 함.

- 2) 리클러스터링 발생시, 변경된 센트로이드로 이동하기 위하여 UAV의 이동 속도 고려.
- 3) 리클러스터링 발생 시 즉응성 있는 서비스를 위하여 실시간적 클러스터링이 요구.

본 논문에서 사용한 기본적 클러스터링 알고리즘은 K-Mean 클러스터링 알고리즘[14,15]에 기반하고 있으며 K-Mean 알고리즘이 보이는 전표본성(whole-sampleness)을 중요시하였다. 그리고 클러스터링의 센트로이드(centroid)는 이 알고리즘의 센트로이드 정의와 달리 중간값(median)을 이용하여 해당 클러스터가 차지하는 중앙에 위치하게 된다.

이상의 가정에서 UAV의 재배치를 포함한 전체 클러스터링 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 클러스터의 수 K를 정한다. 클러스터의 수는 다음 중 큰 수이다. K는 필요한 UAV의 최소수가 된다.
 - 가) 모든 지상 이동 노드가 요구하는 총 대역폭 용량(node capacity) / UAV에 탑재된 라우터의 총 대역폭 용량(router capacity)
 - 나) 지상 이동 노드가 전개된 총 영역의 넓이 (service coverage) / UAV이 커버하는 총 영역의 넓이(airship coverage)
- 2) 클러스터링 알고리즘을 실행하여 지상 이동 노드를 클러스터링 한다.
 - 가) 클러스터링의 기준은 지상노드들이 전개된 직교좌표계를 따른다.
 - 나) K-mean 알고리즘을 실행하여 나타난 결과로 서비스 클러스터를 결정한다.
- 3) 각 클러스터의 중심점을 파악한다.
 - 가) 클러스터에 속한 지상노드들의 직교좌표로 클러스터의 중심점을 계산한다.
- 4) 각 클러스터의 중심점으로 UAV을 이동시킨다.
- 5) 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 성층권 망을 전개할 수 있게 된다. 위의 알고리즘은 지상 이동 노드의 개수 N에 대하여 K-mean 알고리즘의 복잡도인 $O(N^3)$ 의 시간 복잡도를 가진다. 전체 네트워크의

운용시간에 나타나는 리클러스터링의 횟수를 T라고 하면, 전체 시간 복잡도는 $O(TN^2)$ 로 표현된다.

5. 시뮬레이션 결과

5.1 시뮬레이션 환경 및 모빌리티 설정

시뮬레이션은 NS-2를 이용하여 지상 이동 노드의 이동 모델(mobility model)을 정의한 후 제주도의 인구 분포에 비례하여 1000개 이상의 지상 이동 노드를 제주도 및 인근 해상에 배치하였고 결과를 시각화하였다. 제주도가 특정지역으로 선택된 이유는 다음과 같다.

- 제주시 및 서귀포시에 인구 및 거주지역이 집중되어 있다.
- 다수의 부속도서가 있으며 부속도서와 제주도 간의 왕래가 잦다.
- 그 이외의 지역은 인구밀도가 낮다.
- 많은 관광객으로 인해 계속되는 이동성이 나타난다.
- 이와 같은 특징으로 인하여 노드의 이동성이 높다.
- 인근의 해상에 다양한 형태의 선박이 운용된다.
- 지상이동노드 및 해상이동노드 등의 다양한 이동성을 가지는 노드가 혼합되어 존재한다.
- 본토의 특정 지역과 HAP UAV를 통한 라우팅만을 이용하여 연결 될 수 있어야 한다.

서비스 지역은 제주도와 그 인근 해상으로 총 28,246평방미터의 넓이를 가진다. 총 노드의 수는 1000개이며 이에 새로 유입된 120개의 노드가 추가된다. 클러스터의 수는 50개에서 시작하여 초기에 20개씩의 지상 이동 노드에 대응되어 있다. 지상노드의 수는 일정하며, 약 0-100 km/sec의 속도로 이동하도록 설정되었다. 제주시나 서귀포시를 포함한 인구 밀집 지역과 그 외의 제주 지역, 그리고 해상 지역에서의 이동 속도가 모두 다르며, 최대한 인구밀도와 이동가능속도를 현실과 유사하게 설정하였다. 주어진 시뮬레이션 시간은 최대 60분이다. 이와 같은 파라미터 내역은 다음 표 1에 정리되어 있다.

NS-2 시뮬레이터를 이용한 HAP 기반 네트워크의 시뮬레이션은 모빌리티 모델을 요구한다. 시뮬레이션에 이용한 모빌리티 모델의 디자인은 다음과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터 요약

파라미터	값	비고
지역 넓이	28,246m ²	해역포함
총 노드수	1120개	120개의 해상노드 포함
클러스터 수	50개	초기값
클러스터당 노드수	20개	초기값
지상노드이동속도	0-100 Km/sec	580개의 노드만 속도갱신
클러스터 최대반경	150Km	ITU 규약에 따름
총 시뮬레이션 시간	60분	최대값

• 제주도 총 인구 수 563,388명에 대해서 1000개의 노드로 나누어 1개의 노드 당 약563명의 인구수를 나타내게 하였다. 또한 제주도 주변의 바다 쪽에는 추가적으로 120개의 노드를 분포시켰다. 노드 수는 총 1120개이다.

• 제주도의 세대 및 인구 통계정보를 참고하여 제주도 지역에 할당된 1000개의 노드를 사람이 살고 있는 지역 별로 크게 15곳으로 분류하고 초기 배치시켰다. 또한 제주도에 분포한 총 1000개의 노드에서 사람은 70%, 자동차는 20%, 말은 10%를 차지한다고 가정하였다.

• 노드의 종류를 사람, 배, 말, 자동차 네 가지로 구분하였다. 분류에 따라 속도의 범위가 달라지며 그 정보는 표 2에 나타난다.

• NS-2에서 제공하는 랜덤 웨이포인트 모델(Random Waypoint Model)에 기반한다.

• 총 580개의 노드만이 시뮬레이션 중에 속도정보가 갱신된다.

본 모빌리티 모델이 시뮬레이션 시간 중에 보이는 이동 궤적은 그림 2와 같다.

5.2 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션 시간 60까지의 경과 중 특정 시간 55

표 2. 노드 분류 및 노드별 속도 범위

노드의 종류	속도(km/h)	시뮬레이터 표현 (실제 속도× 0.1)
사람	0 ~ 10	0 ~ 1
자동차	0 ~ 100	0 ~ 4
말	0 ~ 40	0 ~ 4
배	0 ~ 40	0 ~ 10

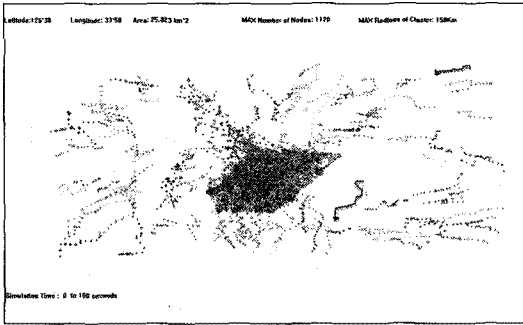


그림 2. 시뮬레이션 중 지상 이동 노드들의 이동 궤적

의 스냅샷(Snapshot)을 그림 3에 제시하였다. 각 클러스터의 반경은 시각적 편의성을 위하여 1.4배 크게 나타내었다. 최종적 시각화는 그림3과 같이 제주도 인근의 지역에 투영된 클러스터링 결과를 보여준다.

작은 점은 지상 이동 노드이며, 큰 십자가는 한 클러스터의 중심(Centroid)이다. 본 논문에서는 클러스터의 중심을 클러스터의 무게중심(Center of Gravity)이 아닌 각 직교좌표의 중간값(Median)으로 설정하였으며 이는 이동 기지국인 UAV의 지리적 위치이다. 초기 클러스터당 20개의 노드로 시작하여, 클러스터링의 결과 인구밀도가 높은 제주도 및 서귀포시 근방은 많은 숫자의 작은 클러스터가 설정됨을 보여주며, 인구 밀도가 낮은 기타 지역 및 해상은 적은 숫자의 큰 클러스터로도 서비스가 가능함을 보여준다. 또한 인구 밀도가 높은 지역은 클러스터에 속한 노드의 숫자가 최대 57이며, 작은 지역은 2개의 노드가 한 클러스터에 속하고 넓은 범위를 커버하는 해양 지역이다. 이동 기지국이 담당할 수 있는 적정 노드 수는 20개로 예상되나 클러스터 내 이동 노드끼리의 통신요구량도 포함하므로 큰 과부하는 없을

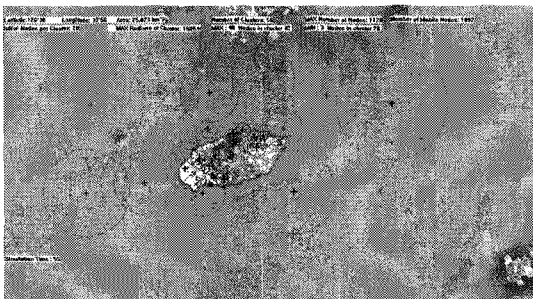


그림 3. 시뮬레이션 시간 55일때의 클러스터링 결과

것으로 예상된다.

주어진 클러스터의 최대 크기(한 이동기지국이 담당하는 최대 영역)는 반지름 150Km까지 가능하나, 실험 결과 최대 반경 154Km, 최소 반경 6.5Km의 결과가 나타났다. 최대 반경 154Km의 클러스터는 해양 지역에 속한 클러스터로서 적은 수의 이동노드를 담당하며 최소 반경인 6.5Km의 클러스터는 인구밀집 지역인 제주도 지역에 나타난 것으로서 매우 조밀하게 지상 이동 노드가 배치된 구역을 담당한다.

시뮬레이션 결과 중 소수의 클러스터는 다른 클러스터와 많은 부분이 겹치는 것으로 나타나나, 실제로 특정 노드는 한 클러스터에만 속할 수 있고, 주파수 할당 및 주파수 재사용을 통하여 이러한 조건을 만족시킬 수 있다[26]. 또한 특정 클러스터는 다른 클러스터와 동떨어진 오편(Orphan) 클러스터를 이루나 UAV간의 최대 통신거리로 가정된 930Km 이상의 거리를 벗어나지 않으므로 클러스터간의 통신에는 문제가 발생하지 않는다.

이러한 실험 결과는 안정된 네트워크 접속을 유지하기 위하여서는 클러스터의 병합 및 분할을 통하여 클러스터당 노드의 수를 적절히 유지하게 하는 추가 연구가 필요함을 시사한다. 이 때 한 UAV가 담당할 수 있는 최대 넓이를 적절히 고려하는 알고리즘이 필요하다. 클러스터의 분포에 따라 클러스터의 수가 정해지는 클러스터링 알고리즘은 현재 개발 중에 있다.

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 성층권에 지상 노드와의 통신장비를 장치한 UAV을 다수 전개하여 이동 기지국의 역할을 하여 통신망을 구성하는 상황에서 이동 기지국의 위치 배정을 위한 지상 이동 노드의 클러스터링에 관하여 논하였다. 주어진 서비스 커버리지에서 지상노드의 요구를 고려하여 일정한 수의 UAV을 투입하고, 한 UAV이 한 클러스터의 MBS를 담당하며 지상노드와 UAV간의 통신 및 UAV간의 통신을 통하여 특정 지역에서 성층권망을 전개할 수 있는 기반을 마련하였다. K-mean 알고리즘을 기반으로 하는 시뮬레이션을 통하여 시각화된 결과가 제시되었다.

차후에는 지형적 장애물이 고려된 새로운 클러스터링 알고리즘이 개발되어야 할 것으로 보인다. 이러한 클러스터링 알고리즘은 클러스터의 안정성을 위하여 UAV의 급격한 이동을 방지하여야 하며 노드의 이동 및 추가로 인하여 생기는 현상에 실시간적으로 대응할 수 있어야 하므로 충분히 낮은 계산 복잡도를 가지고 있어야 한다. 현재 나타난 클러스터링 알고리즘의 결과를 고려할 때, 한 클러스터에 적정수의 노드가 배치되지 않으므로 이에 대한 대응이 필요하다. 이를 위해 DBSCAN, BIRCH, EM 등의 알고리즘에 기반한 새로운 기법을 연구 중이다.

특히 EM(Expectation Maximization) 알고리즘은 지상 이동 노드가 이동하는 위치와 방향이 알려지지 않았을 때 지상 노드의 이동 위치와 방향을 확률적으로 추정하여 클러스터링 함으로써 효과적으로 노드 이동에 대응할 것으로 기대된다. BIRCH 알고리즘은 CF-tree를 이용하여 클러스터링을 실시함으로써 과도하게 많은 노드를 가진 클러스터나 과도하게 적은 노드를 가진 클러스터의 분할 및 병합과정에 유용하다. 따라서 시뮬레이션의 결과 나타나는 겹친 클러스터(Overlapped Clusters) 또는 내포된 클러스터(Inclusive Cluster) 등의 의미 없는 결과를 해결할 수 있다. 이 현상은 클러스터 센트로이드의 거리와 클러스터의 최대 반경을 이용하여 간단한 후처리 과정을 거침으로도 해결할 수 있으나 BIRCH를 이용한 클러스터의 합병 및 분할로 좀 더 일반적인 해결책을 제시할 수 있다. 즉 이상의 알고리즘을 결합하여 다단계 클러스터링을 함으로써 최종 목표인 클러스터의 안정화에 좀 더 적합한 알고리즘을 만들어낼 수 있을 것으로 기대된다. 현재 BIRCH에 기반하고 K-mean 알고리즘으로 초기 정적 클러스터링을 수행하며 EM으로 지상 이동 노드가 특정 클러스터에 속할 확률을 조정하는 클러스터링 방식을 연구 중이다.

본 연구의 결과는 지상 이동 노드의 이동에 따른 지속적인 리클러스터링을 보여준다. 리클러스터링의 결과로 인한 UAV의 이동으로 지상노드와 UAV 간의 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 UAV의 이

동과 안테나의 방향 조절로 해결할 수 있다. 이 때 안테나가 UAV의 위치를 추적하게 하거나(Active Homing Antenna) 또는 UAV의 예상위치를 미리 파악하고 있는 방법이 가능하다[27].

참 고 문 헌

- [1] A. K. Widiawan, and R. Tafazolli, "High Altitude Platform Station(HAPS): A Review of New Infrastructure Development for Future Wireless Communications," *Wireless Personal Communications*, Vol.42, pp. 387-404, 2007.
- [2] Mehmet S. Kurana, and Tuna Tugcu, "A Survey on Emerging Broadband Wireless Access Technologies," *Computer Networks*, Vol.51, No.8, pp. 3013-3046, 2007.
- [3] 손인수, "HAPS(성층권 무선통신 시스템)," TTA 저널, 제96호, pp. 105-110, 2004.
- [4] Vance Faber, "Clustering and the Continuous K-means Algorithm," *Los Alamos Science*, No. 22, 1994.
- [5] 이상준, "세계최초의 전기추진식 무인비행선 개발," *산업자원부 보도자료*, 2003.
- [6] 구본준, 안대섭, "HAPS 국제표준화 및 국외기술동향 분석," *전자통신동향분석*, 제15권, 제5호, pp. 49-59, 2000.
- [7] Dudley Lab's list of Frequency Allocations, "<http://www.dudleyleab.com/freqaloc.html>"
- [8] S. Karapantazis, and F.-N. Pavlidou, "The Role of High Altitude Platforms in beyond 3G Networks," *IEEE Wireless Communications*, Vol.12, No.6, pp. 33-41, 2005.
- [9] 미국 SSI사, "<http://www.skystation.com>"
- [10] 일본 우정성, "<http://www.jaxa.jp>"
- [11] 박종민, 오대섭 "일본의 HAPS 개발 및 성능시험 동향 분석," *전자통신동향분석*, 제18권, 제5호, pp. 52-62, 2003.
- [12] J. MacQueen, "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations," *Proc. Fifth Berkeley Symposium on Math. Statistics and Probability*, Vol.1, pp. 281-297, 1967.

- [13] I.S. Dhillon, and D.S. Modha, "A Data-clustering Algorithm on Distributed Memory Multiprocessors," *Large-Scale Parallel Data Mining*, Vol.1759, pp. 245-260, 1999.
- [14] Tian Zhang, Raghu Ramakrishnan and Miron Livny, "BIRCH: A New Data Clustering Algorithm and Its Applications," *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 1, No. 2, 1997.
- [15] T. K. Moon, "The Expectation-Maximization Algorithm," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.13, No.6, pp. 47-60, 1996.
- [16] A. X. Huang, U. Behr, and W. Wiesbeck, "Automatic Base Station Placement and Dimensioning for Mobile Network Planning," *IEEE Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, pp. 1544-1549, 2000.
- [17] Yang Yu, S. Murphy, and L. Murphy, "Planning Base Station and Relay Station Locations in IEEE 802.16j Multi-Hop Relay Networks," *The 5th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2008)*, pp. 922-926, 2008.
- [18] Bin Lin, Pin-Han Ho, Liang-Liang Xie, and Xuemin Shen, "Relay Station Placement in IEEE 802.16j Dual-Relay MMR Networks," *IEEE International Conference on Communications (ICC '08)*, pp. 33437-3441, 2008.
- [19] W. Alsalih, S. Akl, and H. Hassanein, "Placement of Multiple Mobile Base Stations in Wireless Sensor Networks," *2007 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, pp. 229-233, 2007.
- [20] 이연우, 윤영중, 성충권 통신망 구축을 위한 무선 광전송 시스템 설계, 연세대학교, 서울, 2001.
- [21] Robert Andrew Janis Purvinskis, Interplatform Links, Univ. South Australia, Adelaide, Australia, 2003.
- [22] J. Thornton, D. Grace, and C. Spillard, T. Konefal and T. C. Tozer, "Broadband Communications from a High-altitude Platform," *Electronics and Communication Engineering Journal*, Vol.13, No.3, pp. 138-144, 2001.
- [23] D. Grace, C. Spillard, J. Thornton, and T.C. Toze, "Channel Assignment Strategies for a High Altitude Platform Spot-beam Architecture," *The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol.4, pp. 1586-1590, 2002.
- [24] A. T. Al Mosawi, Review of existing mobile broadband wireless access (MBWA) technologies (IEEE 802.16 and IEEE 802.20). Centre for Telecommunications Research, King's College London, University of London.
- [25] Floriano De Rango, Andrea Malfitano, and Salvatore Marano, "PER Evaluation for IEEE 802.16-SC and 802.16e Protocol in HAP Architecture with User Mobility under Different Modulation Schemes," *IEEE Globecom*, pp. 1-6, 2006.
- [26] 김봉석, 강영홍, IMT-2000 서비스를 위한 성충권 통신 시스템과 지상통신 시스템간의 간섭 영향에 대한 연구, 군산대학교, 군산, 2002.
- [27] Toshiaki Tsujii, Jinling Wang, Liwen Dai, and Chris Rizos, "A Technique for Precise Positioning of High Altitude Platforms System (HAPS) Using a GPS Ground Reference Network," *14th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation*, pp. 1017-1026, 2001.



송 하 운

1987년 3월~1991년 2월 서울대
학교 자연과학대학 계산
통계학과 이학사
1991년 3월~1993년 3월 서울대
학교 자연과학대학 전산
과학과 이학석사

1995년 9월~2001년 1월 Ph.D. in Computer Science,
University of California at Los Angeles

2001년 3월~현재 홍익대학교 컴퓨터공학과 전임강사,
조교수, 부교수

관심분야 : 고고도 통신망, 이동 센서망, 네트워크 시뮬레
이션, 결합 허용 네트워킹