

HAPS 기반 네트워크에서의 실시간 이동 기지국 위치 문제 해결 정책

정웅희*, 송하윤*, 조관식*

*홍익대학교 컴퓨터공학과

e-mail: mrj16@naver.com, hayoon@wow.hongik.ac.kr, mstr50@gmail.com

HAPS Network MBS placement with EM Clustering Algorithm

Woong-Hee Jung*, Ha Yoon Song*, Kwan Sik Cho*

*Dept of Computer Engineering, Hongik University

요 약

EM(Expectation Maximization)은 불확실한 데이터들을 가지고 분포를 모델링하는, 널리 알려진 군집화 알고리즘이다. EM 알고리즘에서, 정규 분포는 기대(Expectation)-최대화(Maximization)과정을 반복하는 과정에서 그 윤곽을 다져간다. 이 때 이 과정은 EM 알고리즘의 다양한 확률 초기화에 따라 다른 결과를 내게 된다. 본 논문에서는 이 확률 초기화 값의 조정을 통하여 HAPS(High Altitude Platform Station) 기반 네트워크에서 이동 기지국의 위치를 실시간으로 결정하고자 하는 문제를 풀기 위한 조건을 몇 가지 반영시켜 확률 초기 값을 결정해 보고, 그 결과를 제시한다. 이에 더불어, ITU에서 제한하고 있는 이동 기지국의 서비스 반경을 고려하는 방법을 제시한다.

1. 서론

HAPS 기반 네트워크에서 실시간 이동 기지국의 적절한 위치를 선정하는 문제를 푸는 것은 NP-hard 문제임이 알려져 있다. 이 난해한 문제에 접근하기 위해서 다양한 시각으로서 문제를 관찰해야 하며, 부분적인 문제들은 현재 과학의 한계를 고려하여 지적되어야 한다.

2차원 좌표계에서 이동하는 노드들의 실시간 군집화에 관심을 가지고 관찰한 결과 중요한 몇 가지 부분적인 문제들은 다음과 같다.

- 이동 기지국은 비행선에 장착되기 때문에 이동 속도에 한계가 있으며, 그 이동이 많아질수록 연료가 많이 드는 경제적인 문제가 생긴.
- 서비스 이용자들의 이동 속도가 빨라질수록, 그를 고려하지 못한 실시간 군집화의 결과는 점점 불안해짐.
- 각 기지국들이 허용할 수 있는 지표상의 서비스 반경에 한계가 있음.
- 각 기지국들이 제공할 수 있는 대역폭의 범위에 한계가 있음.
- 각 기지국들이 서비스하고 있는 이용자 수의 분산도가 클수록 효율적이지 못한 군집화의 결과가 됨.

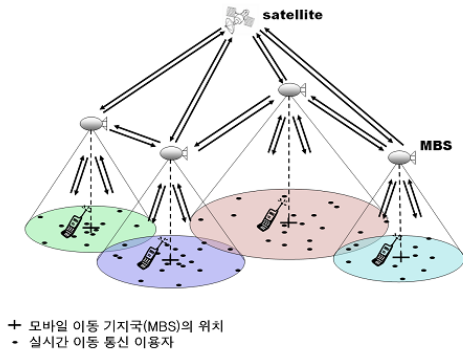
본 논문은 EM(Expectation Maximization) 군집화 알고리즘을 이용하여 위의 부분적인 문제들 중 몇 가지에 접근한

다. 그 접근은 몇 가지 방법으로 EM 알고리즘의 확률 초기화 값에 영향을 주는 것과, 이전 군집화 결과에 대한 부분적인 자료를 다음 군집화로 전달해 주는 것을 통하는 것이다.

2. HAPS 기반 네트워크

고정 기지국 네트워크에서는 모바일 이용자들의 이동에 따라 융통성 있게 서비스를 제공하기 어렵다. 이는 시간이 흐름에 따라 단위 지역 당 서비스 이용자들의 밀도가 계속해서 변하기 때문이다. 이 밀도가 변함에 따라 융통성 있는 서비스를 하지 않으면, 대역폭과 전력을 무의미하게 낭비하게 된다. 이를 보완하기 위한 하나의 방법이 HAPS 기반 네트워크이다. HAPS 기반 네트워크가 구축되어 서비스되고 있는 모습은 (그림 1)과 같다. 이 그림에서 지상의 각 서비스 이용자들은 하나의 노드로서 표시되었으며, 해당하는 실시간 모바일 이동 기지국의 서비스 영역 안에 위치하고 있다. 기지국들은 서로 통신이 가능하며, 인공위성과도 실시간으로 메시지를 주고받는다.[2]

HAPS 기반 네트워크에서 논의되어야 하는 중요한 문제 중의 하나는 이동 기지국들의 실시간 위치 결정 문제이다. 본 논문에서는 3가지 방법으로 이 문제에 접근하였다. 첫째는 부분적인 자료의 실시간 전달이고, 둘째는 EM 군집화 알고리즘의 거리 기반 확률 초기화이며, 셋째는 노드 이동 속도에 따른 확률 가중치를 조정하는 것이다.



(그림 1) HAPS 기반 네트워크

3. 부분적인 자료의 실시간 전달

HAPS 기반 네트워크에서는, 이동 기지국들이 시간에 따라 안정적으로 이동하여야 하며, 제한 속도 이상으로는 빠르게 이동할 수 없다. 이는, 이전 시간의 군집화의 모습을 감안하여 다음 시간의 군집화가 이루어져야 함을 뜻한다.

EM 알고리즘이 이전 시간의 군집화의 모습을 감안할 수 있도록 하기 위해서는, 이전 시간의 군집화 결과가 갖는 몇 가지 주요 인자들을 전달해 주어야 한다. 각 군집의 식별과, 각각의 식별에 해당하는 정규분포가 그것이다. 여기서 정규분포의 평균은 기지국의 좌표적인 위치를 의미하고, 분산은 이용자들이 얼마나 기지국의 근처에 몰려 있는가를 말해 준다. 이전시간과 다음시간의 클러스터가 정확히 맵핑되기 위해서 각 군집의 식별은 필수적이다.

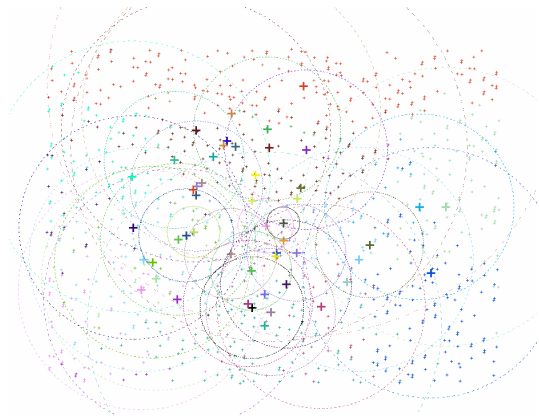
다음 시간의 군집들은, 이전 시간의 군집화 결과 알게 된 자신들의 분산도를 통하여 이전 위치에 무게를 두어 군집화에 참여한다. 만약, 어떤 기지국에 새로운 이용자가 추가되게 되었다면, 그 기지국은 자신의 이전위치의 무게에 따라 이동해야 될 정도를 판단한다. 이는 곧, 각 기지국들이 이전의 위치를 고려하여 어느 정도 안정적인 이동을 보장할 것임을 뜻하는 것이다.

널리 알려진 K-Means 군집화 알고리즘[3]에서는, 각 군집이 분산도를 가지고 있지 않기 때문에, 이전의 위치에 어느 정도의 무게를 두어야 하는가를 전혀 판단할 수 없게 된다. 이는 매우 충동적인 결과를 보여주며 이러한 점을 EM을 이용한 동적 프로그래밍으로 보완할 수 있다.

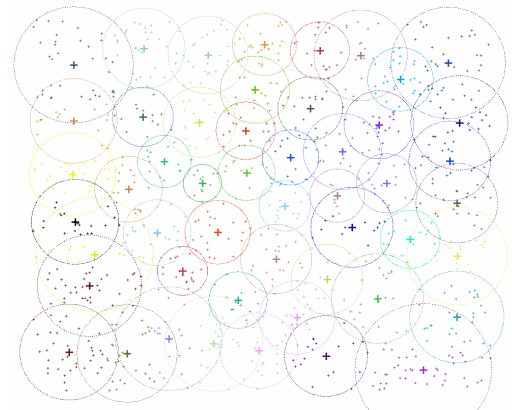
4. 거리 기반 확률 초기화

EM 알고리즘은 본래 랜덤한 확률 초기화 값에 기초하여 기대-극대화 과정의 반복을 통해 결과 값을 산출하도록 되어 있다. EM 알고리즘은, 각각의 노드들이 어느 클러스터에 속할 가능성이 어느 정도가 되는가에 대한 내용이 담겨 있다고 볼 수 있는 이 확률 초기화 값을 통해 기대-극대화의 과정을 반복하면서 각 클러스터들이 독자적으로 보유하고 있는 정규 분포의 윤곽을 다져 나간다.

하지만, 랜덤하다고 하여 정말 두서없는 확률 분포를 만들어 넘겨주면 기대-극대화의 반복횟수가 많아질뿐더러 결과 또한 불안하다. HAPS 기반 네트워크에서 이동 기지국의 위치 문제를 적절히 풀어나가기 위해서는, EM의 초기 값으로서 랜덤한 확률 분포를 넘겨주는 것이 아니라, 노드와 클러스터 중심점들 간의 거리 데이터에 기초한 확률 분포를 넘겨주는 것이 의미 있는 하나의 방법이 된다. 이 방법은 구체적으로, 기준이 되는 클러스터 중심점들의 초기 위치를 K-Means 알고리즘으로 정하고, 각 노드들이, 자신과 더 가까운 클러스터에 더 큰 확률을 가지게 하는 것이다. EM 알고리즘의 초기화로 랜덤한 확률 분포를 주었을 때와, 노드-클러스터 중심점 간의 거리에 기초한 확률 분포를 주었을 때의 결과적 차이는 (그림 2)와 (그림 3)에서 확인할 수 있다. 그림에서 십자가(클러스터 중심점)는 모바일 이동 기지국의 위치를, 작은 점은 서비스 이용자(노드)들의 위치를 각각 나타내며, 각 기지국의 지상 서비스 반경은 원으로 나타내었다.

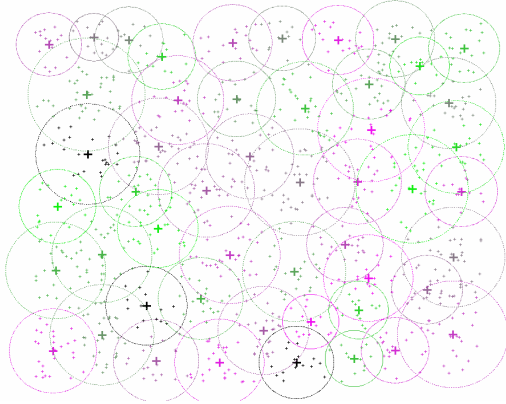


(그림 2) 랜덤한 확률 초기 값이 주어졌을 때의 EM 클러스터링 결과



(그림 3) 거리에 기초한 확률 초기 값이 주어졌을 때의 EM 클러스터링 결과

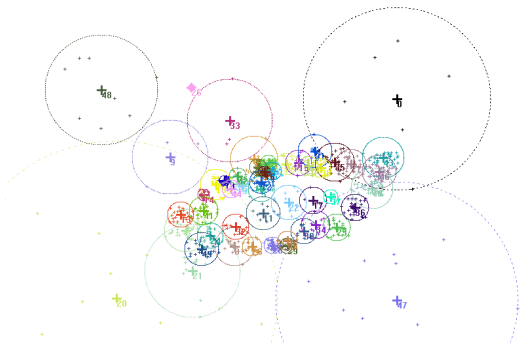
이 결과는 마치 K-means 알고리즘을 통해 얻은 결과와 유사하며, 실제 K-means 알고리즘과의 결과는 (그림 4)에서 확인할 수 있다. K-means 알고리즘이 노드-클러스터 중심점 간의 거리 정보에만 의존하여 과정을 진행한다면, 노드-클러스터 중심점 간의 거리 정보를 고려한 EM 알고리즘이 그와 유사한 결과를 보여주는 것은 자연스러운 것이다.



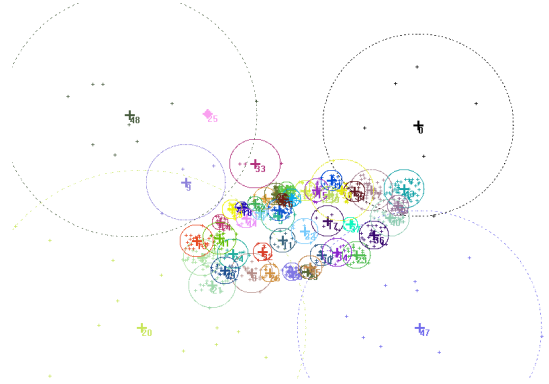
(그림 4) K-means 알고리즘의 결과

5. 노드 이동 속도에 따른 확률 가중치 조정

노드의 이동 속도가 빨라질수록 다음번에 어떤 클러스터에 포함될 것인가 하는 예측은 좀 더 불확실해진다. 이 점을 고려하지 않은 알고리즘은 시간에 따라 갑작스러운 변화를 보여주는 경우를 만들게 된다. 이는 (그림 5-1)과 (그림 5-2)에서 확인할 수 있다. 이 두 그림은 제주도를 배경으로 하여 작성한 Random-Waypoint 모빌리티 모델 [4]을 시뮬레이션 한 것이며, 실시간 클러스터링 도중 갑작스러운 변화를 보여줄 때를 포착한 것이다. 시간적으로 (그림 5-1)이 이전이며 (그림 5-2)이 바로 그 다음 시간의 결과다. 이 두 그림에서 일부 클러스터가, 자신의 반경을 급격하게 변화시키는 모습을 보이고 있다.



(그림 5-1) 가중치를 주지 않은 EM알고리즘의 결과.(전)



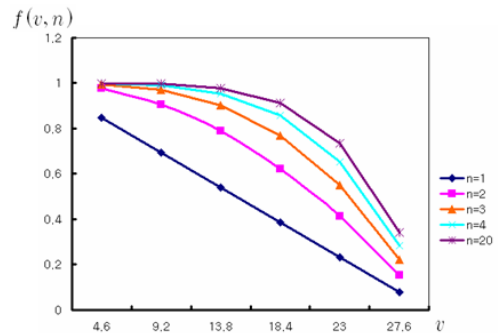
(그림 5-2) 가중치를 주지 않은 EM알고리즘의 결과.(후)

이러한 불확실한 상황 속에서 확실한 것은, 어떤 노드가, 이미 소속해 있던 클러스터에서 빠르게 이동했다면 그 클러스터의 주변의 클러스터로 소속될 가능성이 높아진다는 것이다. 이것은, 거리 기반 확률 초기화 데이터에서, 해당 하는 노드가 자신이 소속되어 있었던 클러스터에 다시금 포함될 확률을 낮춤으로써 해결할 수 있다. 이 조정은 다음의 수식(1)과 수식(2)를 통하여 이루어진다.

$$f(v, n) = 1 - \frac{v^n}{v_{max}^n} \tag{1}$$

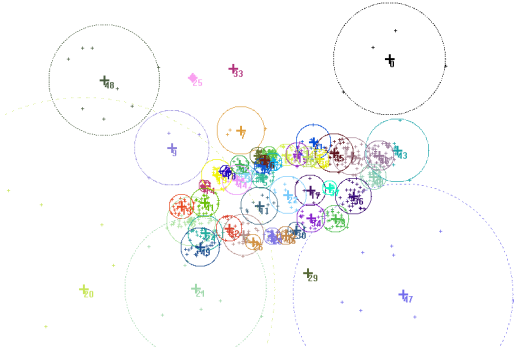
$$p_{ij}' = p_{ij}f(v_i, n) \tag{2}$$

수식(1)은 감률을 정하고 있으며, 수식(2)는 그 감률을 해당 확률 값에 적용하고 있다. 수식(1)에서, v 는 해당 노드의 이동 속도, v_{max} 는 노드의 최고 이동 속도, n 은 감률 함수 $f(v, n)$ 의 곡선화 정도를 각각 의미한다. 그리고 수식(2)에서, p_{ij} 는 i 번 노드가 j 번 클러스터에 소속될 확률, p_{ij}' 는 감률에 의해 재계산된 확률을 각각 의미한다. (그림 6)은 n 에 의한, 감률 함수의 곡선화 정도를 보여준다. 그림에서 보듯이 n 이 커짐에 따라, 이동 속도가 적당히 느린 노드들은 감률이 현저히 낮아지며, 변곡점의 속도 이후부터는 더 급격한 감률을 주게 되어 있다.

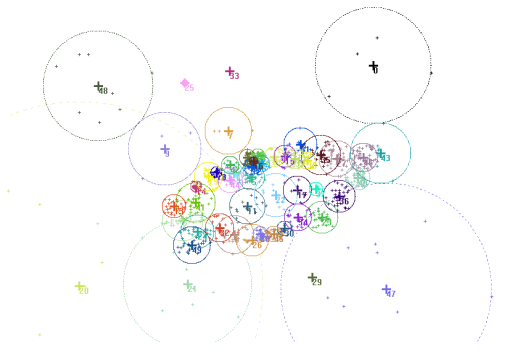


(그림 6) n값에 따른 확률 감률의 정도

이를 적용한 결과가 다음의 (그림 7-1)과 (그림 7-2)이며, n 값은 4로 하였다. 두 그림은 차례로 (그림 5-1)과 (그림 5-2)와 완전히 동일한 조건 위에서 시뮬레이션 된 결과다.

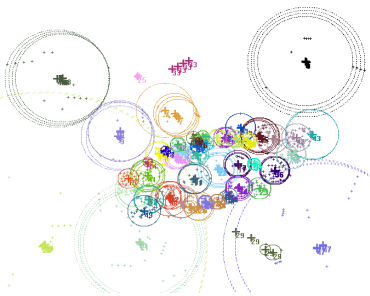


(그림 7-1) 노드 이동 속도에 따라 확률 가중치를 준 EM알고리즘의 클러스터링 결과.(전)



(그림 7-2) 노드 이동 속도에 따라 확률 가중치를 준 EM알고리즘의 클러스터링 결과.(후)

노드 이동 속도에 따른 확률 가중치를 준 이 두 그림은, 가중치를 주지 않았을 때보다 안정적인 결과를 보여주고 있다. 좌측 상단의 클러스터를 비롯한 것들이 그 예이다. (그림 8)은, 가중치를 준 EM알고리즘의 시뮬레이션 결과들을 한 화면에 중첩하여 나타낸 것이다.



(그림 8) 확률 가중치를 주었을 때의 EM 알고리즘 결과의 실시간 변화 양상.

기본적으로, 이 가중치는 거리 기반 확률 데이터 셋에 영향을 주는 것이기 때문에, 같은 이동 속도의 노드일지라도 클러스터 중심점과의 거리에 따라 영향이 달라진다. 빠른 이동 속도를 가진 노드라 할지라도, 어떤 클러스터 중심점과 충분히 가까이 있으면 그 클러스터로부터 쉽게 이탈하지 않는다. 그에 반해 그 노드가, 그 클러스터 중심점과 멀어지면, 그 클러스터에 대한 이탈 여부는 이동 속도에 더 큰 영향을 받게 된다. 그 영향의 정도는 위 감률함수 $f(v, n)$ 의 n 이 결정한다. 이는 각 클러스터의 반경이 커지는 현상을 어느 정도 방지하게 한다. 즉, HAPS 기반 네트워크의 이동 기지국의 지상 서비스 반경 제한 문제를 어느 정도 해결해 준다는 의미가 있다.

6. 결론

HAPS 기반 네트워크에서 실시간 이동 기지국의 위치 문제를 풀기 위해서, EM알고리즘을 이용하여 몇 가지 기본 제한 사항들을 어느 정도 극복할 수 있다. 본 논문에서는, EM알고리즘에게 노드-클러스터 중심점 간 거리와, 노드의 이동 속도를 감안할 수 있게 함으로써, 실시간 이동 기지국의 움직임과 서비스 반경을 안정화 시키는 목적을 일부 달성하였다.

그러나 이 문제가 어려운 만큼 아직 해결되지 못하고 있는 문제들이 남아 있다. 그 중 하나는 본 연구의 결과에 있어서, 어떤 클러스터에 너무 가까운 노드는 속도에 따른 확률 감률을 주어도 유효한 영향을 받지 않는다는 것이다. 이는 거리 기반 확률 초기화에 너무 의존하지 않는 방법을 고민해야 한다는 의미라 생각된다. 또 다른 문제는, 이동 기지국의 서비스 반경의 한계를 지킬 수 있도록 하는 것이다. 본 논문에서도 노드 이동 속도에 따른 확률 가중치로써 이 문제에 어느 정도 접근하였지만, 확실한 해결을 위해서는 추가적인 방안들이 요구된다. 클러스터의 분할과 합병을 피하는 것 등이 좋은 추가 방안이 될 것이다.

참고문헌

- [1] Frank Dellaert, "The Expectation Maximization Algorithm", College of Computing, Georgia Institute of Technology, Machine Learning, Vol 39, Issue 2-3 p.103-134, May-June 2000.
- [2] ANGGORO K. WIDIWAN, RAHIM TAFAZOLLI "High Altitude Platform Station (HAPS): A Review of New Infrastructure Development for FutureWireless Communications" Wireless Personal Communications, 2007 - Springer.
- [3] J. A. Hartigan and M. A. Wong. "A k-means clustering algorithm", In Applied Statistics, p.100-108, 1979.
- [4] Esa Hyttiä, Jorma Virtamo "Random waypoint mobility model in cellular networks" Wireless Networks, vol 13, Issue 2, April 2007.