

# UAV 도움 클러스터링 기반 다중 홉 무선 센서 네트워크 성능 분석

빈경민, 강민철, 김수민, 김준수\*

한국공학대학교

been1996@tukorea.ac.kr, swrkdalscjf@tukorea.ac.kr, suminkim@tukorea.ac.kr, \*junsukim@tukorea.ac.kr

## Performance Evaluation of Multihop Wireless Sensor Networks with UAV-aided Clustering Scheme

Gyoungmin Been, Min Chul Kang, Su Min Kim, Junsu Kim\*

Tech University Of Korea

### 요약

다중 홉 무선 센서 네트워크의 수명은 센서 노드 중 최초로 한 노드의 수명이 다하는 시점에 의해 결정된다. 각각의 센서 노드들은 장착된 배터리 전력에 의존해 데이터 중계에 참여하며 싱크노드 인근의 노드들은 빈번한 데이터 중계로 인한 에너지의 고갈로 네트워크의 수명을 단축되는 에너지 홀(energy hole) 문제가 발생하게 된다. 에너지 홀 문제를 해결하기 위해 네트워크의 에너지를 효율적으로 사용하는 에너지 절약 라우팅 알고리즘이 매우 중요해졌으며 최근에는 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)를 사용한 방법으로 네트워크를 지원하여 노드의 에너지를 절약한다. 본 논문에서는 다중 홉 무선 센서 네트워크에서 클러스터를 구성하고 UAV를 이용해 각 클러스터 헤드에 집적된 정보를 수집하는 기법을 제안하고 성능을 검증한다. 또한 UAV 성능에 따른 네트워크의 성능을 비교한다.

### I. 서론

건물 또는 자연 환경 등 넓은 지역의 센싱 데이터를 효율적으로 수집하기 위한 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)는 분산된 센서 노드로부터 데이터를 수집하여 중앙 제어장치의 싱크 노드로 전송한다. 이때 센서 노드들은 배터리 전력에 의존하여 감지 및 전송을 하게 되는 데 싱크 인근의 노드들은 자기 자신의 데이터 뿐 아니라 싱크로부터 최대 전송거리 밖의 노드들의 데이터까지 협력 중계 전송을 통해 전송하기 때문에 에너지의 소모가 가속화 되고 수명이 빨리 줄어 네트워크가 단절되는 에너지 홀 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 에너지 절약 라우팅 알고리즘인 ring based routing - simultaneous wireless information and power transfer - CNN (RBR-SWIPT-CNN) 방식을 사용하여 네트워크의 수명을 연장했다[1]. RBR-SWIPT-CNN 기법은 네트워크를 두 개의 링 영역으로 나누고 데이터 전송 경로를 서로 다르게 적용한다. 협력 중계로 인해 에너지의 소모가 많은 내부 링은 path loss의 영향을 고려해 최다 홉 전송을 외부 링은 최소 홉 전송으로 데이터를 전송하는 방식이다. 추가로 최근에는 네트워크 지원하기 위한 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)가 WSN에 도입되어 분산된 센서 노드에서 데이터를 수집하여 네트워크의 성능을 향상시킨다[2]. 3D 공간에서 UAV는 유연성과 이동성을 통해 보다 안정적인 통신 링크를 얻을 수 있다. 이를 활용하기 위해 네트워크의 외부 링의 노드들을 클러스터로 만들고 UAV를 통해 클러스터 헤드에 집적된 데이터를 수집한다. 본 논문에서는 내부 링과 외부 링 영역이 나누어진 환경에서 클러스터를 구성하고 UAV를 도입한 네트워크의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인한다. 또한 UAV의 메모리 성능에 따른 모든 클러스터의 데이터를 한 번에 수집하는 방식과 한 번에 한 개 클러스터의 데이터를 수집하는 두 가지 동작 방식을 비교하며 성능에 따른 trade off 관계를 분석한다.

### II. 시스템 모델

본 논문은 그림 1과 같이 한 개의 싱크 노드와 한 개의 UAV 그리고 다수의 센서 노드로 구성된 UAV 지원 다대일 무선 센서 네트워크를 고려한

다. 네트워크는 두 개의 링 영역으로 나뉘며 내부 링의 센서 노드들은 각각 측정된 센싱 데이터를 네트워크 중앙의 싱크 노드로 전송한다. 외부 링 영역의 센서 노드들은 데이터 수집 성능을 향상시키기 위한 다수의 클러스터를 형성하며 각 클러스터의 중심부의 노드는 클러스터 헤드 기능을 수행하여 클러스터 내의 센서 노드들의 데이터를 수집하여 UAV를 통해 싱크 노드로 데이터를 전달하게 된다. 네트워크의 센서 노드들은 작은 배터리가 장착되어있으며 각각의 노드들은 배터리의 전력에 의존해 데이터 센싱과 전송을 수행한다. 한 개의 센서 노드의 데이터 전송거리는 매우 제한적이기 때문에 최대 전송 거리 밖의 싱크 또는 클러스터 헤드로 데이터를 전송할 때 다른 노드들과의 협력 중계 전송을 통해 데이터를 전송한다. 또한 모든 센서 노드들은 싱크와 가까운 순서로 한 차례씩 자신의 데이터를 전송하는 Round Robin 방식을 사용하며, 데이터 전송 경로는 중앙 제어장치 또는 싱크노드에 의해 결정된다. 또한 외부 링의 데이터를 수집하는 방식은 UAV가 비행 중에 데이터를 수집하는 것을 가정한다. 네트워크를 두 개의 영역으로 나누고 데이터를 전송하는 방식은 기존 RBR-SWIPT-CNN 방식을 사용한다. 네트워크의 링 영역은 Convolutional Neural Network (CNN)을 통해 학습한 데이터로 설정하며 내부 링은 협력 중계를 통한 에너지 소모가 많은 영역이기 때문에 최다 홉 전송을 통해 path loss로 인한 에너지의 소모를 줄이고, 외부 링은 상대적으로 잔여 에너지가 많은 영역이기 때문에 최소 홉 전송을 통해 에너지 소모의 균형을 잡는다.

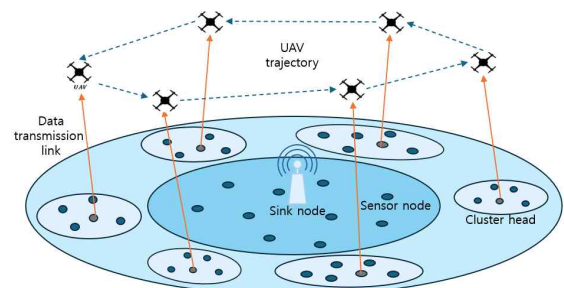


그림 1. 시스템 모델

### III. 제안하는 기법

제안하는 기법은 기존 RBR-SWIPT-CNN 방식을 통해 싱크를 중심으로 두 개의 링 영역으로 나뉜 네트워크에서 클러스터와 UAV를 사용하여 데이터를 수집하는 방법을 다룬다. 두 개의 링 영역 중 내부 링의 영역은 협력 중계로 인한 에너지 소모가 많기 때문에 최다 홉 전송으로 에너지의 소모를 줄여 네트워크의 수명을 연장시킨다. 이때 외부 링에서부터 전달되는 데이터는 UAV를 통해 별도로 수집하여 에너지의 소모를 줄인다. 또한 외부 링 영역의 센서 노드들은 데이터를 효율적으로 수집하기 위해 다수의 클러스터를 형성하여 클러스터 헤드에 데이터를 수집하게 된다. UAV는 클러스터 헤드를 방문하여 데이터를 수집하고 이를 싱크 노드에 전달한다. 이때 UAV 동작은 UAV의 메모리 성능에 따라 두 가지 상황을 고려한다. UAV의 데이터 저장 용량이 높아 데이터 수집 성능이 높은 경우 UAV의 동작은 한 번에 모든 클러스터 헤드를 방문하여 데이터를 수집하여 싱크로 전달한다(RBR-UAV-Full-Mem). UAV의 데이터 저장 용량이 적을 경우 UAV는 한 번에 한 개의 클러스터 헤드를 방문하여 데이터를 수집하고 싱크로 전달한 후 다음 클러스터를 방문하는 동작을 반복한다(RBR-UAV-Lim-Mem). 이때 클러스터 헤드와 UAV 사이의 채널은 다음과 같다.

$$L(\theta)[dB] = L_f(d_0) - 10n \log \sin \theta \quad \text{for } d \geq d_0, \quad (1)$$

이때  $L_f(d_0)$ 는 지상 path loss 모델,  $d_0$ 는 노드 바로 위의 UAV 높이,  $n$ 은 경로감쇄 지수이며  $\theta$ 는 elevation angle이다[3].

### IV. 성능 평가

시뮬레이션은 위에서 제안한 두 가지 기법, 즉 UAV의 메모리가 충분한 경우(RBR-UAV-Full-Mem)와 메모리가 제한적인 경우(RBR-UAV-Lim-Mem)의 성능을 비교한다. 채널 모델은 경로감쇄 지수가 3인 path loss 모델을 가정하며, 네트워크의 규격은 60m×60m이다. 네트워크의 정중앙에는 싱크 노드가 위치해 있으며 100의 센서 노드가 uniform하게 배치된다. 센서 노드의 최대 전송 거리는 10m이며 각 센서 노드는 시뮬레이션 시작 시 0.05J의 에너지를 가진다. 시뮬레이션은 30번씩 진행하며, 매번 싱크를 제외한 센서 노드는 무작위로 재배치된다. 전송 대역폭은 0.1MHz이며 타임 슬롯은 100ms로 설정한다. 시뮬레이션은 최초 한 개의 노드가 수명이 다하는 First Death Lifetime(FDL)을 기준으로 동작하며 성능 비교는 네트워크의 수명이 다할 때까지 전송된 패킷과 시뮬레이션 지속 시간인 lifetime의 throughput를 기준으로 비교한다[4]. 외부 링의 클러스터는 밀도 기반 클러스터링 방식인 DBSCAN을 사용하여 생성하며 클러스터 헤드는 클러스터 내의 가장 중앙에 위치한 점을 기준으로 부여한다. UAV의 고도는 10m이며 최대 이동 속도는 30m/s이다.

그림 2는 UAV 성능에 따른 두 가지 동작의 lifetime throughput을 비교한 결과를 보여준다. RBR-UAV-Full-Mem의 경우 UAV가 충분한 양의 저장 공간을 가지고 있어 한 번에 모든 클러스터를 방문하여 클러스터 헤드로부터 데이터를 수집하며, RBR-UAV-Lim-Mem인 경우 UAV의 저장 공간이 부족하여 한 번에 한 개의 클러스터만 방문하여 데이터를 수집한 결과이다. 결과를 보면 UAV의 지원이 없는 기존 RBR-SWIPT-CNN 보다 UAV의 지원을 받는 RBR-UAV-Lim-Mem의 성능이 2배정도 더 상승하는 것을 확인할 수 있다. 또한 고성능의 UAV를 가진 RBR-UAV-Full-Mem이 RBR-UAV-Lim-Mem 보다 15% 더 좋은 성능을 보여준다. 이는 UAV의 저장 공간이 많은 경우 한 번의 동작에 더 많은 데이터를 가져올 수 있기 때문에 시간대비 더 많은 정보를 수집할 수 있다. 반면에

저장 공간이 부족한 UAV는 이동에 더 많은 시간을 소비하기 때문에 네트워크의 성능이 감소하게 된다.

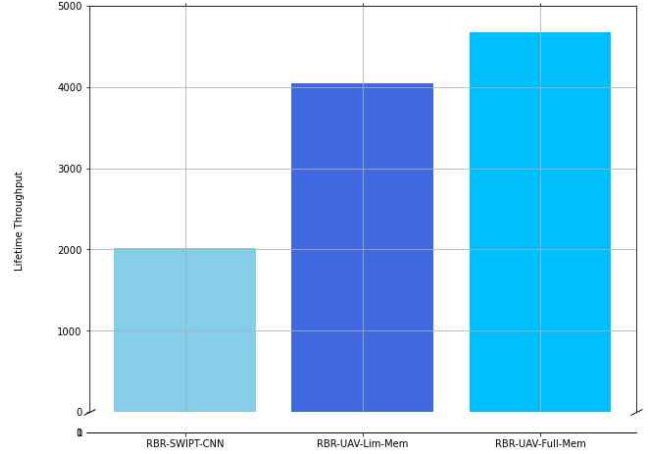


그림 2. 알고리즘 별 Lifetime Throughput

### V. 결론

본 논문에서는 에너지 홀 문제를 해결하기 위한 기존의 RBR-SWIPT-CNN 방식과 같은 내부 링과 외부 링 영역이 나누어진 환경에서 UAV를 도입한 네트워크의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인했다. 또한 UAV의 성능에 따른 두 가지 동작 방식을 비교하며 성능에 따른 trade off 관계를 분석했다. 시뮬레이션 결과를 통해 UAV를 적용한 환경은 내부 링 노드의 협력 중계로 인한 에너지 소모를 줄여 네트워크의 수명을 늘릴 수 있고 더욱 많은 데이터를 수집할 수 있다. 또한 UAV 성능에 따른 동작을 비교하여 성능이 좋은 UAV가 시간대비 더욱 많은 데이터를 가져와 UAV의 저장 공간에 따른 네트워크 성능을 확인할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 학·석사연계 ICT핵심인재양성사업과 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2024-RS-2022-0015 6326, 2021R1A2C1013150)

### 참고 문헌

- [1] G. Been, M. C. Kang, S. M. Kim and J. Kim, "CNN based Lifetime Extension for Multihop Wireless Sensor Network," in Proc. KICS JCCI 2024 Conf., Api. 2024.
- [2] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," Proc. IEEE, vol. 91, no. 8, pp. 1247-1256, Aug. 2003.
- [3] Q. Feng, J. McGeehan, E. K. Tameh and A. R. Nix, "Path Loss Models for Air-to-Ground Radio Channels in Urban environments," IEEE 63rd Veh. Technol. Conf. (VTC), vol. 6, pp. 2901-2905, May. 2006.
- [4] L. Lin, N. B. Shroff, and R. Srikant, "Asymptotically optimal energy-aware routing for multi hop wireless networks with renewable energy sources," IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 15, no. 5, pp. 1021 - 1034, 2007.