

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.167>

IIBC 2017-1-22

드론과 무선 센서 네트워크 연동에서 랑데부 노드 선정

Rendezvous Node Selection in Interworking of a Drone and Wireless Sensor Networks

민 흥*, 정진만**, 허준영***, 김봉재****

Hong Min*, Jinman Jung**, Junyoung Heo***, Bongjae Kim****

요약 무선 센서 네트워크의 수명 연장을 위해서 이동 노드를 활용하는 방법들이 제안되었고 최근 드론 기술의 발달로 드론을 활용한 데이터 수집에 관련된 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 지상의 무선 센서 네트워크와 드론을 연동할 경우 데이터 수집의 실시간성과 효율성이 높아지는 장점이 있다. 그러나 기존의 연구들은 드론의 에너지 소모를 줄이기 위해 비행 거리를 최소화하는 문제만을 집중하고 있어 노드들의 에너지 소모가 균일하지 못하는 문제를 발생시킨다. 이러한 불균형적인 노드의 에너지 소모는 각 네트워크의 단절을 가속화하고 이로 인해 드론의 비행거리가 증가하는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 각 클러스터의 내용을 수집하여 드론과 직접 통신하는 랑데부 노드 선정 시 드론의 예상 비행거리와 노드의 수명을 고려한 기법을 제안하였다.

Abstract Mobile nodes are used for prolonging the life-time of the entire wireless sensor networks and many studies that use drones to collected data have been actively conducted with the development of drone related technology. In case of associating a drone and tactical wireless sensor networks, real-time feature and efficiency are improved. The previous studies so focus on reducing drone's flight distance that the energy consumption of sensor nodes is unbalanced. This unbalanced energy consumption accelerates the network partition and increases drone's flight distance. In this paper, we proposed a new selection scheme considered drone's flight distance and nodes' life-time to solve this problem when rendezvous nodes that collect data from their cluster and directly communicate with a drone are selected.

Key Words : Drone, Wireless Sensor Network, Rendezvous node, Network partition

1. 서론

드론은 자율형 소형 비행 물체(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)로써 관련 기술을 발달로 카메라를 포함한 다양한 센서 기기 탑재 및 장거리 비행이 가능하다^[1].

센서와 통신 모듈이 탑재되어 주변 환경을 모니터링하는 무선 센서 네트워크에서 장치의 오류나 주변 환경의 변화로 인해 네트워크가 정상적인 기능을 하지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 형태의 모바일 기기들이 활용되고 있으나 지상의 장애물에

*정회원, 호서대학교, 컴퓨터정보공학부

**정회원, 한남대학교, 정보통신공학과

***정회원, 한성대학교, 컴퓨터공학과

****정회원, 선문대학교, 컴퓨터공학과

접수일자 2016년 11월 29일, 수정완료 2017년 1월 5일

게재확정일자 2017년 2월 3일

Received: 29 November, 2016 / Revised: 5 January, 2017 /

Accepted: 3 February, 2017

****Corresponding Author: bjkim@sunmoon.ac.kr

Dept. of Computer Science and Engineering, Sunmoon University, Korea

방해받지 않고 데이터를 수집할 수 있는 드론의 효율성이 높다^[9]. 드론과 지상 무선 센서 네트워크와의 연동에 관한 연구들이 진행되고 있으며^[2-5] 이러한 응용에서 드론은 지상 무선 센서 네트워크의 상공을 비행하면서 센서 노드들이 측정한 데이터를 수집하는 모바일 싱크로써의 역할을 수행한다. 드론의 경우 장애물에 대한 제약이 적고 이동 속도가 빠르며 사전에 정의된 위치를 자율적으로 비행이 가능하기 때문에 지상 센서 네트워크의 연결 단절이나 센서 노드의 오류 발생과 같은 문제 상황을 대응하는데 적합하다. 또한 드론의 경우 비행에 필요한 에너지가 부족할 경우 주어진 임무를 중지하고 지상 베이스스테이션으로 복귀하여 에너지를 공급 받을 수도 있다.

기존의 연구들은 드론과 직접 통신하는 랑데부 노드를 선정함에 있어 드론과의 거리와 드론의 비행경로 단축만을 고려하기 때문에 비행 시 소모되는 에너지의 양을 줄이고 빠른 시간에 데이터를 수집하는 방법을 설계하는데 집중하고 있다. 그러나 이러한 기법은 드론의 비행경로에 근접한 랑데부 노드들의 에너지 소모가 집중되고 드론의 이동 경로를 전달하는 메시지의 부하로 인해 전체 센서 네트워크의 수명을 단축하는 문제를 발생시킨다. 이로 인해 지상 네트워크의 단절이 증가하고 드론의 비행경로도 복잡해진다.

본 논문에서는 사전 연구를 바탕으로^[6] 기존 관련 연구들에서 발생하는 문제점을 해결하여 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 랑데부 노드의 선정에 있어 센서 노드와 드론과의 비행 거리에 영향을 주는 장애물뿐만 아니라 노드의 에너지 잔량을 고려하였다. 또한 랑데부 노드를 선정하는 과정에서 불필요한 메시지 전달을 줄이기 위해 각 노드가 다른 노드의 정보를 요구하지 않고 자체적으로 드론과의 통신 여부를 결정하는 분산 기법을 적용하였다.

II. 관련 연구

본 장에서는 랑데부 노드 선정과 관련된 기존 연구들을 살펴보고 제안 기법이 해결하려는 문제점에 대해 설명한다. Wang^[2] 등은 지상에 센서 노드를 살포하고 네트워크를 구축하여 드론을 통해 데이터를 수집하는 과정을 서술하고 임의로 랑데부 노드를 선정하여 드론의 이동경로를 최적화하는 알고리즘을 제안하였다. 임의로 랑데부

노드를 선정할 경우 선정 과정은 단순해지지만 랑데부 노드가 담당하는 지역과 분포가 균일하지 못한 단점이 있다.

Martinez-de Dios^[3] 등은 대규모의 모니터링 지역의 효율적인 데이터 수집을 위해서 지역별로 중앙에 위치하는 랑데부 노드를 선정하는 기법을 제안하였다. 중앙에 위치한 랑데부 노드는 주변 센서들로부터 수집된 데이터를 전달받아 주기적으로 순회하는 드론에게 데이터를 전송하고 드론은 랑데부 노드들로부터 전달받은 자료를 수집하여 싱크 노드로 전달한다. 랑데부 노드가 중앙에 위치할 경우 데이터 수집에 있어 효율적이거나 랑데부 노드의 에너지 고갈로 인해 작동이 멈춘 경우 네트워크가 단절될 가능성이 높다.

Heimfarth^[4] 등은 단절된 네트워크의 기능 복구를 위해 드론을 활용하였으며 드론이 단절된 네트워크 사이를 통과하거나 두 네트워크 사이를 왕복하면서 통신이 이루어질 수 있도록 하였다. 이때 드론과 통신하는 랑데부 노드는 단절된 두 네트워크 사이에서 거리가 가장 가까운 노드를 선정한다. 이와 유사한 방법으로 Alomari^[5] 등은 그림 1에서 보는 바와 같이 단절된 네트워크의 경계에 위치한 노드를 랑데부 노드로 선정하여 드론의 이동 거리를 최소화하는 기법을 제안하였다. 이러한 기법은 드론의 비행거리를 최소화하는 장점이 있지만 단절된 네트워크 내에서 데이터 수집 시 경계로 데이터를 보내는 과정에서 노드들이 많은 에너지를 소모한다.

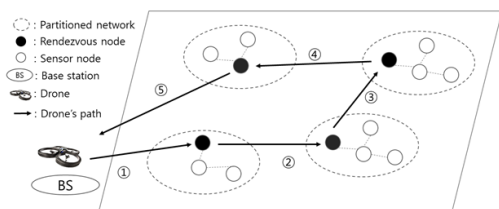


그림 1. 경계 기반 랑데부 노드 선정

Fig. 1. Boundary based rendezvous node selection

본 논문에서는 기존의 연구들이 랑데부 노드 선정에 있어 드론의 이동 경로를 최소화하는 것에 집중하여 노드들 간의 에너지 소모의 불균형이 심화되고 이로 인해 네트워크 단절이 심화되는 문제를 해결하는 방법을 제안한다. 또한 비행경로 상에 정적인 장애물이 위치할 경우 최단 경로가 달라지기 때문에 랑데부 노드 선정 기법 설계에 이를 고려하였다.

III. 제안 기법

본 장에서는 제안 기법 설계 시 가정과 랑데부 노드 선정 기법에 대해 설명한다.

1. 가정 및 개요

제안 기법은 다음과 같은 가정 하에 설계하였다.

- 모든 노드는 동일한 성능을 가지고 있음
- 모든 노드는 자신의 위치 정보를 알고 있음
- 센서 노드 밀도가 낮아 네트워크가 부분적으로 단절 되어 있음
- 드론의 비행 시작 위치는 고정되어 있음
- 노드간, 노드와 드론간 통신 오류는 고려하지 않음

그림 2는 제안 기법의 개요를 보여준다. 드론이 모든 센서노드와 통신하면서 데이터를 수집하는 것은 부하가 크기 때문에 드론과 직접 통신하는 랑데부 노드를 중심으로 센서 노드들은 클러스터를 구성한다. 이렇게 데이터 수집에 드론을 활용할 경우 기존의 네트워크 파티션으로 인해 데이터 수집이 불가능했던 노드들도 데이터 수집에 참여할 수 있다. 그러나 네트워크에 참여하는 노드들의 수명이 다해 네트워크 단절이 증가하고 이로 인해 드론이 방문해야할 클러스터의 개수가 증가하면 드론의 비행거리 또한 증가하게 된다. 따라서 랑데부 노드 선정 시 드론과의 거리를 고려하여 드론의 비행거리를 최소화하는 것뿐만 아니라 각 노드들의 에너지 잔량을 고려하여 랑데부 노드를 균등하게 선정하는 것도 중요하다. 또한 비행경로 상에 정적인 장애물이 위치할 경우 비행거리가 길어지기 때문에 이러한 분도 함께 고려되어야 한다.

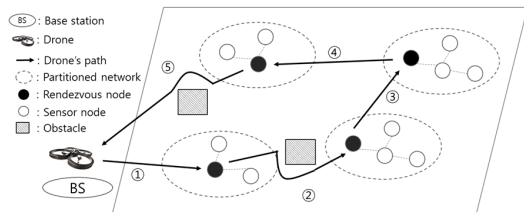


그림 2. 제안 기법의 개요
 Fig. 2. Overview of the Proposed Scheme

2. 랑데부 노드 선정

제안 기법에서 각 노드는 랑데부 노드 여부를 결정하기 위해서 난수를 발생 시키고 이를 사전에 정의한 역치

값(threshold value)과 비교하여 0에서 1사이의 난수값을 생성하고, 이 값이 역치값 보다 작을 때만 랑데부 노드로 선정한다^[7]. 본 논문에서 역치값 설정을 위해 사용하는 표기법은 표1과 같이 정리할 수 있다.

표 1. 논문에서 사용된 표기법

Table 1. The notations used in the paper

Notation	Description
$T(n)$	Threshold value of node n
P	Percentage of rendezvous nodes
S	Set of candidate rendezvous nodes
W_d	Weight of distance part
W_e	Weight of energy part
D_n	Flight distance between two nodes
E_n	Residual energy of node n
r	Drone's turning radius
θ	Drone's turning angle

제안 기법은 드론의 비행경로 단축과 센서 네트워크의 수명 연장을 위해서 수식 (1)과 같이 역치값($T(n)$)을 정의한다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (W_d * D_n + W_e * E_n) \bmod \frac{1}{P}} & \text{if } n \in S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases},$$

where $D = \sqrt{(x_r^{t-1} - x_n^t)^2 + (y_r^{t-1} - y_n^t)^2} + r\theta - 2r\sin\theta$ (1)

수식 (1)에서 전체 네트워크에서 P 는 다음 드론 비행 시 랑데부 노드의 선정 비율이고 S 은 현재까지 랑데부 노드로 선정된 경우가 없는 노드들의 집합을 의미한다. 역치값 계산 과정에서 비행 거리와 에너지 잔량에 대한 가중치는 각각 W_d 과 W_e 에 의해 결정되며 드론의 비행 거리는 이전 클러스터에서 랑데부 노드로 선정된 노드의 위치인 (x_r^{t-1}, y_r^{t-1}) 와 현재 노드의 위치인 (x_n^t, y_n^t) 사이의 거리와 장애물을 회피했을 때의 선회 경로에 의해 결정된다.

그림 3은 드론의 이동에 따라 데이터를 수집하고 랑데부 노드를 선정하는 과정을 보여준다. 드론은 데이터 수집을 위해 해당 사이트로 이동하고 자신의 도착 사실을 주변 노드에게 전송하면 랑데부 노드는 자신이 속한 클러스터의 수집된 정보를 드론에게 전송한다. 드론이 다음 위치로 이동하기 전에 다음 드론의 방문 시 랑데부 역할을 하는 노드의 선정 작업이 진행된다. 이때 각각의 노드들은 드론이 전달한 이전 클러스터의 랑데부 노드의

위치를 활용하여 수식 (1)에 따라 역치값을 계산하고 새롭게 선정된 랑데부 노드는 자신의 위치 정보를 드론에게 전달한다. 드론은 방문할 클러스터가 남아있는 경우에는 다음 위치로 이동하고 더 이상 수행해야 할 작업이 없으면 베이스 스테이션으로 귀환한다.

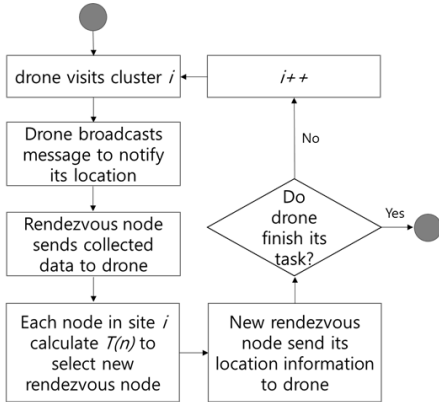


그림 3. 동작 과정
Fig. 3. Operation process

IV. 실험 및 결과

실험을 위해서 SIDnet-SWANS 시뮬레이터^[8]를 사용하였으며 50X50의 영역에 1000개의 노드를 임의로 배치하고 기존의 클러스터 중심에 랑데부 노드를 선정하는 방법(Center)과 클러스터 사이의 가장 인접한 노드를 선정하는 방법(Boundary)을 제안 기법과 비교하였다. 제안 기법에서 비행 거리와 에너지 잔량에 대한 가중치를 각각 0.5로, $r = 0.1$, $\theta = 2$ 로 설정하였다.

그림 4는 기존의 두 기법과 제안 기법 사이의 네트워크 수명을 비교한 결과를 보여준다. 클러스터의 경계에 랑데부 노드를 선정하는 기법(Boundary)은 데이터를 병합하는 과정에서 부가적인 에너지를 소모하고 클러스터 중심에 랑데부 노드를 선정하는 기법(Center)은 랑데부 노드의 변경이 빈번하게 발생하지 않기 때문에 랑데부 노드로 선정되면 에너지 소모가 심하다. 제안 기법의 경우 새로운 랑데부 노드 선정 시 각 노드의 에너지 잔량을 고려하기 때문에 균등한 에너지 소모를 유도함으로써 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다.

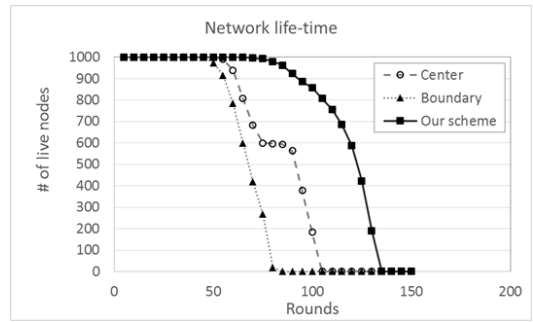


그림 4. 네트워크 수명 비교
Fig. 4. Network life time comparison

그림 5는 각 기법들의 라운드별 드론 비행 거리를 비교한 결과를 보여준다. 초기에는 경계기반 기법에서 드론의 비행거리가 가장 짧지만 라운드가 진행되면서 노드들의 에너지 소진이 불규칙하게 발생하고 이로 인해 생존 노드의 수가 급감하면서 비행거리가 증가하는 것을 볼 수 있다. 클러스터 중심 노드를 선정하는 기법은 초기에는 비행거리가 안정적으로 유지되지만 일정 라운드가 지난 이후에는 비행거리가 급격하게 증가한다. 제안 기법의 경우 비행거리가 일정하게 유지되는 라운드가 가장 길고 해당 라운드(75 라운드) 동안의 비행거리를 누적했을 때 드론의 비행거리가 가장 짧다.

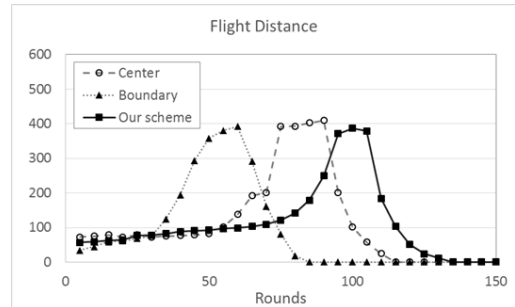


그림 5. 비행 거리 비교
Fig. 5. Flight distance comparison

V. 결론

지상의 무선 센서 네트워크와 공중의 드론의 결합을 통해 대상을 실시간으로 모니터링하고 네트워크 단절과 같은 문제 상황에 대한 대처를 통해 신뢰도를 높이는 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 응용에서 기존의 기법들이 드론의 비행 거리를 줄이려는 노력에 집

중하는 것에 비해 네트워크의 수명을 함께 고려하여 결과적으로는 드론의 비행시간도 줄일 수 있는 기법을 제안하였다. 또한 제안 기법에서는 정적인 장애물이 비행 경로 상에 위치할 경우 이를 고려하여 랑데부 노드를 선정한다. 실험을 통해 제안 기법이 기존기법들에 비해 드론과 센서 노드의 에너지 효율성이 높다는 것을 확인하였다.

References

- [1] G. Cai, J. Dias, and L. Seneviratne, "A Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends," *Unmanned Systems*, Vol. 2, No. 2, pp.175-199, April 2014. DOI: <https://doi.org/10.1142/S2301385014300017>
- [2] C. Wang, and et al., "Efficient Aerial Data Collection with UAV in Large-Scale Wireless Sensor Networks," *I International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 2015, No. 1, pp. 1-19, November 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/286080>
- [3] J. R. Martinez-de Dios, and et al., "Cooperation between UAS and Wireless Sensor Networks for Efficient Data Collection in Large Environments," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, Vol. 70, No. 1, pp. 491-508, April 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10846-012-9733-2>
- [4] T. Heimfarth, and J. P. Araujo, "Using Unmanned Aerial Vehicle to Connect Disjoint Segments of Wireless Sensor Network," in *Proc. the 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 907-914, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/AINA.2014.110>
- [5] A. Alomari et al., "A Scheme for Using Closest Rendezvous Points and Mobile Elements for Data Gathering in Wireless Sensor Networks," in *Proc. IFIP Wireless Days*, pp.1-6, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/WD.2014.7020793>
- [6] H. Min, J. Jung, B. Kim, and J. Heo, "A Rendezvous Selection Scheme Considered Node's Life-time and Drone's Path in Drome Wireless

Sensor Networks," in *Proc. Korea Computer Congress*, pp.123-125, 2016.

- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *Proc. the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp.1-10, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>
- [8] O. C. Ghica, and et al., "SIDnet-SWANS: A simulator and integrated development platform for sensor networks applications," in *Proc. the 6th ACM Conference on Embedded Networked*, pp.385-386, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1145/1460412.1460464>
- [9] T. Kim et al., "A System Design and Implementation for Geotechnical Engineering Field Application of Drone," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.16, No.3, pp.173-178, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.3.173>

저자 소개

민 홍(정회원)



- 2004년 : 한동대학교 전산과학 졸업 (학사).
- 2011년 : 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2013년 ~ 현재 : 호서대학교 컴퓨터 정보공학부 조교수.

<주관심분야 : 운영체제, 무선 센서 네트워크, 스마트폰 센싱, 임베디드 시스템, 결합허용 시스템>

정 진 만(정회원)



- 2008년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
- 2014년 서울대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(박사)
- 2014년 ~ 현재 : 한남대학교 정보통신공학과 조교수

<주관심분야 : 운영체제, 임베디드 시스템, IoT, 시스템 보안>

허 준 영(정회원)



- 1998년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사).
- 2009년 : 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2009년 ~ 현재 : 한성대학교 컴퓨터공학부 부교수.

<주관심분야: 운영체제, 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 기계학습>

김 봉 재(정회원)



- 2008년 : 광운대학교 컴퓨터공학부 졸업(학사).
- 2014년 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2016년 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터공학과 조교수.

<주관심분야: 운영체제, 임베디드 시스템, 무선 센서 네트워크, 모바일 시스템, 고성능 컴퓨팅>

※ 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2016R1C1 B1015454) (민홍) 또한, 본 연구는 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임 (허준영)