

클러스터된 이기종 무선 센서 네트워크에서의 드론을 이용한 데이터 혼잡 제어

김태림*, 송종규, 임현재, 김범수
LIG 넥스원

Data Congestion Control Using Drones in Clustered Heterogeneous Wireless Sensor Network

Tae-Rim Kim*, Jong-Gyu Song, Hyun-Jae Im, Bum-Su Kim
LIG Nex1

요약 클러스터된 이기종 무선 센서 네트워크는 서로 다른 목적을 가지는 노드들이 계층적 구조를 이루어 링크를 구성하는 네트워크를 의미한다. 무선 센서 네트워크에서는 한정적인 메모리나 배터리 용량 내에서 운용되는 경우가 많기 때문에 이러한 자원을 효율적으로 관리해야만 네트워크의 수명, 커버리지, 연결성 등의 성능을 길게 유지할 수 있다. 예를 들어 특정 센서들의 부근에서 관심을 가지는 이벤트가 빈번하게 발생하여 계속되는 데이터가 증가하게 되면, 특정 클러스터 그룹의 클러스터 헤드로 전송되는 데이터의 양도 동시에 기하급수적으로 증가하게 된다. 특히 해당 클러스터 헤드에서 전송하는 데이터양보다 센서들로부터 수신하는 데이터양이 많을 경우나 링크가 끊어져 데이터 전송이 불가능한 경우 메모리 총 용량을 초과하는 데이터 혼잡 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 데이터 혼잡 문제를 해결하기 위해 모바일 싱크로서 드론을 이용한다. 네트워크, 센서 노드, 클러스터 헤드에 대한 모델링 후 데이터 혼잡도를 계산하기 위한 비용 함수와 혼잡 인디케이터를 정의한다. 이를 바탕으로 데이터 혼잡 지도 인덱스를 계산하여 데이터 혼잡 지도를 작성 후 지도를 기반으로 드론을 최적의 위치에 배치한다. 시뮬레이션을 통하여 드론의 배치에 따른 네트워크의 혼잡도가 감소하는 양상을 다양한 접근을 통해 보여준다. 제어 변수 α 를 이용하여 배치되는 드론 수에 따른 데이터 혼잡도의 변화, 요구하는 데이터 혼잡도를 만족시키기 위한 통신 범위와 드론 수와의 관계를 알아본다. 또한 기존 연구와의 오버플로우 관점에서 비교를 통해 제안하는 알고리즘이 최소 20 %의 향상이 있음을 보여준다.

Abstract The clustered heterogeneous wireless sensor network is comprised of sensor nodes and cluster heads, which are hierarchically organized for different objectives. In the network, we should especially take care of managing node resources to enhance network performance based on memory and battery capacity constraints. For instances, if some interesting events occur frequently in the vicinity of particular sensor nodes, those nodes might receive massive amounts of data. Data congestion can happen due to a memory bottleneck or link disconnection at cluster heads because the remaining memory space is filled with those data. In this paper, we utilize drones as mobile sinks to resolve data congestion and model the network, sensor nodes, and cluster heads. We also design a cost function and a congestion indicator to calculate the degree of congestion. Then we propose a data congestion map index and a data congestion mapping scheme to deploy drones at optimal points. Using control variable α , we explore the relationship between the degree of congestion and the number of drones to be deployed, as well as the number of drones that must be below a certain degree of congestion and within communication range. Furthermore, we show that our algorithm outperforms previous work by a minimum of 20% in terms of memory overflow.

Keywords : Wireless Sensor Network, Clustered Heterogeneous Network, Data Congestion Control, Data Congestion Map, System Modeling, Sensor Node, Cluster Head, Mobile Sink

*Corresponding Author : Tae-Rim Kim(LIG Nex1)

email: taerim.kim@lignex1.com

Received April 14, 2020

Revised May 13, 2020

Accepted July 3, 2020

Published July 31, 2020

1. 서론

무선 센서 네트워크는 하드웨어의 소형화, 메모리 및 배터리 용량의 증가 등으로 무선 통신 분야 중에서 활발하게 연구되고 있는 분야 중에 하나이다. 무선 센서 네트워크는 사용자가 원하는 범위를 다수의 센서가 배치되어 감시하며 발생하는 이벤트를 계측하고 저장하는 네트워크 시스템이다. 각각의 센서에서 계측된 데이터는 주변의 통신 범위 안에 있는 이웃 센서로 전송하며 최종적으로 사용자에게 도착한다. 이러한 데이터들은 자연 현상의 대부분들을 포함하는 영상, 소리들로, 주변 환경을 관찰하며 목표로 하는 데이터들을 계측한다[1-5].

무선 센서 네트워크를 보다 효율적으로 관리하기 위해 네트워크를 구성하는 노드들의 역할을 다양화하는 이기종 구성 방식이 있다. 1단계에서는 단순히 주변을 관찰하여 계측하는 좁은 범위의 센서가 사용되고, 2단계에서는 이러한 센서들을 종합적으로 관리하여 최종단으로 전송만 한다. 실제 현실 환경과 비슷하게 초기 에너지와 데이터 발생 빈도가 다양한 환경 속에서 네트워크의 안정도를 향상시키기 위한 연구가 발표되었다[6]. 또한 불안정한 무선 센서 네트워크에서는 수집된 데이터가 여러 홉을 거치면서 데이터 혼잡이 발생하여 최종단에서의 정확성이 떨어지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 적극적으로 손실 압축을 이용하여 추정 오차를 특정 값 이하로 유지하는 기법이 소개되어 데이터 혼잡 제어에 따른 데이터 정확성의 변화를 보여주었다[7]. 네트워크의 혼잡도를 완화시켜주기 위해 움직이는 노드를 추가하는 알고리즘도 소개되었다[8]. 움직이는 노드가 네트워크에서 과도한 혼잡이 일어나는 부분에 중복되지 않는 링크를 구성하여 싱크로 직접 데이터를 전달함으로써 문제점을 해결하였다. 특정 이벤트를 중복하며 계측하면서 생기는 데이터 혼잡 문제를 해결하기 위해 에너지 균형과 커버리지를 함께 고려한 연구도 진행되었다[9]. 하지만 기존 대부분의 연구들에서는 네트워크에서 노드들의 에너지 균형에 집중하였을 뿐 메모리 균형을 고려하지 않았다. 멀티미디어 기반의 센서 네트워크에서 버퍼 사용량과 버퍼 변화율을 고려한 알고리즘(TCCA)이 발표되었지만, 버퍼의 한정적 크기와 전송 레이트에 따른 버퍼의 오버플로우(overflow)는 불가피하다[10]. 이러한 오버플로우 등으로 야기되는 데이터 혼잡 때문에 특정 노드들의 메모리 소모가 급속도로 증가한다면 그 노드는 다른 데이터를 더 이상 수신할 수 없으므로 링크는 끊어지게 되고 결국 네트워크의 수명도 동시에 줄어든다. 본 논문에서는

클러스터된 이기종 무선 센서 네트워크에서 드론을 이용하여 데이터 혼잡을 제어해 전체 네트워크의 메모리 균형을 유지하는 방법을 제시한다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서 발생하는 데이터 혼잡에 대한 문제를 정의하고, 3장에서는 네트워크를 구성하는 요소들에 대한 모델을 소개한다. 4장에서는 이 모델들을 이용하여 데이터의 혼잡을 완화시키는 방법을 제안하고, 5장에서는 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하고 결과를 통해 제안한 방식을 분석한다. 6장에서 본 연구에 대한 결론을 짓고 마무리한다.

2. 문제 정의

이기종 무선 센서 네트워크는 서로 다른 목적을 가지는 노드들이 링크를 구성하는 네트워크를 의미하며, 클러스터는 그러한 노드들이 계층적 구조를 이루었음을 의미한다. Fig. 1은 전형적인 클러스터 구조의 이기종 무선 센서 네트워크 보여준다. 이런 네트워크는 주변을 관찰하는 다수의 센서 노드(sensor node)와 그러한 센서 노드를 관찰하는 소수의 클러스터 헤드(cluster head)로 구성된다. 클러스터 헤드는 클러스터 그룹 안에 있는 센서 노드들로부터 계측된 데이터를 총괄하여 수집한다. 각각

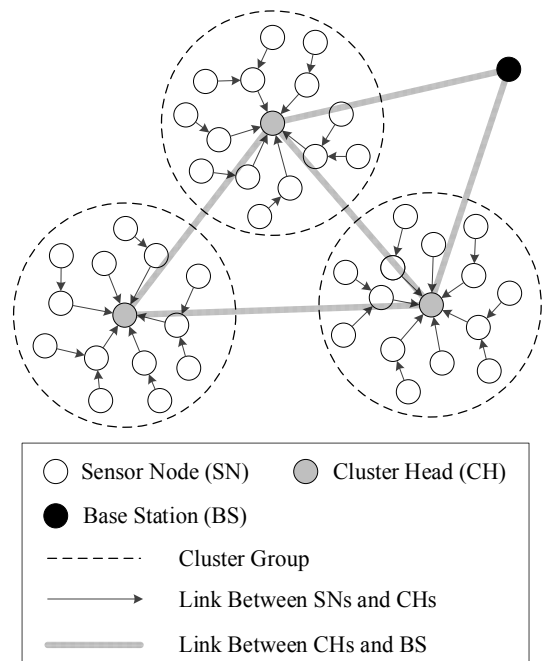


Fig. 1. Clustered Heterogeneous Wireless Sensor Network

의 클러스터 헤드는 주변의 다른 클러스터 헤드들과 링크를 이루어 네트워크를 구성하고 최종적으로 데이터는 베이스 스테이션(base station)으로 전송된다.

무선 센서 네트워크의 경우 배터리나 메모리의 양이 한정적인 경우가 많기 때문에 자원을 효율적으로 관리해야 한다. 예를 들어 특정 클러스터 그룹 내에서 이벤트가 빈번하게 발생하여 샘플링하는 데이터가 많아지게 된 경우 클러스터 헤드에 저장되는 데이터도 기하급수적으로 늘어나게 된다. 특히 다른 클러스터 헤드로 전송하는 데이터의 양보다 센서 노드들로부터 수신하는 데이터의 양이 많을 경우나 링크가 끊어져 데이터 전송이 불가능할 경우 메모리 총 용량을 초과하는 데이터 혼잡 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 모바일 싱크(mobile sink)인 드론이 하나의 해결책이 된다. Fig. 2는 드론을 이용하여 데이터 혼잡을 해결해주는 방식을 보여준다. 하위 노드에서 채취된 데이터를 상위 노드로 전송하기 위해서는 상위 노드에서 충분한 메모리 공간이 확보되어야 한다. 그렇지 않은 경우 데이터 혼잡이 발생하여 데이터 손실이나 지연이 발생하게 된다. 이때 드론이 데이터 혼잡이 발생하는 노드의 주변으로 이동하여 일부의 데이터를 전송받는다면 상위 노드에서의 데이터 혼잡은 발생하지 않는다. 본 논문에서는 특정 클러스터 헤드

에 데이터가 집중되어 네트워크의 데이터 혼잡이 발생하는 경우 드론을 이용하여 데이터를 분산시켜 혼잡을 방지 또는 감소시키는 방법에 대하여 알아본다. 또한 기존의 TCCA 알고리즘[10]과의 비교를 통하여 메모리 오버플로우 발생이 감소함을 알아본다.

3. 네트워크 환경 모델링

3.1 네트워크 모델

이기종 무선 센서 네트워크는 N 개의 클러스터 헤드가 관찰하고자 하는 특정 구역 내에 임의로 분산되어 배치해 있다. 각각의 클러스터 헤드 CH^i 는 주변에서 발생하는 이벤트의 정보를 저장하는 M_i 개 센서 노드와 한 번의 홉(hop)으로 링크되어 있고 이를 통해 센서 노드들의 데이터를 수집한다. 클러스터 헤드의 전체 집합 CH , 센서 노드의 전체 집합 SN , 각 클러스터 헤드 CH^i 내의 센서 노드 집합 SN^i 는 다음과 같이 표현한다.

$$CH = \{CH^1, CH^2, \dots, CH^N\} \quad (1)$$

$$SN = \{SN^1, SN^2, \dots, SN^N\} \quad (2)$$

$$SN^i = \{sn^{i,1}, sn^{i,2}, \dots, sn^{i,M_i}\} \quad (3)$$

클러스터 그룹은 고정적이어서 하나의 클러스터 헤드 CH^i 와 M_i 개 센서 노드 집합 SN^i 의 연결성은 변화하지 않는다. 또한 센서 노드 $sn^{i,j}$ 에서 CH^i 으로의 업링크 통신만 이루어진다.

3.2 센서 노드, 클러스터 헤드 모델

각각의 센서 노드는 주변에서 발생하는 이벤트를 감지하여 저장하고 일정 시간 T 마다 클러스터 헤드로 전송한다. 센서 노드 $sn^{i,j}$ 가 메모리에 저장한 데이터 용량 $c^{i,j}$ 를 전송 레이트 $r_s^{i,j}$ 로 CH^i 에게 전달한다. 이에 따라 SN^i 로부터 CH^i 에 저장되는 전체 데이터양 c^i 와 센서 노드 $sn^{i,j}$ 의 전송 시간 $t_s^{i,j}$ 는 다음과 같다.

$$c^i = \sum_{j=1}^{M_i} c^{i,j} \quad (4)$$

$$t_s^{i,j} = c^{i,j} / r_s^{i,j} \quad (5)$$

CH^i 에서 메모리 변화는 관찰하는 센서 노드 SN^i 로부터 수신되는 데이터와 이웃한 클러스터 헤드나 베이스 스테이션으로의 송수신하는 데이터와 관련이 있다. 클

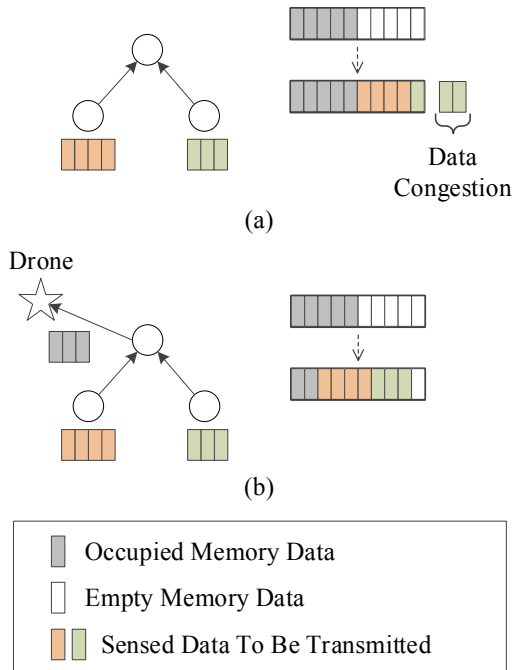


Fig. 2. (a) Data congestion due to memory space
(b) Controlling data congestion using a drone

러스터 헤드의 전송 레이트가 r_c^i , 이웃한 클러스터 헤드로부터 수신하는 데이터가 g^i 일 때, 메모리 변화 w^i 와 전송 시간 t_c^i 는 다음과 같다.

$$w^i = (c^i + g^i - r_c^i t_c^i) / T \quad (6)$$

$$t_c^i = \min(\lambda, c^i) / r_c^i \quad (7)$$

여기서 λ 는 클러스터 헤드에서 일정 주기에 보낼 수 있는 최대 데이터양이다.

4. 데이터 혼잡 제어

본 장에서는 드론을 이용하여 이기종 무선 센서 네트워크에서의 데이터 혼잡을 제어하는 방법에 대해서 알아 본다. 무선 센서 네트워크에서의 이상적인 데이터의 흐름은 센서 노드에서 계측한 데이터가 클러스터 헤드들 사이에서 별도의 지연 없이 베이스 스테이션으로 전송되는 상황이다. 하지만 데이터의 이동 중에 특정 클러스터 헤드에서 데이터 혼잡이 발생할 경우 데이터의 지연 또는 손실은 불가피하며 이는 무선 센서 네트워크의 성능을 저하시키는 하나의 원인이 된다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위해 모바일 싱크로서 드론을 이용하여 데이터 혼잡을 완화해준다. 드론은 무선 센서 네트워크의 수명 내에 충분히 가용할 수 있는 용량의 메모리와 배터리를 구축하고 있다고 가정한다.

데이터 혼잡은 각 클러스터 헤드에서의 메모리와 연관이 있다. CH^i 에 대해서 초기 메모리양이 W_0 , 초기 시간이 T_0 일 때, 시간 T_n 에서의 남아있는 메모리양 W_n^i 는 다음과 같이 계산된다.

$$W_n^i = W_0 - \int_{T_0}^{T_n} w^i dt \quad (8)$$

데이터 혼잡은 T_{n-1} 에서의 남아있는 메모리양 W_{n-1}^i 과 T_n 에서의 메모리 변화 w^i 와 관련이 있다. 이를 바탕으로 CH^i 에 대한 T_n 에서의 데이터 혼잡 정도를 예상할 수 있는 비용 함수(cost function) $V(i, n)$ 과 혼잡 인디케이터(congestion indicator) Z_n^i 는 다음과 같이 정의한다.

$$V(i, n) = \frac{W_{n-1}^i - (T_n - T_{n-1})w^i}{W_0} \quad (9)$$

$$Z_n^i = \begin{cases} 0 & \text{if } V(i, n) \geq 1 \\ -V(i, n) + 1 & \text{if } 0 < V(i, n) < 1 \\ 1 & \text{if } V(i, n) \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

Z_n^i 는 0과 1 사이의 값을 갖는 함수로 0에 가까울수록 데이터 혼잡이 발생할 가능성이 작고, 1에 가까울수록 데이터 혼잡이 발생한 가능성이 크다는 의미이다. 따라서 Z_n^i 이 큰 CH^i 일수록 남아있는 메모리양이 적어 데이터 혼잡이 더 커지기 때문에, 이러한 CH^i 근처에 모바일 싱크로서 드론을 배치하여 데이터의 일부를 수신한다면 CH^i 에 대한 데이터 혼잡을 줄여주게 된다. 그러면 드론의 위치를 어디에 설정해야 할지에 대한 방법이 필요하다. 드론의 통신 범위가 L 이고 배치되는 위치가 데카르트 좌표(Cartesian coordinate)로 (x, y) 일 때 데이터 혼잡 지도 인덱스 $U(x, y)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$U(x, y) = \int_1^N \int_{y-L}^{y+L} \int_{x-L}^{x+L} \frac{1-D(x, y, i)}{L} Z_n^i \varepsilon(x, y, i) dx dy di \quad (11)$$

여기서 CH^i 가 (x_i, y_i) 에 위치해 있을 때 CH^i 와 (x, y) 의 거리 $D(x, y, i)$, 제어 함수 $\varepsilon(x, y, i)$ 는 다음과 같다.

$$D(x, y, i) = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \quad (12)$$

$$\varepsilon(x, y, i) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(x, y, i) > L \\ 1 & \text{if } D(x, y, i) \leq L \end{cases} \quad (13)$$

$U(x, y)$ 는 (x, y) 에 대한 L 범위 안에 CH^i 의 개수가 많고 가까울수록, Z_n^i 의 값이 클수록 더 큰 값을 가지게 된다. 결론적으로 $U(x, y)$ 을 이용하여 우리가 측정하고자 하는 무선 센서 네트워크 공간에 대한 데이터 혼잡 지도를 작성한다. 이를 기반으로 가장 큰 값을 갖는 지점에 드론을 위치하게 함으로써 네트워크의 데이터 혼잡을 완화해주게 된다. 데이터 혼잡을 제어해주는 α 는 드론에서의 데이터 수신 크기와 관련된 변수로 $(1-\alpha)Z_n^i$ 가 되게 설정해준다. 즉 α 값을 작게 하여 드론에서의 데이터 수신량이 작으면 데이터 혼잡은 적게 완화되고, 크게 하여 데이터 수신량이 크면 데이터 혼잡은 크게 완화된다.

5. 시뮬레이션 및 분석

50개의 CH^i 가 1000 m × 1000 m 공간에서 임의로

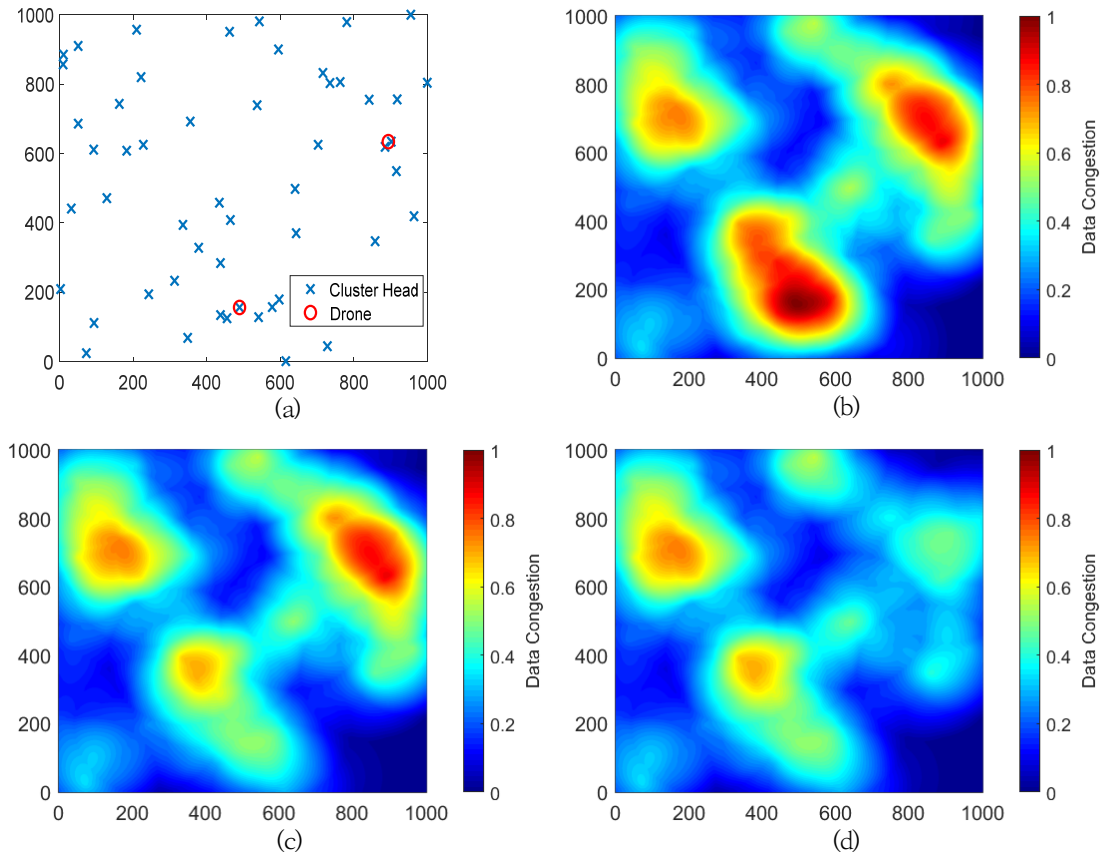


Fig. 3. (a) Cluster heads and drones position on 1000 m × 1000 m area
 (b, c, d) Data congestion map (Initial, After 1st drone, After 2nd drone)

배치되어 있고 각각의 CH^i 는 SN^i 으로부터 하나의 홉으로 데이터를 수신 받는다. SN^i 는 최대 5개의 $sn^{i,j}$ 노드로 구성되고 일정 주기마다 최대 50 MB($c^{i,j}$)의 이벤트를 계속하여 저장한다. $r_s^{i,j}$ 와 r_c^i 는 각각 1 Mbps, 10 Mbps, W_0 는 1 GB, λ 는 100 MB로 설정한다. 모든 경우에 대해서 보다 정확한 측정값을 얻기 위해서 각각 세 번씩의 시나리오를 실행하여 평균값을 계산한다. 또한 본 알고리즘에 대한 시뮬레이션 수행 시 드론은 충분한 메모리 및 배터리 용량을 확보하고 있다고 가정한다.

Fig. 3은 특정 시나리오에 대한 클러스터 헤드 및 드론의 분포((a)와 이를 바탕으로 정규화되어 작성된 데이터 혼잡 지도((b), (c), (d))의 한 예를 보여준다. (b)는 최초 시나리오 발생 후 생성된 이벤트 데이터를 계속하여 작성된 지도로 빨간 부분의 데이터 혼잡도가 높은 곳이 비교적 많이 보인다. 여기서 가장 높은 혼잡도를 보이는

위치는 (489, 156)로 이곳에 첫 번째 드론을 배치하여 주변의 클러스터 헤드로부터 일부의 데이터를 수신 받는다. 이렇게 하여 데이터 혼잡도를 줄인 후의 지도가 (c)에 나타나 있다. 마찬가지로 최고 혼잡도 위치인 (894, 634)에 두 번째 드론을 배치하여 혼잡도를 줄인 후의 지도가 (d)에 나타나 있다. (b), (c), (d)의 평균 혼잡도를 계산해보면 각각 0.37, 0.26, 0.20으로 첫 번째 드론이 추가 후 30%가 감소하고 두 번째 드론이 추가 후 23%가 감소한다. Fig. 4는 배치되는 드론 수(최대 30개)에 따른 데이터 혼잡도를 보여준다. 이때 다양한 α 값(0.1 ~ 0.9)을 기준으로 변화하는 정도도 나타낸다. 하나의 α 를 기준으로 본다면 드론 수가 증가할수록 드론 주변 클러스터 헤드의 데이터를 분산시켜 메모리 공간을 확보시켜주기 때문에 네트워크의 혼잡도는 꾸준히 감소한다. 하지만 α 값에 따라서 변화하는 정도는 큰 차이를 보인다. α 가 0.1일

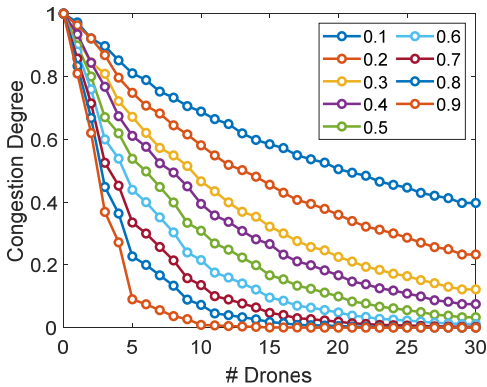


Fig. 4. Congestion degree versus the number of drones with alpha 0.1 ~ 0.9

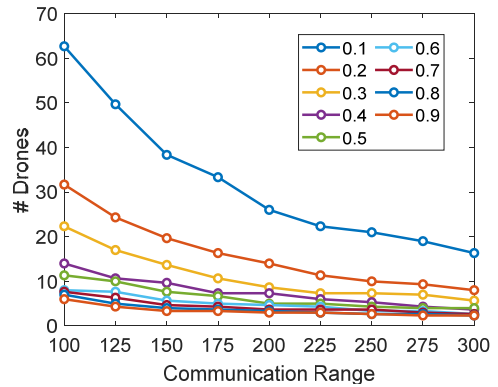


Fig. 5. The number of drones required to be below 0.5 congestion degree versus communication range 100 m ~ 300 m with alpha

Table 1. Average difference, % difference with alpha

Alpha	Difference	% Difference
0.1	0.0201	3.0225
0.2	0.0256	4.7248
0.3	0.0293	6.7504
0.4	0.0308	8.2320
0.5	0.0322	10.6326
0.6	0.0330	13.7552
0.7	0.0332	17.5994
0.8	0.0333	22.562
0.9	0.0333	31.9021

때는 드론 수가 증가함에 따라 선형적으로 감소하여 30 개가 되었을 때는 혼잡도가 0.40까지 감소한다. 마찬가지로 α 가 0.2일 때는 0.23, α 가 0.3일 때는 0.12까지 감소하고, 0.4에서 0.9까지는 모두 0.07 이하가 된다. Fig. 4에서 드론 수가 증가함에 따라 혼잡도 변화량과 퍼센트 변화량이 Table 1에 나타난다. α 가 0.1에서는 약 3 %의 작은 변화를 보이지만 α 가 증가함에 따라 함께 증가하여 α 가 각각 0.5, 0.8에서 10 %, 20 %를 넘기고 0.9에서 약 32 %가 된다. 특히 드론 수가 적을 때에는 α 에 따른 변화량 차이가 크기 때문에 높은 α 로 설정하는 것이 데이터 혼잡 완화에 더 큰 효과를 보인다. Fig. 5는 데이터 혼잡도가 0.5 미만이 되기 위한 드론의 통신 거리(100 m ~ 300 m)에 따른 필요 드론 수를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 α 에 따라서 변화하는 정도가 다르다. α 가 0.1일 때, 통신거리가 100 m에서는 62개의 드론이 필요하지만 통신거리가 점점 증가함에 따라 큰 폭으로 감소하여 300 m에서는 16개의 드론으로 혼잡도를 0.5 미만으로 만든다. 하지만 α 가 0.9일 때는

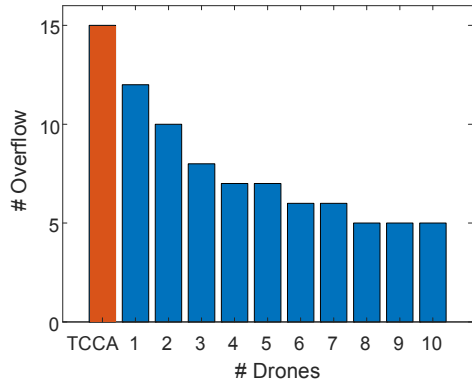


Fig. 6. The number of overflows versus the number of drones and TCCA

100 m에서 6개의 드론만 필요하고 300 m에서는 2개만 필요하여 거리에 따른 차이가 크지 않다. 이는 제안하는 알고리즘을 이용하여 혼잡도가 큰 위치에 드론이 위치하게 되면 α 가 큰 경우 주변의 혼잡도를 급격하게 감소시켜주기 때문이다. 따라서 드론의 개수가 제한적이라면 α 를 크게 하는 것이 효율적이다. 하지만 α 가 0.6 이상부터는 각각의 α 에 대한 통신거리의 증가에 따른 드론 수의 차이가 크지 않다. 통신거리가 100 m에서는 3개에서 6개의 드론만 필요하지만 300 m에서는 2개에서 3개의 드론이 필요하다. 따라서 주어진 시나리오에 대해서 α 를 적절히 조절함으로써 데이터 혼잡을 완화시키는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6는 제안하는 알고리즘과 TCCA의 클러스터 헤드의 오버플로우 개수를 보여준다. TCCA의 경우 버퍼 사용량과 버퍼 변화율을 고려하여 전송 속도를 조절하지만 특정 지역에 이벤트가 집중적으로 나타나

는 경우 버퍼 크기의 제한으로 인해 15개의 오버플로우가 발생한다. 이는 전송 속도를 조절하여 하위 클러스터 헤드에서 상위 클러스터 헤드로 전송하는 데이터양을 감소시킬 수 있지만 하위 클러스터에서는 남아있는 버퍼의 크기가 감소함과 동시에 주변 센서 노드들이나 최하위 클러스터 헤드에서 전송하는 데이터양이 큰 경우가 발생하기 때문이다. 반대로 제안하는 알고리즘은 드론을 이용하여 데이터 혼잡을 적극적으로 제어해주기 때문에 TCCA 보다 오버플로우가 일어날 가능성이 낮다. 네트워크에 드론이 1대만 추가되어도 오버플로우가 발생하는 개수가 12개가 되어 TCCA에 비해 20 %가 향상된다. 이와 동일한 관점에서 드론의 개수가 추가될수록 데이터 혼잡 제어의 영향은 더 커져 오버플로우가 발생하는 개수가 점점 감소하다가 드론이 10대일 때 5개가 된다. 따라서 기존의 연구보다 드론을 이용한 혼잡 제어로 오버플로우가 발생할 가능성이 감소하여 네트워크의 성능이 향상된다.

6. 결론

본 논문에서는 클러스터된 이기종 무선 센서 네트워크에서 발생하는 데이터 혼잡을 완화 또는 방지하기 위해 드론을 모바일 싱크로 사용하였다. 먼저 네트워크, 센서 노드, 클러스터 헤드에 대한 모델링을 하였고, 이를 바탕으로 데이터 혼잡도를 계산하기 위한 비용 함수와 혼잡 인디케이터를 정의하였다. 이를 이용하여 드론을 적절한 위치에 배치하기 위한 데이터 혼잡 지도 인덱스를 계산하였고 데이터 혼잡 지도를 작성하였다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 α 값의 변화에 따른 데이터 혼잡이 완화되는 양상을 확인해보았다. 또한 기존 연구와의 오버플로우 측면에서 비교를 통해 최소 20 %의 향상을 보여 제안하는 알고리즘이 네트워크 개선에 도움을 준다는 것을 알아보았다. 하지만 본 연구에서는 이기종 무선 센서 네트워크에서 드론을 추가함으로써 발생하는 베이스 스테이션으로의 지연 시간을 고려하지 않았다. 또한 α 값의 변화에 따른 드론에서의 자원의 변화 또한 고려하지 않았다. α 값이 크면 네트워크의 클러스터 헤드로부터 많은 데이터를 수신 받지만, 실제로는 이와 동시에 메모리와 배터리 소모도 크다. 추후 연구에서는 이러한 제약사항들을 고려하여 연구할 예정이다.

References

- [1] H. Yetgin, K. T. K. Cheung, M. El-Hajjar, L. H. Hanzo, "A Survey of Network Lifetime Maximization Techniques in Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.19, No.2, pp.828-854, Secondquarter 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2650979>
- [2] H. I. Kobo, A. M. Abu-Mahfouz, G. P. Hancke, "A Survey on Software-Defined Wireless Sensor Networks: Challenges and Design Requirements", *IEEE Access*, Vol.5, pp.1872-1899, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2666200>
- [3] C. Zhan, Y. Zeng, R. Zhang, "Energy-Efficient Data Collection in UAV Enabled Wireless Sensor Network", *IEEE Wireless Communications Letters*, Vol.7, No.3, pp.328-331, Jun. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2776922>
- [4] M. Raza, N. Aslam, H. Le-Minh, S. Hussain, Y. Cao, N. M. Khan, "A Critical Analysis of Research Potential, Challenges, and Future Directives in Industrial Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.20, No.1, pp.39-95, Firstquarter 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2759725>
- [5] B. Cao, J. Zhao, P. Yang, P. Yang, X. Liu, Y. Zhang, "3-D Deployment Optimization for Heterogeneous Wireless Directional Sensor Networks on Smart City", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol.15, No.3, pp.1798-1808, Mar. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2884951>
- [6] D. Sharma, A. P. Bhondekar, "Traffic and Energy Aware Routing for Heterogeneous Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Letters*, Vol.22, No.8, pp.1608-1611, Aug. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2018.2841911>
- [7] Y. Zhuang, L. Yu, H. Shen, W. Kolodzey, N. Iri, G. Caulfield, S. He, "Data Collection with Accuracy-Aware Congestion Control in Sensor Networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.18, No.5, pp.1068-1082, May 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMC.2018.2853159>
- [8] A. Nicolaou, N. Temene, C. Sergiou, C. Georgiou, V. Vassiliou, "Utilizing Mobile Nodes for Congestion Control in Wireless Sensor Networks", *2019 IEEE 30th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, IEEE, Istanbul, Turkey, pp.1-7, Sep. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2019.8904192>
- [9] W. Wei, Z. Sun, H. Song, H. Wang, X. Fan, X. Chen, "Energy Balance-Based Steerable Arguments Coverage Method in WSNs", *IEEE Access*, Vol.6, pp.33766-33773, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2682845>
- [10] N. Abbas, F. Yu, "A Traffic Congestion Control

Algorithm for Wireless Multimedia Sensor Networks",
2018 IEEE SENSORS, IEEE, New Delhi, India, pp.1-4,
Oct. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2018.8589923>

김 태 림(Tae-Rim Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
- 2011년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

임베디드 시스템, 시스템 엔지니어링

김 범 수(Bum-Su Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : LIG 넥스원 수석연구원

<관심분야>

임베디드 시스템, 시스템 엔지니어링

송 종 규(Jong-Gyu Song)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

디지털 회로 설계, VHDL, 임베디드 SW

임 현 재(Hyun-Jae Im)

[정회원]



- 2013년 8월 : 인하대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

<관심분야>

실시간 시스템, 임베디드 SW, 운영체제