

# 딜레이 효율과 데이터 병합을 위한 트리 구축 알고리즘

이현, 염상길, 김동수, 추현승  
성균관대학교 정보통신대학

e-mail : {dusidu, sanggil12, dskim61, choo}@skku.edu

## Tree Construction Algorithm for Delay-Efficient Data Aggregation in WSNs

Hyun Lee, Sanggil Yeoum, Dongsoo Kim and Hyunseung Choo  
College of Information and Communication Engineering

### 요약

데이터 병합은 무선센서네트워크에서의 근본적인 문제로 최근 몇 년간 큰 주목을 받고 있다. 본 논문은 무선센서네트워크의 분산 환경에서 네트워크의 에너지 효율 및 데이터 병합에 대해 다룬다. 기존 딜레이 효율 네트워크 구조는 센서의 전송범위가 제한 없이 네트워크를 구성했지만, 제안 알고리즘은 제한된 전송범위를 고려하여 네트워크를 구성한다. 센서들의 에너지 소비는 보다 거리가 먼 노드간의 통신으로 과소비 되는 경우가 많지만, 제안 알고리즘을 사용하여 상대적으로 거리가 먼 노드간 통신을 막아 에너지 소비를 줄일 수 있다. 데이터 병합 시 주요 방해요소인 primary interference를 고려하며 트리를 구축한다. 제안 기법에 의해 구축된 네트워크는 데이터 병합 딜레이를 최소화되고, 에너지 효율이 향상될 것이다.

### 1. 서론

예전부터 무선센서네트워크에서는 에너지 절약 및 데이터 병합 딜레이 문제를 해결하기 위한 많은 알고리즘 및 기법들이 제안되고 있다. 그 중에서도 분산 환경에서 제어가 용이하고, 에너지 소모가 가장 큰 원거리 센서노드간 데이터 송수신 시 에너지를 절약할 수 있는 클러스터링과 데이터 병합 관련 알고리즘들이 연구되었다[1]. 하지만 지금까지 제안된 클러스터링 관련 기법들은 그 특성 상 데이터 병합 후 BS(Base Station)와 통신하는 헤드노드의 극심한 에너지 소비 및 불균형한 노드간 링크로 각 노드간 에너지 소비의 균형이 맞지 않는 문제와 병합 딜레이에 대한 연구는 여전히 이슈가 되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 LEACH[2], PEDAP[3], DADC[4] 등 다양한 클러스터링 및 데이터 병합 알고리즘이 연구되었다. 이 알고리즘들이 다룬 연구 이슈는 데이터 병합 딜레이, 노드간 에너지 밸런스 그리고 에너지 소비량에 대한 개선방안이다. LEACH, PEDAP와 같은 기존 연구에서 에너지 소비는 보다 긴 거리 송수신이 이뤄지는 노드들을 줄임으로써 절약이 가능했다. 하지만 네트워크의 수명이 길어질수록 데이터 병합 딜레이의 효율은 떨어지는 결과를 보였다. 이런 데이터 병합 딜레이에 대한 문제는 DADC에서 제안한 딜레이 효율 네트워크 구조를 사용함으로써 개선되었다. 하지만 DADC는 센서들이 무제한 전송범위를 가지는 가정으로 현실에서 적용하기 어려운 부분이 있다.

본 논문에서는 전송범위가 제한되는 환경을 고려했고, 그로 인해 정해진 임계치보다 먼 거리의 노드간 통신을 막을 수 있다. 그 결과 노드간 에너지 소비의 밸런스는 균등해질 것이고, 네트워크의 에너지 소비는 감소하여 수명이 향상될 것이다.

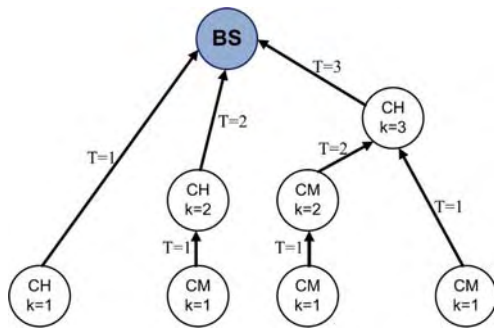
2장에서는 관련연구에 대해 소개하고, 3장에서는 제안 기법에 대해 소개한다. 결론을 4장에서 맺는다.

### 2. 관련 연구

데이터 수집 문제는 최근 몇 년간 연구되어 왔으며 병합하지 않는 것과 부분적 병합, 완전한 병합 세 가지로 나뉘어 구분되었다. 그 중 완전 병합 프로토콜은 대부분 중앙 집중형 접근법을 사용하며 잘 알려진 알고리즘으로는 PEDAP이 있다. PEDAP은 무선센서네트워크에서 사용되는 에너지 효율 접근법으로 싱글체인 클러스터 방식인 MST(Minimum Spaning Tree)를 사용하여 노드간 통신 거리를 최소화 한다. 그로인해 노드의 에너지소비는 최소화되며 네트워크 수명이 길다.

LEACH는 분산 환경에서 사용되는 전형적인 클러스터링 알고리즘이다. 클러스터링 네트워크는 여러 개의 클러스터들로 나뉘며 각각의 클러스터는 하나의 CH(Cluster Head)를 갖고, 나머지 노드들은 CM(Cluster Member)가 된다. 데이터 수집은 데이터 전송횟수를 줄이기 위해 CH에서 수행된다. LEACH에서 각 센서의 역할은 랜덤하게 결정된다. 한 노드가 CH가 되면 주변 노드들은 CM가 된다. CH는 CM들의 데이터를 수신하고, 병합한다. BS와의 통신은 오직 CH만 가능하다. LEACH는 랜덤으로 노드들을 선정하기 때문에 최적화 될 수 없다. 이 두 알고리즘은 오직 에너지 효율만 고려하여 데이터 병합 면에서는 효율적이지 못했다. DADC는 데이터 병합 딜레이에 초점을 둔 트리구조를 제안했다.

그림 1은 DADC에서 사용되는 Binomial Tree[5]를 나타낸다. Binomial Tree트리를 간단히 설명하면 먼저 노드의 수(N)는  $2^n$ 개로 한정한다. 각 노드는 0부터 k의 랭크를 가진다. 랭크에 의해 각 노드의 자식노드 수를 알 수 있으며, 트리 구성 단계에서 클러스터간 융합 시 클러스터의 규모를 알기 위해 사용된다. 랭크가 k인 한 노드는 0부터 k-1개의 자식노드를 갖게 된다. DADC는 이 트리를 이용하여 데이터 충돌을 일부 회피하고, 데이터 병합 딜레이를 최적화한다.



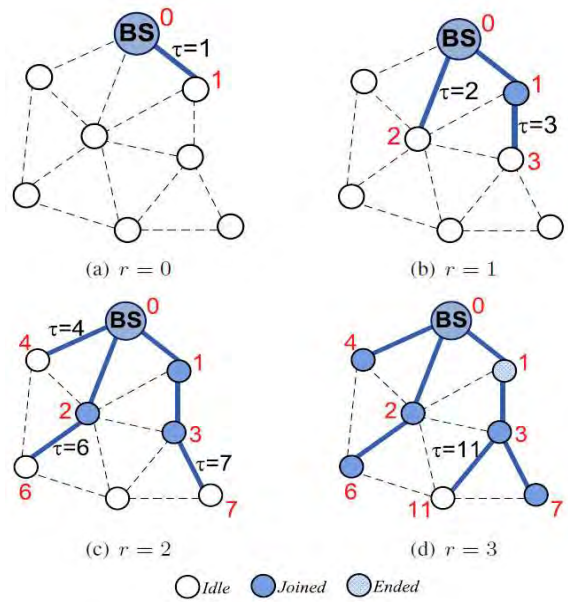
(그림 1) DADC 네트워크 구조의 예시

### 3. 제안 기법

이 장은 무선센서네트워크에서 데이터 병합 문제를 해결하기 위한 DEDA(Distributed Delay-efficient Data Aggregation) 기법을 제안한다. 제안 알고리즘의 네트워크 모델은 DADC의 모델과 동일하게 사용한다. 본 장에서는 트리 구축 방법을 다룬다. 구축 단계에서 데이터 병합 트리는 전 장에서 설명한 Delay-efficient network 구조와 같이 구축된다. 각각의 노드는 데이터 병합과 부모에게 데이터를 전송하기 위한 타임슬롯이 할당된다. 데이터 송수신은 한 타임슬롯에 완료되며, 한 노드는 한 타임슬롯에 하나의 패킷만 받을 수 있다.

트리구축 단계에서 제안 기법의 목표는 DADC에서 제안한 Delay-efficient network 구조와 같은 트리를 구축하는 것이다. 제안 트리구조는 두 노드가 동시에 한 노드에게 데이터를 전송하는 Primary interference 만 고려한다. 또한 분산 상향식 접근법을 사용하여 데이터 병합 트리를 구축한다. 즉 루트로 선택된 BS로부터 라운드에 따라 아래로 확장한다. 알고리즘을 실행하기 위해서 각각의 노드  $u$ 는 다음 변수들을 다음 값들을 가져야만 한다.  $seq(u)$ 는  $u$ 의 sequence 숫자로 한 노드가 데이터 병합 트리에 추가될 때 순서를 정하기 위해 사용되는 숫자다.  $r(u)$ 는  $u$ 의 현재 열로 센서 노드들의 동기화 시 사용된다.  $state(u)$ 는  $u$ 의 상태로 Idle, Joined, Ended가 될 수 있다.  $IdleN(u)$ 는 Idle 상태인 노드  $u$ 의 이웃 리스트다. 초기에 각 노드의  $r(u)$ 는 0이다. 데이터 병합 트리  $T$ 는 초기에  $T$ 의 루트인 BS만으로 구성된다. BS는  $T$ 의 첫 번째 노드이기 때문에  $seq$ 는 0이며 상태는 Joined이다. 반면에 나머지 노드들은  $T$ 에 포함되지 않으며 상태는 Idle,  $seq$ 는 -1로 세팅된다. 이 알고리즘에서 센서노드들은 서로 JOIN(sender, receiver,  $r$ ,  $seq$ )와 ACK (sender, receiver) 메시지를 전송하며 통신한다.

그림 2는 제안 알고리즘을 사용하여 데이터 병합 트리 구축 프로세스를 게시하고, Joined 상태가 된다. 라운드 값인  $r$ 은 항상 Joined 노드들 간에 동기화된다. 즉, 모든 Joined 노드는 동일한  $r$ 값을 가지고 있다. 각 노드의 색은 각 라운드를 시작할 때 해당 노드의 상태를 나타낸다.  $r$ 라운드에서 Joined 상태의 각 노드는 타임슬롯까지의 대기 순서를 나타내는  $\tau=2^r+seq$  값만큼 기다린 후에  $T$ 에서 자신의 Idle 상태인 이웃노드 중 하나를 추가한다. 그리고 그 트리의 크기는 최대 두 배가 된다. 이렇게 트리를 구축함으로써 primary interference를 회피하고, 에너지 효율 향상 및 데이터 병합 딜레이를 최소화 할 수 있다.



(그림 2) 제안 알고리즘 구축 예시

### 4. 결론

본 논문은 무선센서네트워크의 분산 환경에서 네트워크의 에너지 효율 및 데이터 병합 최소화를 고려하는 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 제한된 전송범위를 고려하여 네트워크를 구성함으로써 상대적으로 거리가 먼 노드간 통신의 수를 줄여 에너지 소비가 감소된다. 또한, 데이터 병합 시 주요 방해요소인 primary interference를 고려하며 트리를 구축하고, 제안 기법에 의해 구축된 네트워크는 기존 알고리즘과 비교하여 데이터 병합 딜레이가 최소화 되며 에너지 효율 향상의 성과를 볼 수 있다. 향후 연구로는 데이터 병합 트리의 스케줄링과 트리 내 노드의 삽입, 삭제 시 트리구조 유지를 위한 적응 방법에 대한 연구를 진행할 계획이다. 추가로 위 방법에 대한 시뮬레이션을 진행하여 성능을 검증할 것이다.

### ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 정보통신·방송 연구개발사업, 차세대정보컴퓨팅기술개발사업 및 교육부(한국연구재단)의 중점연구소지원사업의 일부지원으로 수행되었음(IITP-14-911-05-006, 2010-0020727, PRCP(NRF-2010-0020210)).

### 참고문헌

- [1] J. Wu and I. Stojmenovic, "Ad Hoc Networks," Computer, vol. 37, no. 2, pp. 29-31, Feb. 2004
- [2] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [3] H.O. Tan and I. Korpeoglu, "Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks," ACM SIGMOD Record, vol. 32, no. 4, pp. 66-71, Dec. 2003.
- [4] C. Cheng, C. K. Tse, and M. Lau, "A Delay-Aware Data Collection Network Structure for Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, 2011
- [5] Cormen, T.H., Leisewon, C.E. and Rivest R.L., "Introduction to Algorithms", McGraw Hill, New York, 1990.