

논문 2016-53-3-18

클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 에너지 효율성에 관한 연구

(A Study on Energy Efficiency for Cluster-based Routing Protocol)

이 원 석*, 안 태 원*, 송 창 영*

(Won-Seok Lee, Tae-Won Ahn, and ChangYoung Song[©])

요 약

클러스터 기반 라우팅 프로토콜로 대표적인 LEACH는 에너지 부하의 공평한 분배를 위해 매 라운드 미리 정해진 확률에 따라 랜덤하게 클러스터 헤드를 선출한다. 하지만 센서 노드가 갖는 현재 에너지 레벨은 고려대상이 아니기에 만일 잔존 에너지가 적은 센서 노드가 클러스터 헤드로 선출된다면 에너지 부하가 큰 헤드의 역할을 완수하지 못하고 사망할 수 있을 것이다. 결국 노드의 첫 사망시간이 매우 빨라져 WSN의 서비스 품질도 나빠질 것이다. 이러한 점에 착안하여 본 논문에서는 클러스터 헤드의 에너지 레벨과 기지국까지의 통신거리를 고려하여 클러스터 내부에 서브 클러스터 헤드를 선택하는 방법을 제안한다. 기존 LEACH에 제안하는 방법을 적용 시 클러스터 헤드의 에너지 부담이 줄어들어 노드의 첫 번째 사망시간이 증가하였고 더욱 증가된 데이터가 기지국에 도착하였으며 이로 인한 WSN의 서비스 품질도 개선되었음을 확인할 수 있었다.

Abstract

To establish the equitable distribution of total energy load, a representative cluster based routing protocol LEACH selects cluster heads randomly in accordance with the pre-determined probability every round. But because the current energy level of sensor nodes is not considered, if a sensor node which has little residual energy is elected as a cluster head, it can not live to fulfil the role of cluster head which has big energy load. As a result, the first time of death of a node is quickened and the service quality of WSN gets worse. In this regard we propose a new routing method that, by considering the current energy of a cluster head and the distance between cluster heads and a base station, selects the sub cluster head for saving the energy of a cluster head. Simulation results show that the first time of death of a node prolongs, more data arrive at the base station and the service quality of WSN improves.

Keywords : Routing, Clustering, WSN, LEACH, Energy Efficiency

I. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN)는 공간적으로 분포된 많은 수의 마이크로 센서들로 구성되며 온도, 습도, 기압의 측정, 서식지 감시, 재난 감지 등 다양한 분야의 모

니터링에 적용되고 있다. 이러한 마이크로 센서는 라디오 트랜시버, 마이크로 컨트롤러 그리고 배터리를 장착하고 있다. WSN은 일반적으로 작은 크기와 저렴한 비용으로 생산되는 센서를 사용하지만 대신 적용 지역에 많은 수를 운용함으로써 신뢰할만한 품질의 데이터를 얻는다^[1]. WSN에 사용되는 센서는 배터리로 동작하며 운용 특성상 한 번 배치되면 교환이나 충전이 불가능하기에 에너지를 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 증가시키는 것이 중요한 문제이다.

보통 센서 노드들은 대상 필드에 많은 수가 뿌려져 주변 환경을 감지하기에 센서들 스스로 조직화되어 정보를 얻어야 한다. 즉 센서 노드들에 의해 수집된 정보

* 정회원, 동양미래대학교 전기전자통신공학부
(School of Electrical Engineering, DongYang Mirae University)

[©] Corresponding Author(E-mail: scyiii@naver.com)

※ 본 연구는 2015년도 동양미래대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 알려드립니다.

Received ; January 29, 2016 Revised ; February 22, 2016

Accepted ; March 3, 2016

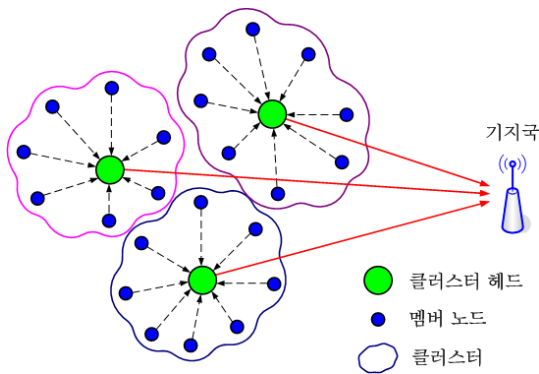


그림 1. WSN의 클러스터링 구조

Fig. 1. Clustering structure of WSN.

들은 기지국으로 직접 보내지든지 혹은 다른 센서 노드를 경유하여 보내지게 된다^[2].

WSN의 라우팅 프로토콜은 WSN을 다른 무선 네트워크와 구분하는 중요한 특징으로 적용되는 네트워크 구조에 따라 평면 라우팅, 계층 라우팅 그리고 위치 기반 라우팅으로 분류된다.

평면 네트워크 라우팅은 모든 노드가 감지와 라우팅 임무에 대해 동일한 기능을 수행한다. 계층 네트워크 라우팅은 네트워크를 클러스터로 나누어 에너지 효율성과 확장성으로 특징지어진다. 위치 기반 네트워크 라우팅은 GPS가 장착된 노드들의 위치 정보를 이용하여 라우팅 경로를 계산한다^[3].

라우팅 방법에 따라 각기 장단점이 있지만 최근 많은 연구는 계층적 네트워크 라우팅 즉 클러스터링 기법을 이용한 WSN의 에너지 소비와 오버헤드 감소에 집중되고 있다^[2]. 클러스터링은 필드에 뿌려진 노드들을 몇 개의 클러스터로 나누고 각 클러스터는 클러스터 헤드와 멤버 노드로 계층을 두는 방식이다. 멤버 노드들은 주변을 감지하여 정보를 수집하고 수집한 정보를 클러스터 헤드에게 전송한다. 클러스터 헤드는 멤버 노드가 보낸 정보를 통합하고 압축하여 원거리에 위치한 기지국으로 보내는 임무를 갖는다. 클러스터링 기법으로 대표적인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜은 에너지 소비가 많은 클러스터 헤드의 역할을 멤버 노드들이 정해진 확률에 따라 번갈아 수행함으로써 에너지 소비를 모든 노드에게 골고루 분산시키는 방식이다^[4].

본 논문에서는 기존 LEACH 모델에서 많은 에너지 소비가 발생하는 클러스터 헤드와 기지국과의 거리 그리고 클러스터 헤드의 남은 에너지에 주목하여 클러스터 헤드의 에너지 소비를 최소화시키는데 집중하였고

이로 인해 전체 네트워크의 수명증가 및 이에 따른 서비스품질의 개선을 이루고자 하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 본 연구와 관련된 연구에 대해 기술하고 III장에서는 제안하는 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 소개한다. IV장에서 시뮬레이션 및 성능분석을 하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 클러스터링 기법

클러스터링은 그림 1과 같이 네트워크 내에 있는 센서 노드들을 계층적 구조로 구성하는 방법이다. 이로 인해 센서 노드들은 라디오 리소스나 배터리 파워 같은 부족한 네트워크 자원을 더욱 효율적으로 사용할 수 있으며 클러스터 헤드에서 수행되는 데이터 융합과 압축은 기지국으로 보내는 데이터를 더욱 감소시킨다.

클러스터 형성은 센서 노드의 남은 에너지와 클러스터 헤드와의 거리에 기초하여 이루어진다. 멤버 노드들은 자신의 클러스터 헤드를 선택하고 감지한 데이터를 클러스터 헤드로 전송한다. 클러스터 헤드는 도착한 데이터를 융합한 뒤 압축하여 기지국으로 보내는 임무를 갖는다^[2,4].

2. LEACH 프로토콜

LEACH는 WSN의 에너지 효율성을 위해 처음으로 제안된 계층적 클러스터링 알고리즘으로 LEACH의 큰 목적은 다음 두 가지이다. 첫째로 데이터 융합 기법을 적용함으로써 통신 메시지의 발생 횟수를 줄여 클러스터 헤드의 에너지 소비를 줄이고자 하였다. 둘째로 네트워크 내의 모든 노드가 에너지 소비를 공평하게 분담하여 WSN의 생존시간을 향상시키려 하였다. 이러한 목표를 위해 센서 노드들이 보낸 신호의 세기를 바탕으로 클러스터를 형성하고 기지국으로 데이터를 라우팅하기 위해 클러스터 헤드를 사용한다. LEACH에서 클러스터는 분배 알고리즘을 사용하여 만들어지며 노드들은 스스로 선택권을 갖게 하였다^[5].

초기에 모든 노드는 미리 정해진 확률을 갖고 클러스터 헤드가 될지를 결정하고 헤드로 선택되면 그 결정을 브로드캐스트한다. 헤드 선택 후 선출된 모든 클러스터 헤드는 다른 모든 노드들에게 자신의 선출을 알리는 광고 메시지를 브로드캐스트한다. 클러스터 헤드가 되지 않은 다른 모든 노드들은 자신이 어떤 클러스터에 속할지 결정하는데 모든 클러스터 헤드가 보낸 브로드캐스

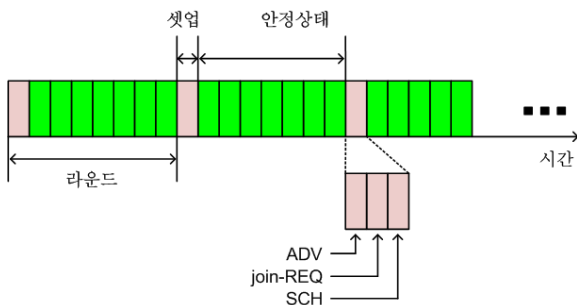


그림 2. 시간에 따른 LEACH의 라운드 구조
Fig. 2. Round Structure of LEACH over time.

트 메시지의 신호 세기를 기반으로 최소한의 통신 에너지만 사용하여 클러스터 헤드로 데이터를 보낼 수 있는 클러스터 헤드를 선택하게 된다.

클러스터 헤드가 갖게 되는 큰 에너지 소비는 클러스터 내 모든 노드가 주기적으로 번갈아 수행함으로 모든 노드가 공평하게 부하를 분담하는 것이다. 각 노드가 0 과 1 사이의 무작위 숫자를 선택하고 만약 선택한 수가 식 1에 제시되는 임계값 보다 작으면 해당 라운드에서 클러스터 헤드가 되는 것이다^[4].

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p(r \bmod \frac{1}{p})} & n \in G \\ 0 & n \notin G \end{cases} \quad (1)$$

p는 전체 노드 중 클러스터 헤드가 될 확률로 미리 정해진 값이며, r은 현재 라운드 수 그리고 G는 지난 1/p 라운드 동안 클러스터 헤드인 적이 없는 노드의 집합이다. 매 라운드 마다 클러스터는 동적으로 형성되며 라운드를 실행하는 시간 역시 무작위로 선택된다.

가. LEACH 프로토콜의 동작

그림 2에 제시된 것처럼 LEACH의 라운드는 두 단계로 이루어진다. 필드에 센서들이 뿌려지면 셋업 단계가 시작된다. 모든 노드가 무작위 숫자를 선택하고 임계값 T(n)과 비교하여 자신이 클러스터 헤드가 될지 아닐지를 결정한다. 클러스터 헤드로 결정된 노드들은 자신의 선출을 ADV 메시지를 이용하여 브로드캐스트하고 헤드가 아닌 노드들은 join-REQ 메시지를 사용하여 가장 가까운 위치에 있는 클러스터 헤드를 선택한다. 마지막으로 클러스터 헤드가 도착한 join-REQ 메시지를 참조하여 스케줄, SCH를 만들고 이를 자신의 클러스터에 전송하게 된다^[6].

이어지는 안정상태 단계에서 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 멤버 노드들이 전송한 데이터를 융합하여 기지국으로 단일홉 통신을 하게 된다.

나. LEACH 프로토콜의 단점

LEACH는 클러스터링 기법의 적용으로 에너지 효율성에서 큰 장점을 갖지만 멤버 노드에 비해 클러스터 헤드가 너무 큰 책임 특히 기지국과의 통신 같은 부분을 전담하기 때문에 안정상태 단계에서 클러스터 헤드가 사망한다면 모든 감지한 데이터 무용지물이 되며 이후 이루어지는 멤버 노드의 주변 감지와 전송에 따른 에너지 소비는 불필요하게 된다.

클러스터 헤드가 균일하게 분포되지 않는 경우 즉 클러스터 헤드의 위치가 필드의 가장 먼 쪽에 위치되어 기지국과의 거리가 먼 경우 에너지 효율성이 급감한다. 같은 맥락으로 넓은 지역에 네트워크가 적용되는 경우 동작에 문제가 될 수 있으며 무작위로 선출되는 클러스터 헤드는 클러스터 헤드의 적절한 분포와 최적의 헤드 수를 보장할 수 없다^[7].

III. 에너지 효율적인 클러스터링 기반 제안 기법

LEACH는 헤드 선택을 확률에 기초하며 랜덤한 방식으로 수행하기에 임의의 라운드에서 선택된 클러스터 헤드의 에너지 레벨은 모두 다를 확률이 높고 클러스터 헤드와 기지국과의 거리도 모두 다를 것이다^[8].

클러스터 헤드는 기지국과의 통신뿐 아니라 멤버 노드가 보내온 데이터의 융합과 압축을 해야 한다. 데이터 융합보다는 데이터 전송에 소비되는 에너지가 훨씬 크다. 결국 선출된 헤드의 에너지 잔량이 적거나 기지국과의 거리가 먼 경우 큰 부하를 해결하기 위해 많은 에너지를 소비하게 될 것이고 결국 클러스터 헤드는 금방 사망하게 될 것이다. 이런 점에 착안하여 본 논문에서는 클러스터 헤드들의 에너지 소비를 조절하여 전체 네트워크의 생존 시간을 높이는 방법에 집중하였다.

구조적으로 기존 LEACH와 동일하나 클러스터에 따라 두 번째 클러스터 헤드인 서브 클러스터 헤드가 존재하는 경우가 있는데 이를 그림 3에서 제시한다. 클러스터 헤드 선출 방식이나 클러스터 구성 방식은 기존 LEACH와 동일하다. 만약 선출된 클러스터 헤드의 에너지가 노드들의 평균 에너지보다 더 작거나 클러스터 헤드와 기지국과 거리가 평균 거리보다 먼 경우 선출된 클러스터 헤드가 서브 클러스터 헤드를 선택하는 방식

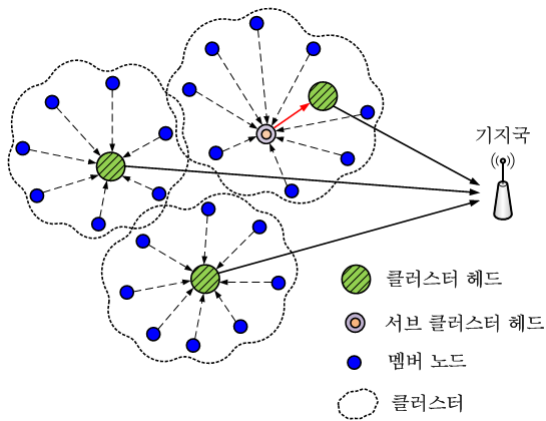


그림 3. 제안한 기법의 클러스터링 구조
Fig. 3. Clustering structure of the proposed.

으로 해당 클러스터의 멤버 노드 중 최대 에너지를 갖는 노드가 선택되는 방식이다.

선출된 클러스터 헤드의 에너지가 평균 이상이거나 기지국과의 거리가 평균 이하라면 서브 클러스터 헤드 선출 과정은 생략된다. 서브 클러스터 헤드는 다른 멤버 노드들이 보낸 데이터를 융합하고 압축하여 클러스터 헤드로 전송하게 되며 클러스터 헤드는 오직 기지국과의 통신만을 담당하는 방식이다. 물론 서브 클러스터 헤드가 없는 경우는 기존 LEACH와 동일하게 모든 일을 클러스터 헤드가 하게 되는데 이러한 과정을 그림 4에 제시한다.

최초 모든 노드는 0과 1 사이에서 임의의 수를 고르고 임계값 $T(n)$ 과 비교하여 더 작으면 클러스터 헤드가 되고 그렇지 않으면 멤버 노드가 된다. 클러스터 헤드는 ADV 메시지를 브로드캐스트하고 멤버 노드들은 도착한 ADV 메시지의 신호세기를 바탕으로 자신이 포함될 클러스터를 선택하여 join-REQ 메시지를 보내는 것으로 클러스터 형성이 완료된다.

각 클러스터 헤드는 자신의 에너지 레벨과 기지국과의 거리를 바탕으로 서브 클러스터 헤드를 선택할지 여부를 결정한다. 자신의 에너지가 평균 에너지보다 적거나 기지국과의 거리가 평균 거리보다 멀다면 도착한 join-REQ 메시지의 신호강도를 바탕으로 서브 클러스터 헤드를 선택한다.

서브 클러스터 헤드는 TDMA 방식의 스케줄 즉 각 노드가 할당된 시간 슬롯을 멤버 노드들에게 브로드캐스트한다. 서브 클러스터 헤드가 없는 클러스터는 기존 LEACH와 동일하게 클러스터 헤드가 이 역할을 하며 이로서 셋업 단계가 마무리된다.

클러스터가 형성되고 스케줄이 결정되면 멤버 노드

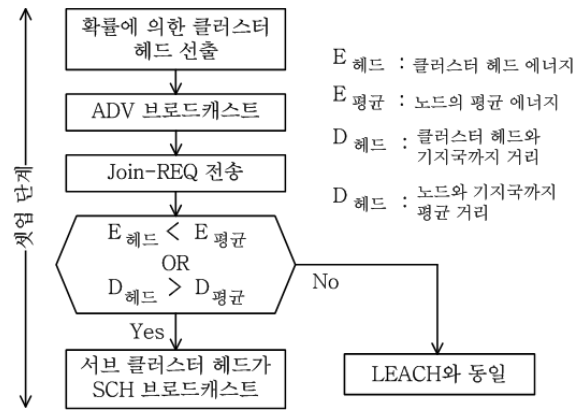


그림 4. 제안한 기법의 셋업 단계 동작
Fig. 4. Setup phase operation of the proposed.

들은 감지한 데이터를 서브 클러스터 헤드로 전송하기 시작한다. 서브 클러스터 헤드는 도착한 데이터를 융합하고 압축하여 클러스터 헤드로 전송한다. 클러스터 헤드는 서브 클러스터 헤드가 보낸 데이터를 기지국으로 보내게 되는 것이다. 물론 서브 클러스터 헤드가 없는 경우에는 기존 LEACH와 동일하게 클러스터 헤드가 데이터의 융합, 압축 그리고 기지국으로의 전송 모두를 담당하게 된다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 분석

이번 장에서는 2002년에 Wendi B. Heinzelman에 제안된 WSN 최초의 클러스터 기반 알고리즘인 LEACH에 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 모의실험을 수행하였다. WSN의 품질을 가늠할 수 있도록 노드의 첫 사망시간을 확인할 수 있는 시간에 따른 생존 노드 수, 시간에 따라 기지국에 도착한 총 데이터 그리고 에너지 효율성 확인을 위한 전체 노드의 에너지 소비량 등을 지표로 삼아 LEACH와 제안한 기법의 성능을 분석하고자 하였다.

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 LEACH extension과 NS2 시뮬레이터를 이용하였다^[9~10]. 100m × 100m의 영역에 불규칙하게 전개된 100개의 센서들 그리고 미리 고정된 위치를 갖는 기지국으로 만들어진 WSN을 가정하였다. 표 1에 나타난 것처럼 셋업 단계, 정상상태 단계에서 필요한 변수들 그리고 기타 제반 사항에 따른 파라미터들은 LEACH의 모델을 그대로 사용하였다^[4].

필드에 전개되는 센서들의 배치가 매 번 랜덤하게 변

표 1. 시뮬레이션 모델 변수
Table 1. Parameters for simulation.

Parameter	Value
E_{elec}	50nJ/bit
Initial node energy	2J
E_{DA}	5nJ/bit
E_{amp}	100pJ/bit/m ²
E_{fs}	10pJ/bit/m ²
E_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴
BS position	(50, 175)

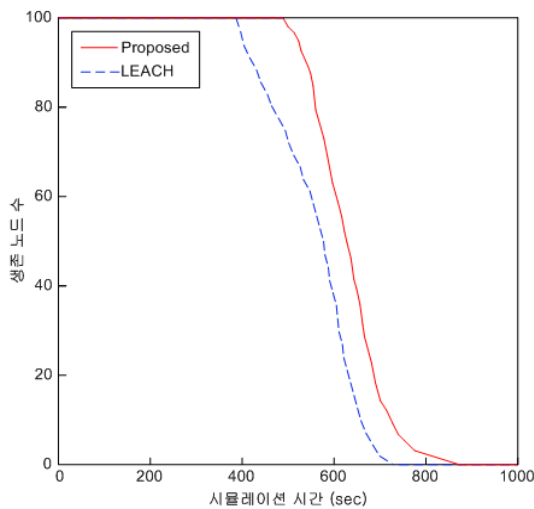


그림 5. 시간에 따른 생존 노드 수
Fig. 5. No. of survival nodes over time.

화하는 상황이기여 여러 번의 시뮬레이션을 실행함으로써 각종 편차에 따른 오차를 줄이고 최대한 신뢰성 있는 결과를 얻고자 하였다^[8].

2. 시뮬레이션 분석

본 논문에서 제안한 기법을 적용해 수정된 LEACH와 기존 LEACH에 대해 각각 시간 흐름에 따라 살아있는 노드 수를 시뮬레이션 하여 그림 5에 나타내었다. 제안한 방법을 적용한 경우 기존 LEACH보다 더 많은 노드의 생존이 확인된다. 기존 LEACH 알고리즘에서 클러스터 헤드는 에너지 소모가 제일 큰 기지국과의 통신뿐 아니라 데이터 융합과 압축에서도 에너지를 소비하게 된다. 여러 이유로 인해 선택된 클러스터 헤드의 에너지가 적은 경우 해당 클러스터의 생존시간은 더욱 감소할 것이다. 하지만 제안한 방법을 통해 클러스터 헤드의 에너지 부담을 분산시킨다면 해당 클러스터 헤드의 사망시간을 좀 더 늦출 수 있게 되고 결국 시간에

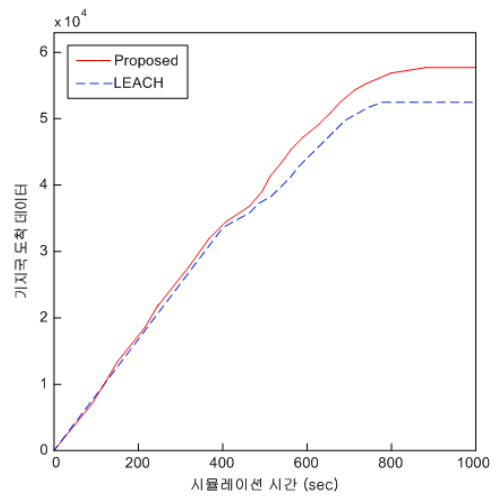


그림 6. 시간에 따른 기지국 도착 데이터
Fig. 6. Total data received at base station.

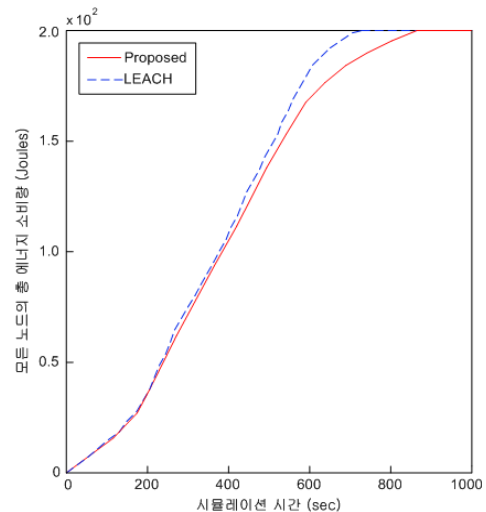


그림 7. 모든 노드의 총 에너지 소비량
Fig. 7. Energy consumption of all nodes.

따른 생존 노드 지표가 개선되어 동일한 시간에 더 많은 센서들이 살아남게 되었고 네트워크 서비스 품질도 향상되었음을 알 수 있다.

시간에 따른 기지국 도착 데이터를 그림 6에 나타내었다. 클러스터 헤드의 에너지 부담을 감소시켰기에 클러스터 헤드 역할이 끝나 다시 멤버 노드로 전환한 후에도 더욱 오래 살아남아 주변을 감지하도록 한 것이 동일 시간대에 더 많은 데이터 도착의 큰 이유일 것이다. 이처럼 개선된 기지국 도착 데이터는 WSN의 서비스 품질을 확인하는 지표로 많은 수의 센서가 수집하는 많은 양의 정보에 의존하는 WSN의 특성과 부합하는 결과로 해석된다.

그림 7에는 시간에 따른 전체 노드의 총 에너지 소비량에 대해 나타내었다. 네트워크 동작 초중반까지는 기

존 LEACH에 비해 큰 차이가 없지만 후반부로 갈수록 차이가 벌어져 노드들의 총 에너지 소비 지표가 개선되었음을 알 수 있다. 제안한 방법은 클러스터 헤드가 소비하게 될 에너지 그 자체를 줄이는 것이 아니라 그 에너지의 일부를 다른 노드가 대신 소비해서 한 노드에 편중되는 에너지 부담을 줄이는 방식이기 때문이다. 실제 필드에 센서가 전개되면 다양한 이유로 에너지 소비가 발생할 것이고 네트워크 규모가 커질수록 기지국과의 거리가 멀어져 제안한 방법이 기존 LEACH에 비해 에너지 소비의 편중을 막아 더욱 에너지 효율적이라 할 수 있을 것이다.

V. 결 론

LEACH는 확률에 따라 무작위로 선택되는 클러스터 헤드를 통해 모든 노드들의 균등한 에너지 소비를 보장한다. 하지만 이전에 클러스터 헤드였던 적이 없던 노드라도 다양한 이유로 현재 에너지 레벨이 낮을 수 있고 적절하지 못한 클러스터링 등으로 클러스터 헤드의 위치가 기지국과 떨어진 경우 해당 노드는 빠르게 에너지가 소비되어 예상보다 일찍 사망할 수 있다. 이러한 점에 착안하여 본 논문에서는 선출된 헤드의 잔존 에너지 및 기지국까지 거리를 고려하여 클러스터 내부에서 브 클러스터 헤드를 선출하여 클러스터 헤드의 에너지 부담을 줄이는 방법을 제안하였다. 한 노드의 에너지 편중을 막아 노드의 첫 사망시간을 늦출 수 있었고 이에 따라 서비스 품질도 개선되었다. 향후에는 기지국과의 거리가 더욱 늘어난 큰 규모의 네트워크에 대해 제안한 방법을 보완하여 적용하는 부분에 대해 연구를 수행할 계획이다.

REFERENCES

[1] H. Dhawan and S. Waraich, "A Comparative Study on LEACH Routing Protocol and its Variants in WSNs: A Survey," *International Journal of Computer Applications*, Vol. 95, No. 8, pp. 21-27, June 2014.

[2] C. Singh and M. R. Aloney, "Comparative Study of LEACH Routing Protocol for WSN," *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, Vol. 3, Issue 3, pp. 322-327, March. 2015.

[3] A. Gupta and A. Nayyar, "A Comprehensive Review of Cluster-Based Energy Efficient

Routing Protocols in WSNs," *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, Vol 3, Issue 1, pp. 104-110, Jan. 2014.

[4] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[5] P. Saxena, P. Patra and N. Kumar, "Energy Aware Approach in Leach Protocol for Balancing the Cluster Head in Setup Phase: An Application to Wireless Sensor Network," *Journal of Information Assurance and Security*, Vol. 10, Issue 1, pp. 40-47, Jan. 2015.

[6] C. Y. Song, S. I. Kim, Y. J. Won and Y. J. Chung, "An Energy Efficient Routing Scheme for Cluster-based WSNs," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 47-IE, No. 3, pp. 41-46, Sep. 2010.

[7] M. Shanthi and E. RamaDevi, "A Cluster Based Routing Protocol in Wireless Sensor Network for Energy Consumption," *International Journal of Advanced Networking and Applications*, Vol. 5, Issue 4, pp. 2015-2020, Mar. 2014.

[8] W. S. Lee, T. W. Ahn and C. Y. Song, "A Study on Improvement of Energy Efficiency for LEACH Protocol in WSN," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 52, No. 3, pp. 213-220, Mar. 2015.

[9] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "uAMPS ns Code Extensions," LEACH Algorithm Code, http://www.wmtl.mit.edu/researchgroups/icsystems/uamps/research/leach/leach_code.shtml

[10] UCB/LBNL/VINT. "Network Simulator-ns," <http://www.mash.cs.berkeley.edu/ns>

저 자 소 개

이 원 석(정회원)

동양미래대학교 전기전자통신공학부 교수
대한전자공학회 논문지 제51권 제9호 참조

안 태 원(정회원)

동양미래대학교 전기전자통신공학부 부교수
대한전자공학회 논문지 제51권 제9호 참조

송 창 영(정회원)-교신저자

동양미래대학교 전기전자통신공학부 조교수
대한전자공학회 논문지 제50권 제4호 참조