Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 4 pp. 2370-2375, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.4.2370
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

무선 센서 네트워크를 위한 잔여 수명 기반 클러스터링 통신 프로토콜

장백철[1*]
[1]상명대학교, 소프트웨어대학, 미디어소프트웨어학과

Lifetime-based Clustering Communication Protocol for Wireless Sensor Networks

Beakcheol Jang[1*]
[1]**Department of Media Software, College of Software, Sangmyung University**

요 약 무선 센서 네트워크는 넓은 지역을 위한 분산 센싱 시스템을 구현하는 데에 큰 잠재성을 가지고 있다. 각 센서의 배터리 교환이 대체로 어렵다고 생각되기 때문에, 무선 센서 네트워크의 수명 향상은 매우 중요한 연구 주제 이다. 클러스터링 방식은 각 각의 센서 노드가 패킷을 원거리의 싱크 노드에게 보낼 필요 없이, 가까운 거리의 클러스터 헤드에게 보내면 되므로 에너지 효율적이다. 이 논문에서 우리는 잔여수명을 기반으로 클러스터 헤드를 선정하는 무선 센서네트워크를 위한 클러스터링 통신 프로토콜을 제안 한다. 우리가 제안한 알고리즘을 평가하기 위해, 대표적인 무선 센서네트워크 클러스터링 알고리즘 중의 하나인 LEACH와 그 성능을 비교 한다. 실험 결과는 우리의 알고리즘이 LEACH 보다 트래픽 양 측면에서 20% ~ 30%, 그리고 확장성 특면에서 30% ~ 40% 만큼 노드들의 평균 수명을 향상 시킨다는 것을 보여 준다.

Abstract Wireless sensor networks (WSNs) have a big potential for distributed sensing for large geographical area. The improvement of the lifetime of WSNs is the important research topic because it is considered to be difficult to change batteries of sensor nodes. Clustering communication protocols are energy-efficient because each sensor node can send its packet to the cluster head near from itself rather than the sink far from itself. In this paper, we present an energy-efficient clustering communication protocol, which chooses cluster heads based on the expected residual lifetime of each sensor node. Simulation results show that our proposed scheme increases average lifetimes of sensor nodes as much as 20% to 30% in terms of the traffic quantity and as much as 30% to 40% in terms of the scalability compared to the existing clustering communication protocol, LEACH.

Key Words : Clustering Communication Protocols, LEACH, Lifetime-LEACH, Wireless Sensor Networks

1. 서론

무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드와 한 개 이상의 싱크로 구성 된다[1]. 무선 센서 네트워크에서 에너지는 가장 귀중한 자원 중 하나로 평가 되는데 그 이유는 첫째 일반적으로 센서 노드의 배터리 교환이 어렵고, 두 번째 에너지의 소비가 곧 센서 노드와 무선 센서 네트워크의 수명을 결정하기 때문이다.

클러스터링은 에너지 효율적인 무선 센서 네트워크를 만들기 위해 가장 기초가 되는 방법 중 하나 이다[2-8]. 무선 센서 네트워크는 클러스터들로 나누어지고, 각 클러스터에는 클러스터 헤드가 존재 한다. 센서 노드들은 주변 상황을 감시하고, 감시한 정보를 주기적으로 혹은 이벤트가 발생했을 때에 클러스터 헤드로 보낸다. 클러

본 연구는 2012학년도 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음.
*Corresponding Author : Beakcheol Jang(Sangmyung Univ.)
Tel: +82-2-781-7568 email: bjang@smu.ac.kr
Received November 15, 2013 Revised January 20, 2014 Accepted April 10, 2014

스터 헤드는 자신의 클러스터 내에 있는 센서 노드로 부터의 데이터를 모아서 싱크로 전송 한다. 각 센서 노드의 데이터를 멀리 떨어진 싱크로 보내지 않고, 가까이에 있는 클러스터 헤드를 통하여 보내는 클러스터링 방식은 에너지 효율적이다. 이러한 클러스터링 방식에서는 클러스터 헤드가 받은 데이터들을 하나의 패킷으로 모아서 보내는 방식이 가능하므로 에너지 효율 측면에서 더욱 효과적이라 하겠다.

이러한 클러스터링의 장점 때문에 지금까지 다양한 클러스터링 통신 방식이 무선 센서 네트워크를 위해 개발되어져 왔다[2-5]. MIT에서 제안된 대표적인 클러스터링 통신 프로토콜인 LEACH [2,3]은 무작위적인 방식으로 클러스터 헤드를 선택한다. 또한 확률적인 수식을 마련하여 모든 노드들이 고르게 클러스터 헤드로 선택되게 한다. [4]는 LEACH의 방식이 시스템의 수명 향상 측면에서 효과적이지 못하다고 주장한다. 그리고 잔여 에너지 기반으로 클러스터 헤드를 선택하는 방식을 제안한다. [5] 또한 각 노드의 잔여 에너지와 각 클러스터의 평균 에너지를 기반으로 클러스터 헤드를 선택한다. 하지만 이러한 방식들은 [2-5] 수명 측면에서 그리 효율적이지 않다. 데이터를 보내는데 소비되는 에너지의 양은 송신노드와 수신노드 간 거리의 제곱에 비례한다. 그러므로 [2,3]에서처럼 싱크로부터 멀리 떨어진 노드들과 싱크로부터 가까운 노드들이 동일한 횟수로 클러스터 헤드로 선택 된다면, 싱크로부터 멀리 떨어진 노드들의 수명은 싱크와 가까운 노드들의 수명보다 짧을 것이다. 또한 [4,5]에서 처럼 현재 잔여 에너지가 많아서 클러스터 헤드로 선정 되더라도, 그 노드가 씽크로 부터 멀리 떨어져 있다면, 그 노드의 에너지는 빠르게 소비될 것이다.

이 논문에서 우리는 잔여 수명을 기반으로 클러스터 헤드를 선택하는 클러스터링 통신 프로토콜인 Lifetime-LEACH를 제안 한다. 우리의 목표는 무선 센서 네트워크의 수명을 가능한 한 길게 하는 것이다. 이 논문에서 우리는 각 센서노드들의 수명이 가능한 한 길고, 모든 센서노드들이 가능한 한 동일한 시간에 죽는 것을 수명 측면에서 좋은 센서 네트워크라고 정의 한다. 이를 위해 Lifetime-LEACH는 공평한 기회로 혹은 잔여 에너지를 기반으로 클러스터 헤드를 선택하기 보다는, 앞으로 에너지를 적게 소비할 즉 잔여 수명이 긴 노드를 클러스터 헤드로 선택하게 한다.

Lifetime-LEACH의 성능을 평가하기위해 시뮬레이션을 통해 우리가제안한 방법과 LEACH를 수명 측면에서 비교한다. 시뮬레이션 결과는 Lifetime-LEACH가 LEACH보다 수명 측면에서 더 낳은 성능을 제공하는 것을 보여 준다.

2. 관련연구

이 장에서 우리는 무선 센서 네트워크를 위한 대표적인 클러스터링 프로토콜 중 하나인 LEACH [2,3] 의 작동 방식에 대해 기술한다.

2.1 클러스터셋업단계

클러스터 셋업 단계의 시작에, 각 노드는 현재 라운드, *r*, 에서 자신이 클러스터 헤드가 될지를 결정 한다. 이러한 결정은 네트워크를 위한 클러스터 헤드의 미리 제안된 비율, *P*, 와 지금까지 그 노드가 클러스터 헤드가 되어왔던 횟수를 기반으로 한다. 먼저 노드, *n*, 은 0과 1사이의 임의의 수를 선택한다. 만약 그 수가 쓰레숴홀드 , *T(n)*, 보다 적으면 그 노드는 다음 *r* 동안 클러스터 헤드가 된다. *T(n)*은 아래와 같은 식에 의해 구하여 진다.

$$T(n)=\begin{cases}\dfrac{P}{1-P*(r\%\dfrac{1}{P})} & \text{if } n\in G\\ 0 & otherwise\end{cases} \quad (1)$$

여기에서 *G*는 지난 *1/P* 라운드 동안 클러스터 헤드가 되지 못했던 노드들의 집합이다. *T(n)*을 사용하여 각 노드는 *1/P* 라운드 안에서 어떤 시점에 클러스터 헤드가 된다. 라운드 *0* 에서 각 노드는 클러스터 헤드가 될 확률 *P*를 갖는다. 라운드 *0* 에서 클러스터 헤드가 된 노드들은 다음 1/P 라운드 동안 클러스터 헤드가 될 수 없다. 클러스터 헤드가 될 수 있는 노드들의 개수가 적어지기 때문에, 남아있는 노드들이 클러스터 헤드가 될 확률은 커진다.

다음 라운드에서 클러스터 헤드로 선정된 노드들은 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 자신이 클러스터 헤드로 선정되었음을 알린다. 그 후 각 비 클러스터 헤드 노드들은 그들이 속할 클러스터 헤드를 결정 한다. 이러한 결정은 그 클러스터 헤드 메시지 신호의 세기를 기반으로 하고, 신호의 세기가 가장 큰 노드를 클러스터 헤더로 선정 한다. 즉 자신으로부터 가장 가까운 클러스터 헤

더를 자신의 헤더로 선정 한다. 비 클러스터 헤드 노드들이 자신이 속할 클러스터를 결정한 후, 그 노드들은 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 자신의 클러스터 헤드 노드에게 자신이 그 클러스터의 멤버가 되었다는 것을 알린다. 이를 위해, 모든 클러스터 헤드 노드들은 한동안 그들의 리시버를 켜 놓아야 한다.

클러스터 헤드 노드들이 그 클러스터에 속하고 싶은 노드들로부터 자신의 클러스터에 속하고 싶다는 모든 메시지를 받고나면, 그들은 클러스터에 있는 노드들의 개수를 기반으로 하여 TDMA 스케쥴을 만들고 이를 클러스터에 있는 노드들에게 알린다.

2.2 스테디스테이트단계

클러스터들이 만들어지고 TDMA 스케쥴이 정하여 지면, 데이터 전송이 시작 된다. 노드들은 그들이 할당된 TDMA 슬롯에 데이터를 보낸다. 이때에 데이터는 필요로 되는 최소한의 에너지를 사용하여 전송 된다. 데이터 전송은 TDMA를 기반으로 하므로 각 비 클러스터 헤드 노드들의 라디오는 그 노드의 할당된 TDMA 전송 시간까지 꺼질 수 있다. 클러스터 헤드 노드는 클러스터에 있는 모든 노드들로부터 모든 데이터를 받기 위해 그것의 리시버를 항상 켜 놓아야 한다. 모든 데이터를 받은 후 클러스터 헤드 노드는 하나의 패킷으로 데이터를 압축하여 전송하는 기능을 수행 한다. 클러스터 사이의 통신 간섭을 피하기 위해 각 클러스터는 다른 CDMA 코드를 사용하여 통신 한다.

3. 제안된 알고리즘

이 장에서 우리는 LEACH의 작동 방식의 문제점을 기술하고, 우리가 제안 하는 수명을 기반으로 하는 클러스터 라우팅 프로토콜인 Lifetime-LEACH의 작동 방식을 기술 한다.

3.1 문제 정의

클러스터링 라우팅 프로토콜에서 클러스터 헤드로 선정된 노드들은 자식 노드들로부터 데이터를 받고, 받은 데이터들을 베이스 스테이션으로 전송해야 하므로 클러스터 헤드 노드들보다 많은 에너지를 소비 한다. 그러므로 클러스터링 라우팅 프로토콜을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크의 수명을 가능한 한 길게 유지하는데 있어, 효율적인 클러스터 헤드의 선정은 매우 중요하다. LEACH에서 클러스터 헤드는 무작위로 선정 된다. 이러한 무작위 선정은 노드들이 클러스터 헤드가 될 확률을 균등하게 하며, 또한 식 (1)은 짧은 시간 (1/P 라운드) 안에서도 노드들이 클러스터 헤드가 될 확률을 같게 한다. 하지만 각 노드의 상황이 다르므로 (각 노드와 베이스 스테이션간의 거리, 노드가 클러스터 헤더가 되었을 때 자식노드들의 위치와 개수) 각 노드들의 클러스터 헤드가 될 확률이 같다고 해서 각 노드들이 균등하게 에너지를 소비하는 것은 아니다.

우리가 제안하는 클러스터링 통신 프로토콜인 Lifetime-LEACH는 무작위적인 방식이 아니라, 잔여 수명을 기반으로 하여 클러스터 헤드를 선정 한다. 각 라운드 마다, 예상되는 수명이 가장 긴 N/P 개의 노드들을 클러스터 헤드로 선정 한다. 이때 N은 무선 센서네트워크에 있는 노드의 개수 이다. 클러스터 헤드는 셋업 단계에서 결정되고, 이외의 클러스터 셋업 단계 와 스테디 스테이트 단계는 LEACH의 알고리즘들과 같다.

3.2 Lifetime-LEACH

클러스터 셋업 단계의 시작에서 각 노드들은 다음 라운드 동안 클러스터 헤드가 될지를 결정 한다. 노드 n 은 자신의 다음 라운드에서 기대되는 수명, $L(n)$, 을 구하고, $L(n)$을 기반으로 센서 네트워크에 존재하는 노드들 중 $N*P$ 순위 안에 있으면 클러스터 헤드가 된다. $L(n)$은 아래 식 (2)에 의해 결정 된다.

$$L(n) = \frac{E_c(n)}{E_r(n)} \tag{2}$$

여기에서 $E_c(n)$은 노드 n의 현재 잔여 에너지이고, $E_r(n)$은 노드 n이 이번 라운드에서 사용할 것으로 예측되는 에너지이다.

한 라운드 동안 클러스터 헤드 노드는 그 클러스터 내의 자식 노드들로부터 k 비트 패킷을 한 개씩 받고 그 패킷들을 k 비트 크기의 한 개의 패킷으로 모아서 전송 한다고 가정 한다. 그러므로 $E_r(n)$은 아래 식 (3)에 의해 구할 수 있다.

$$E_r(n) = E_{tx}(n) + E_{rx}(n) \tag{3}$$

여기에서 $E_{tx}(n)$은 다음 라운드 동안 클러스터 헤드가 패킷을 전송하는데 소비하는 에너지이고, 아래 식 (4)에 의해 구할 수 있다.

$$E_{tx}(n) = E_{elec}*k + \epsilon_{amp}*k*d^2 \quad (4)$$

$E_{rx}(n)$은 한 라운드 동안 클러스터 헤드가 패킷을 수신하는데 소비하는 에너지이고, 아래 식 (5)에 의해 구할 수 있다.

$$E_{rx}(n) = E_{elec}*k*N_c(n) \quad (5)$$

여기에서 $N_c(n)$은 노드 n이 클러스터 헤드 노드로 선정될 때, 노드 n의 자식 노드의 개수 이다. 클러스터 헤드가 결정 되면 비 클러스터 헤드 노드들은 클러스터 헤드 노드들 중 거리가 가장 가까운 노드를 클러스터 헤드로 선정하게 된다. 그러므로 클러스터 헤드가 결정 되지 않은 상태에서 자신의 자식노드를 예측할 수 없으므로, 클러스터가 구성되기 전에 $E_{rx}(n)$을 예측할 수 없다. 그러므로 $E_r(n)$을 예측하는데 있어서 우리는 $E_{tx}(n)$ 만을 고려한다. 결국 $L(n)$은 아래 식 (6)에 의해 결정 된다.

$$L(n) = \frac{E_c(n)}{E_{elec}*k + \epsilon_{amp}*k*d^2} \quad (6)$$

모든 노드들은 자신의 기대되는 수명인 $L(n)$을 구하고, 다른 노드들에게 이 정보를 알려 준다. 이러한 정보를 기반으로 자신의 기대 수명이 $N*P$ 순위 내에 있으면 자신을 클러스터 헤드로 결정하고 이를 다른 노드들에게 알려 준다.

클러스터 헤드가 결정되고, 이러한 정보가 무선 센서 네트워크 내의 모든 노드들에게 공유되면, 비 클러스터 헤드 노드들은 거리를 기반으로 거리가 가장 가까운 클러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정하고, 이를 자신의 클러스터 헤드 노드에게 알린다. 클러스터 헤드 노드는 TDMA를 기반으로 자신의 자식노드들에게 전송 시간을 할당하고, 이를 자식노드에게 알려준다. 스테디 스테이트 단계에서 데이터 전송이 시작되고, 간섭을 피하기 위해 각각의 클러스터는 다른 CDMA 코드를 사용한다.

4. 실험 및 평가

이장에서 우리가 제안한 Lifetime-LEACH와 LEACH를 무선 센서 네트워크에 참여하는 노드들의 수명을 기반으로 비교 한다. 성능 측정 변수로서 라운드를 단위로 한 시간, r, 각 노드가 라운드 당 보내는 패킷 수, N_R, 그리고 무선 센서 네트워크의 크기, x,를 사용 한다. 라운드를 단위로 한 시간은 노드의 수명을, 각 노드가 라운드 당 보내는 패킷 수는 무선 센서 네트워크의 트래픽 양을, 무선 센서 네트워크의 크기는 프로토콜의 확장성(scalability)을 나타낸다. 실험에서 사용한 라디오 에너지 모델, 실험 환경, 그리고 실험의 결과를 차례로 설명 한다.

4.1 라디오에너지모델

우리의 라디오 에너지 모델은 LEACH의 라디오 모델을 기반으로 한다. 비 클러스터 헤드 노드들은 라운드 당 N_R 개의 패킷을 보낸다. 그러므로 비 클러스터 헤드 노드들은 라운드 당 아래 식 (7) 만큼의 에너지를 소비 한다.

$$E_{NCH}(k,d) = N_R*E_{tx}(k,d) \quad (7)$$

클러스터 헤드 노드들은 자신의 자식 노드들로부터 패킷을 받아서 하나의 패킷으로 모아서 보낸다. 그러므로 클러스터 헤드 노드들은 라운드 당 아래 식 (8) 만큼의 에너지를 소비 한다.

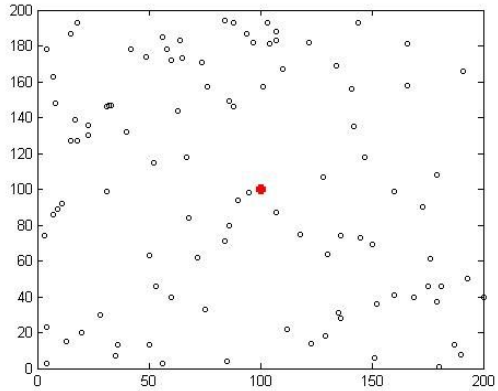
$$E_{CH}(k,d) = N_c*E_{rx}(k) + N_R*E_{tx}(k,d) \quad (8)$$

$E_{tx}(n)$와 $E_{rx}(n)$은 식 (4)와 (5)에서 제시 된다.

4.2 실험환경

4.1 절에서 제시한 라디오 에너지 모델과 2장과 3장에서 제시한 LEACH와 Lifetime-LEACH의 알고리즘을 기반으로 하여 우리는 JAVA 프로그래밍 언어로 시뮬레이터를 구현 했다. Lifetime-LEACH와 LEACH의 주된 차이점은 클러스터 헤드가 어떻게 선정되는가에 있다. Lifetime-LEACH에서는 기대 수명이 긴 노드들이 클러스터 헤드로 선정되고, LEACH에서는 임의의 노드들이 식 (1)을 기반으로하여 클러스터 헤드로 선정 된다.

Fig. 1 은 실험에서 사용한 무선 센서 네트워크의 시나리오를 보여 준다. $x m^2$의 정사각형 지역에 100 개의 노



[Fig. 1] Example of wireless sensor network

[Table 1] Variables and values

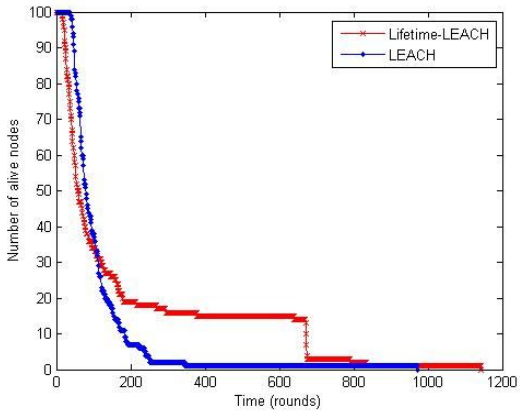
Variables	Description	Values
E_{elec}	tx and rx electrnics	50 nJ/bit
E_{amp}	tx amplifier	500 $pJ/bit/m^2$
k	Packet size	4000 bit
N	Number of nodes in WSN	100
N_R	Number of packets per round	1 ~ 10
x	WSN size	200 ~ 1000 m
P	Ratio of cluster head nodes	0.05
E_o	battery energy	$1J$

드들을 각 각 서로 다른 임의의 다른 위치에 위치시킨다. 검은 원은 일반 센서 노드이고 중앙 $(x/2, x/2)$에 위치한 빨강 원은 데이터를 모으는 싱크 노드이다.

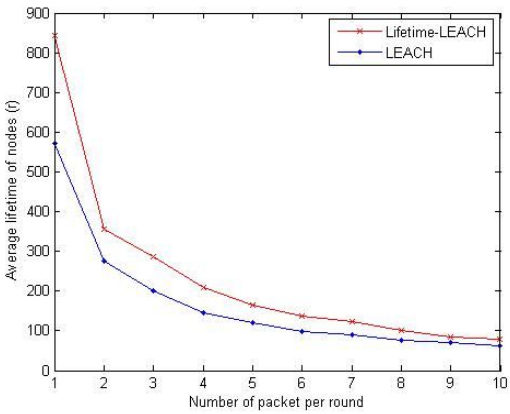
Table 1은 실험에서 사용된 변수들과 그들의 값을 보여 준다. N_R 과 x의 값은 변하고, 이외의 값은 고정된 상수 값을 갖는다.

4.3 실험결과

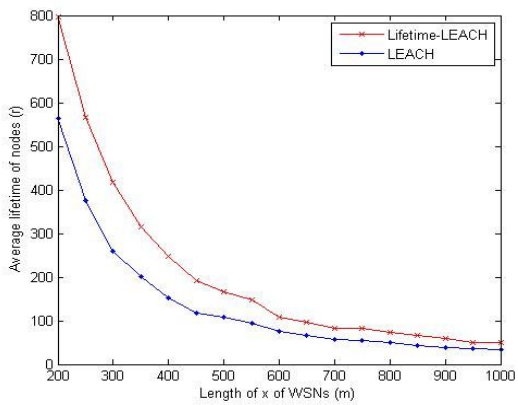
Fig. 2는 r을 단위로 한 시간에 따른 살아있는 노드들의 개수를 보여 준다. 여기에서 x는 500m이고, N_R은 1로 고정 된다. Lifetime-LEACH에서의 노드들의 수명이 LEACH에서의 노드들의 수명 보다 길다는 것을 알 수 있다. 특히 LEACH에서 노드들의 수명은 다양하지만, Lifetime-LEACH에서 약 20% 의 노드들의 수명이 약 680 r 로 같다. 이는 우리가 정의한 "노드들의 수명은 가능한 한 길어야 하고, 같아야 한다."는 수명에 대한 좋은 성능에 부합된다.



[Fig. 2] Number of alive nodes as a function of time



[Fig. 3] Average lifetime of nodes as a function of number of packet per round



[Fig. 4] Average lifetime of nodes as a function of wireless sensor network size

Fig. 3은 라운드 당 패킷 개수에 대한 노드들의 평균 수명을 보여 준다. 라운드 당 패킷 수는 네트워크에서의 트래픽의 양을 의미 한다. 트래픽 양 측면에서 Lifetime-LEACH의 성능은 LEACH에 비해 약 20% ~ 30% 의 성능 향상을 보여 준다.

Fig. 4는 무선 센서 네트워크의 크기에 대한 노드들의 평균 수명을 보여 준다. 네트워크의 크기의 변화는 알고리즘의 확장성을 보여 준다. 확장성 측면에서 Lifetime-LEACH의 성능은 LEACH에 비해 약 30% ~ 40% 의 성능 향상을 보여 준다.

5. 결론

무선 센서 네트워크는 넓은 지역의 감시를 용이하게 한다. 센서노드의 에너지 소비는 전체 무선 센서 네트워크의 수명을 결정하므로, 프로토콜을 설계하는 데에 가장 중요한 고려 요소 중의 하나이다. 이 논문에서 우리는 기대되는 잔여 수명을 기반으로 클러스터를 구성하는 통신 프로토콜인 Lifetime-LEACH를 제안한다. 시뮬레이션 결과는 Lifetime-LEACH가 대표적인 무선 센서 네트워크를 위한 클러스터링 통신 프로토콜 중 하나인 LEACH에 비해 트래픽 양 측면에서 20% ~ 30% 만큼, 그리고 확장성 측면에서도 30% ~ 40% 만큼 노드들의 평균수명을 향상시킨다는 것을 보여 준다. 시뮬레이션은 큰 규모의 시스템 평가에 효과적이지만, 실제 시스템에서의 평가 보다는 부정확하다. 향후, 우리는 Lifetime-LEACH를 실제 센서 노드에서 구현하여, Indriya [9]와 같은 실제 무선 센서 네트워크 테스트 베드에서 그 성능과 타당성을 검증해 볼 것이다.

References

[1] B. Jang, J. Lim, and M. L. Sichitiu, “An Asynchronous scheduled MAC protocol for wireless sensor networks,” Elsevier Computer networks, vol. 57, pp.85-98, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2012.09.002

[2] D. W. Heizelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks”, in Proceeding of the Hawaii Conference on System Sciences, vol. 2, pp. 10, 2000. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982

[3] D. W. Heizelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks,” IEEE transactions on Wireless Communications, vol. 1, pp. 660-670, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2002.804190

[4] M.C.M. Thein and T Thein, "An Energy Efficient Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks," in Proceeding of ISMS, pp 287-291, 2010.

[5] F. Bajaber and I. Awan, "Adaptive decentralized re-clustering protocol for wireless sensor networks," Elsevier Computer and System Sciences, vol 77, issue 2, pp 282-292, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jcss.2010.01.007

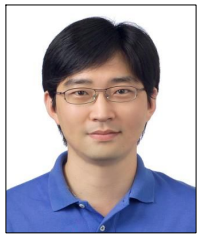
[6] S. Soro and W. B. Heinzelman, “Cluster head election techniques for coverage preservation in wireless sensor networks,” Elsevier Ad hoc networks, vol. 7, pp. 955-972, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2008.08.006

[7] O. Younis, M. Krunz, and S. Ramasubramanian, “Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges,” IEEE Network, vol. 20, pp. 20-25, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/MNET.2006.1637928

[8] A. Chaman and S. Pierre, “A distributed energy-efficient clustering protocol for wireless sensor networks,” Elsevier Computers and Electrical Engineering, vol. 36, pp 303-312, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2009.03.008

[9] M.C. Chan M. Doddavenkatappa and A.L. Ananda, "Indriya: A low-cost, 3d wireless sensor network testbed," TRIDENTCOM, 2011.

장 백 철(Beakcheol Jang) **[정회원]**



- 2001년 2월 : 연세대학교 컴퓨터과학 (학사)
- 2002년 8월 : 학국과학기술원 컴퓨터과학 (석사)
- 2009년 8월 : 노스 캐롤라이나 주립 대학교 컴퓨터과학 (박사)
- 2009년 9월 ~ 2012년 8월 : LG 전자 책임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 소프트웨어대학 미디어소프트웨어학과 조교수

<관심분야>
무선 네트워크, 모바일 네트워크, Human Computer Interaction