creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000256712

2012년 2월
석사학위논문

무선 센서 네트워크에서 노드의 이동성을 지원하는 라우팅 프로토콜 설계

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

이 동 훈

2012년 2월 석사학위논문

무선 센서 네트워크에서 노드의 이동성을 지원하는 라우팅 프로토콜 체계

이 동 훈

무선 센서 네트워크에서 노드의 이동성을 지원하는 라우팅 프로토콜 설계

Design of a Routing Protocol Supporting Node Mobility over the Wireless Sensor Network

2012년 2월 24일

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

이 동 훈

무선 센서 네트워크에서 노드의 이동성을 지원하는 라우팅 프로토콜 설계

지도교수 변 재 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2011년 10월

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

이 동 훈

이동훈의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박 종 안 印

위 원 조선대학교 교수 한 승 조 印

위 원 조선대학교 교수 변 재 영 印

2011년 11월

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

표 목 차 ····· ii
그 림 목 차 ····· iii
ABSTRACT ····· iv

Ⅰ. 서 론 ····· 1
A. 연구의 배경 및 목적 ····· 1
B. 연구의 목표 ····· 2
Ⅱ. 무선 센서 네트워크와 라우팅 프로토콜 ····· 3
A. 무선 센서 네트워크 구조 ····· 3
B. LEACH 프로토콜 구조 ····· 11
C. RSSI ····· 16
Ⅲ. 이동성 지원 라우팅 프로토콜 설계 ····· 17
A. 기존 LEACH에서의 이동성 지원 문제점 ····· 17
B. 프로토콜의 이동성 노드 움직임 검출 ····· 18
C. Beacon 메시지 ····· 19
Ⅳ. 실험 및 평가 ····· 21
A. 시뮬레이션 설정 환경 ····· 21
B. 시뮬레이션 및 결과 분석 ····· 24
Ⅴ. 결론 및 향후 연구 과제 ····· 32
참고문헌 ····· 33

표 목 차

표 1. 에너지 모델 파라미터 ····· 22
표 2. 기본적인 스크립트 옵션 ····· 23
표 3. 시뮬레이션을 위한 tcl 파라미터 ····· 24

그 림 목 차

그림 1. 무선 센서 네트워크의 동작 개념 ····· 4
그림 2. 라우팅 프로토콜의 분류 ····· 5
그림 3. Directed diffusion의 데이터 전달 과정 ····· 6
그림 4. SPIN 라우팅 프로토콜의 동작 과정 ····· 7
그림 5. 계층 기반 클러스터 라우팅 구조 ····· 8
그림 6. TEEN 라우팅 동작 과정 ····· 9
그림 7. GAF 라우팅 동작 과정 ····· 10
그림 8. LEACH 프로토콜의 클러스터 구조 ····· 12
그림 9. LEACH 프로토콜의 타임라인 ····· 13
그림 10. LEACH 프로토콜의 set-up phase ····· 15
그림 11. LEACH 프로토콜의 steady-state phase ····· 15
그림 12. 센서 노드의 이동에 의한 데이터 전송 문제점 ····· 17
그림 13. 클러스터 헤드의 beacon 메시지 전송 구조 ····· 19
그림 14. 새로운 클러스터 구성 과정 ····· 20
그림 15. 노드의 속도가 5m/s 일 때 전송 성공률 ····· 24
그림 16. 노드의 속도가 50m/s 일 때 전송 성공률 ····· 25
그림 17. 움직이는 노드의 개수가 5개 일 때 전송 성공률 ····· 26
그림 18. 움직이는 노드의 개수가 20개 일 때 전송 성공률 ····· 26
그림 19. 움직이는 노드의 개수가 50개 일 때 전송 성공률 ····· 27
그림 20. 움직이는 노드의 개수가 100개 일 때 전송 성공률 ····· 27
그림 21. 움직이는 노드 개수에 따른 ME-LEACH의 전송 성공률 ····· 28
그림 22. 노드 4의 속도에 따른 전송 성공율 ····· 29
그림 23. LEACH와 ME-LEACH의 에너지 소모량 비교 ····· 30
그림 24. LEACH에서 이동 노드가 50개 일 때 에너지 소모량 ····· 31
그림 25. ME-LEACH에서 이동 노드가 50개 일 때 에너지 소모량 ····· 31

ABSTRACT

Design of a Routing Protocol Supporting Node Mobility over the Wireless Sensor Network

Lee, Dong-Hoon
Advisor : Prof. Pyun, Jae-Young, Ph.D.
Department of Information Communication Engineering
Graduate School of Chosun University

In WSN, small devices with inbuilt sensors are deployed to gather the data of interest for further processing. These tiny devices are called nodes. Nodes are monitoring and gathering the data of interest. WSN are widely used in environment, military, medicine, or public sector, and lots of research works are going on for its betterment.

Sensor nodes should be lightweight, inexpensive, and compact. Since the sensor node is battery powered, it is not feasible to change the battery frequently once deployed. Thus, the main key issue in WSN is to extend the life time of network as long as possible. Lots of research works have been carried out for making the WSN robust, reliable, and energy efficient. Futhermore, there has been a high demand for node mobility in WSN environment. In this thesis, a new routing protocol which supports the node mobility by using signal strength of cluster heads in WSN, is proposed.

Reliable data trasfer is important in the WSN. Thus, data transfer success rate is evaluated in WSN for the performance measurement of node mobility. Whenever a node joins or leaves the cluster, a new schedule is assigned which is follows by data the transmission.

I. 서 론

A. 연구의 배경 및 목적

무선 센서 네트워크 (wireless sensor network, WSN) 에서 센서는 특정 목적에 맞는 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 바탕으로 정보를 처리하는데 사용된다. 이런 작은 장치를 흔히 센서 노드 (sensor node) 라고 불리는데, 이런 센서노드를 광범위한 영역에 걸쳐 수십, 수백 개를 설치하여 서로 무선으로 데이터를 주고받으며 원하는 데이터를 손쉽게 수집한다. 이런 무선 센서 네트워크는 의료, 화재감시, 군사 응용, 농업 분야 등에 많이 사용되고 있다. 또한, 이에 대한 관련 연구들이 활발히 진행 중이다 [1]. 센서 네트워크에서 센서노드들은 데이터를 측정하고자 하는 지역에 임의적으로 대량 배치된다. 이러한 대량 사용 특성상 가볍고, 저렴하고, 소형인 센서노드를 사용하게 된다. 특히, 한번 배치가된 센서 노드들은 관리가 쉽지 않기 때문에 지속적인 에너지를 제공하기 어려우므로 한번의 에너지 공급으로 긴 수명을 얻을 수 있는 저전력 특성을 갖춘 노드들이 배치되어진다. 그리고 관리적 측면에 있어 센서 노드들을 하나하나 제어하기 힘들기 때문에 자가 구성을 위한 라우팅 경로를 설정하게 되고, 자율적으로 무선 센서 네트워크를 관리, 구축하여 수집된 데이터들을 사용자에게 제공하게 된다. 이런 무선 센서 네트워크의 특성상 현재 대부분의 연구는 센서 노드의 저전력 에너지 효율성에 맞는 다양한 라우팅 프로토콜 기법들이 연구 되고 있는 실정이다 [2]. 이에 따라 본 논문은 에너지 효율성측면과는 다른 무선 네트워크의 응용 환경에 따른 센서 노드의 전송 효율을 위한 프로토콜을 고안하게 되었다.

최근 무선 센서 네트워크는 다양한 응용분야에서 사용되고 있다. 의료분야에서 움직이는 환자의 상태 파악이나 군사분야에서 병사들의 상태파악 및 피아식별등과 같은 응용분야가 많아짐과 동시에 기존의 고정형 센서 노드의 특성에서 벗어나 이동성을 지닌 센서 노드들이 필요해짐으로써 기존의 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜과는 달리 이동하는 센서 노드들을 위한 새로운 라우팅 프로토콜들이 필요하게 되었다 [3]. 따라서 센서노드가 움직이는 환경에서도 데이터 송수신을 효율적으로 할 수 있는 방법을 찾게 되었다. 무선통신의 특성상 각각의 센서노드들이 멀어지면 신호전파의 세기가 약해져 데이터 수신율이 현저히 떨어지게 된다. 이로 인해 필요한 데이터를 정확히 받을 수 없게 되어 잘못된 정보가 사용자에게 전달 될 수 있는 상황이 발생하게 된다. 이러한 상황을 방

지하고자 본 논문에서는 센서노드의 이동에도 안정적으로 데이터를 송수신 할 수 있는 방법을 제안한다.

B. 연구 목표

본 논문에서는 이동성을 갖는 무선 센서 네트워크에서 데이터의 송수신을 안정적으로 할 수 있는 방법을 제안하였다. 무선 센서 네트워크에서 움직임을 갖는 센서노드의 데이터 전송을 위해서는 센서노드가 현재 클러스터 헤드 (CH) 로부터 전송가능한 거리를 벗어나기 전에 인접한 새로운 클러스터 헤드노드를 찾아서 데이터 전송함으로써 안정적인 전송이 이루어질 수 있다. 이를 구현하기 위해서 보내고자 하는 센서노드는 CH와 서로 간의 거리 정보를 수시로 주고받아 수시로 거리를 파악하는 알고리즘이 필요하다. 또한 센서노드의 특성에 맞게 많은 에너지를 소비하지 않고 한정된 에너지를 사용하는 범위내에서 거리파악이 될 수 있도록 설계해야 한다.

기본적인 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜중 에너지 효율적인 라우팅으로 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) 라는 프로토콜이 있다 [4]. 이 프로토콜은 계층기반의 프로토콜로 전체 영역을 클러스터로 나누고 그 안에서 대표가 되는 CH를 선출하여 클러스터 내의 노드로 부터 데이터를 수집한 후 병합하여 베이스 스테이션 (BS) 으로 보내게 된다. 이렇게 함으로써 데이터 소비를 최소한으로 할 수 있고, 전체적인 생존 시간도 증가되는 효과를 가져온다. 이러한 LEACH 프로토콜이 갖는 에너지 효율적 특성을 최대한 유지하면서 이동성 노드의 안정적인 데이터 전송을 지원하는 프로토콜을 설계 한다.

C. 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련 연구에서는 배경 지식으로서 무선 센서 네트워크 프로토콜의 종류와 LEACH 프로토콜에 대하여 알아보고, LEACH 프로토콜이 갖는 모바일 환경에서의 제약점에 대해 설명한다. 3장에서는 LEACH 프로토콜이 모바일 환경에서 효율적인 데이터 전송을 하기위해 이동하는 노드를 수신신호세기 (RSSI)를 통해 전송 가능한 거리인지를 파악 하는 방법에 대해 언급한다. 4장에서는 성능 평가로 시뮬레이션 모델 및 결과를 분석하고 마지막 장에서 결론을 맺는다.

II. 무선 센서 네트워크와 라우팅 프로토콜

A. 무선 센서 네트워크

1. 무선 센서 네트워크 개념과 응용

컴퓨터와 네트워크를 기반으로 하는 정보 기술은 기업의 업무와 생산, 국방, 의료, 교육, 복지 등 인류의 생활에 많은 변화를 가져왔다. 특히, 현재 대표적인 정보 전달 매체인 인터넷망은 누구나 손쉽게 접근할 수 있는 편리한 서비스를 제공하고 있다. 또한 유비쿼터스 컴퓨팅 기술에 의해 새롭게 바뀐 우리 주위의 사물들은 스마트해지고 인간은 이러한 사물로부터 원하는 지역의 환경 상황을 정확하게 인지할 수 있게 되었다. 즉, 유비쿼터스 사회가 도래한 것이다.

이러한 서비스를 구현하기 위해서 무선 센서 네트워크가 가장 핵심이 되는 기술로 평가되고 있다. 이러한 무선 센서 네트워크는 센서를 장착하고 광범위한 지역에 설치되어 있는 대규모의 노드들이 노드 주변 환경데이터를 수집하고 외부 네트워크의 사용자에게 전달하는 기술이다. 그림 1 처럼 특정 목적을 위해 여러 지역에 분포된 센서들이 응용 계층에서 요구하는 어떤 현상의 정보를 수집한다. 센서 또는 주위 환경에으로부터 어떤 이벤트가 발생한 경우에 노드들은 자신의 데이터 또는 이벤트 알람을 다른 노드들을 통해 싱크 노드로 전달한다 [1]. 싱크 노드(sink node)는 외부 네트워크와 연결되어있는 센서 노드로써 직접적인 노드들의 정보를 외부 네트워크로 전달해주는 역할을 한다.

무선 센서 네트워크의 연구는 초기에 적군의 움직임을 감시하기 위한 군사적인 목적으로 시작되었다. 적과 아군의 이동을 감시하기 위해 땅위, 물속, 공중의 다양한 환경에서 통신 가능한 센서들을 배치하고, 이 들 센서로부터 정보를 얻고자 하는 형태의 응용을 개발하고자 하였으나 당시의 기술로는 센서를 비롯한 주요 부품들의 소형화가 이루어지지 않았고 크기에 비해 낮은 성능으로 인해 센서를 배치하고 정보를 수집하기 위해서는 많은 자원이 소비 되었다. 이후 2000년대에 들어서 미세전자기계시스템(micro electro mechanical systems, MEMS) 기술과 IC 및 VLSI 기술을 바탕으로 저가의 저 전력 센서와 프로세서의 개발이 가능해지면서 무선센서 네트워크 기술 개발이 가속화되었다 [2].

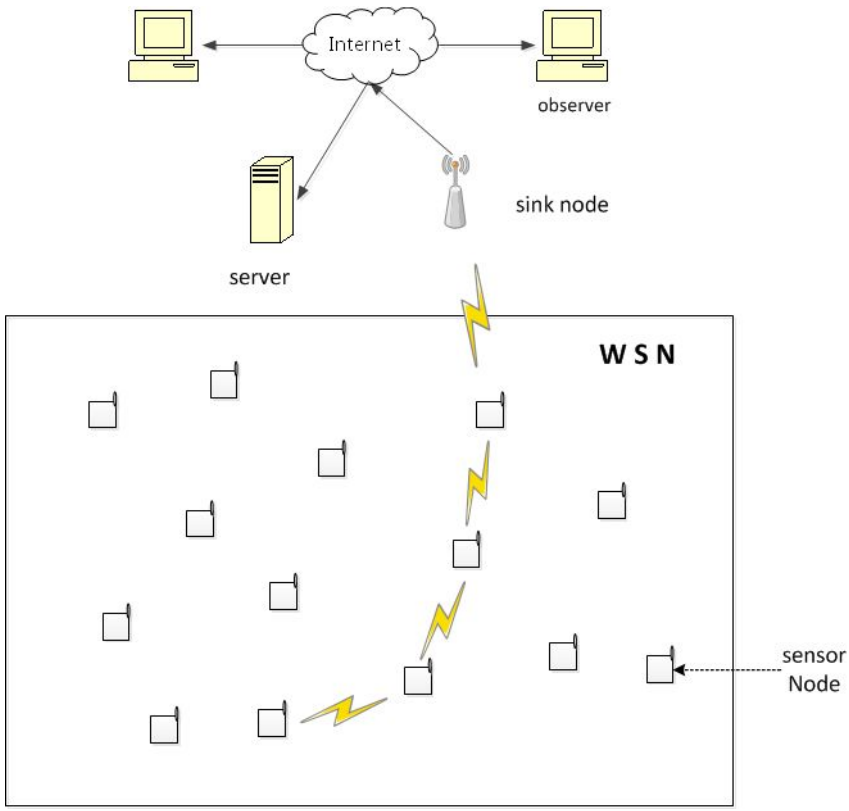

그림 1. 무선 센서 네트워크의 동작 개념.

무선 센서 네트워크가 적용될 수 있는 분야는 다양하다. 도시의 빌딩 곳곳에 설치된 센서들이 실시간으로 공기의 상태, 빛의 세기, 온도, 화재 감지 등을 하여 빌딩의 환경을 쾌적하고 안전하게 유지하게 해준다. 댐이나 교량, 발전소, 하천 등의 구조물에 센서들을 적용하여 시설물의 이상 상태 등을 신속하게 파악하여 사고를 예방할 수 있다. 이 밖에도 물속이나 산악지대 감시 초소 등에 적의 이동에 대한 감시를 센서 노드로 대체할 수 있으며, 최근에는 텔레매틱스 분야나 u-헬스케어 분야를 위한 연구와 응용이 활발하게 진행되고 있다 [2].

2. 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

일반적으로 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 시스템의 변화, 노드의 에너지 상태와 같은 현재 네트워크의 상태에 따라서 그에 맞는 환경에 적응할 수 있어야 한다. 이런 환경적 요인에 따라 라우팅 프로토콜은 네트워크 구조에 따른 프로토콜과 동작특성에 따른 프로토콜로 나뉘게 된다. 네트워크 구조에 따른 방식으로는 평면 기반 라우팅 (flat-based routing), 계층 기반 라우팅 (hierarchical-based routing), 그리고 위치 기반 라우팅 (location-based routing)으로 나눌 수 있다. 평면 기반 라우팅은 대체로 mobile ad hoc network (MANET) 환경에서 적용 되는데 모든 네트워크상에 존재하는 노드의 역할과 기능이 동일한 특징을 갖는다. 반면, 계층 기반 라우팅은 노드들이 수행하게 되는 역할과 기능이 계층에 따라서 다르다. 마지막으로 위치 기반 라우팅은 노드의 위치 정보를 기반으로 데이터 전송 경로를 선택하게 된다 [1][2].

동작 특성에 따른 라우팅으로는 협상기반 (negotiation-based) [3], 다중경로 기반 (multipath-based), 서비스 품질기반 (QoS-based) 등으로 분류할 수 있다. 이 외에도 어떤 방식으로 경로를 선택하느냐에 따라서 라우팅 프로토콜을 나눌 수 있는데, 이는 proactive, reactive, 그리고 hybrid 방식으로 정의된다. Proactive 방식은 이와 다르게 데이터 전송경로가 필요할 경우에만 특정 경로를 설정하게 된다. Hybrid 방식은 위의 두 가지 방식을 적절하게 혼합해서 사용하게 된다. 아래의 그림은 네트워크 구조와 프로토콜 동작에 따라서 라우팅 프로토콜을 분류하고 있다.

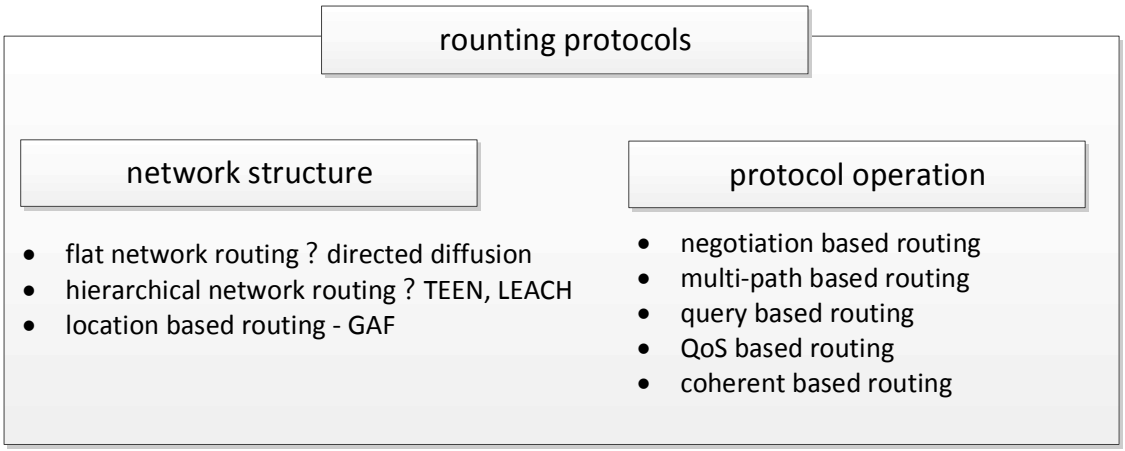

그림 2. 라우팅 프로토콜의 분류

a. 평면 기반 라우팅

평면 기반 라우팅 프로토콜의 하나인 directed diffusion은 싱크 노드가 원하는 정보를 얻기 위해서 전체 센서 노드로 질의를 전송한 후, 그 질의에 수신한 노드들이 응답하여 센싱된 데이터를 싱크 노드로 전송하는 방식이다 [5]. Directed diffusion은 데이터 특성을 기반으로 라우팅 경로를 결정하므로 흔히 데이터 중심적 라우팅 프로토콜이라고 한다.

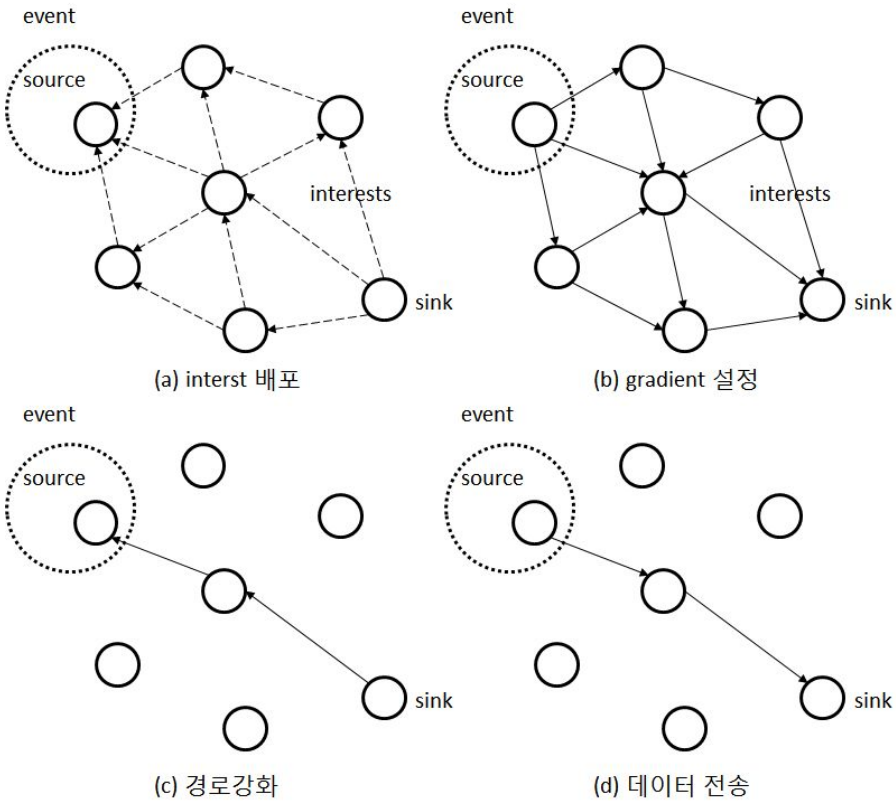

그림 3. directed diffusion의 데이터 전달 과정

Directed diffusion은 데이터 전달을 위해 3단계로 구성되어 있다. 첫째, 관심전달 (interest dissemination)로 싱크 노드가 이웃 노드로부터 데이터를 요구할 때, 관심 (interest) 메시지를 유포하고 이를 수신한 노드들은 broadcast를 통해 다음 이웃 노드에게 전달하게 된다. 각 노드는 관심 기울기 (interest gradients)를 설정하고, 결과에 따라 싱크 노드로 전송을 위한 기울기 설정 (gradients setup)을 한다. 기울기 설정 과

정으로 강화된 경로를 찾아 그 경로를 따라 데이터를 전송하게 된다.

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) [4]은 평면 기반의 라우팅 프로토콜의 하나로 네트워크의 토폴로지 변화가 1홉 안에만 영향을 주게 된다. 하지만 네트워크 전체에 데이터를 전달하지 못 할 수 있는 문제점이 있다.

SPIN 라우팅 프로토콜은 ADV, REQ, 그리고 DATA 세 가지 타입의 메시지를 갖는다. 그림 4 의 동작 과정은 이벤트가 발생한 노드 A는 노드 B로 ADV 메시지를 전송하여 이벤트 발생을 알리고 데이터를 원하는 노드가 이에 응답하는 REQ 메시지를 보내 데이터 전송을 요청하게 된다. 그 후 DATA 전송이 이루어지는 단계를 거치게 된다. 다른 노드들도 이벤트가 발생하게 되면 이웃 노드에게 이와 같이 ADV 메시지를 통해 전송하고자함을 알리게 되는 것이다. 이로 인해 데이터의 증가나 중복을 효과적으로 배제하는 라우팅을 구현하게 된다.

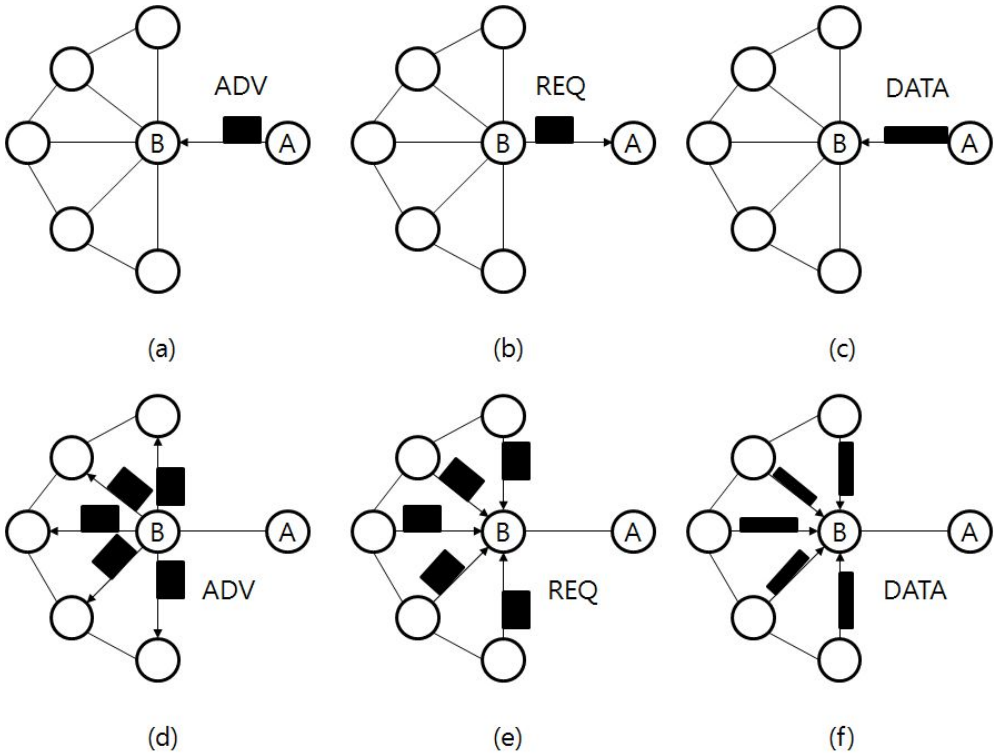

그림 4. SPIN 라우팅 프로토콜의 동작 과정

b. 계층 기반 라우팅

본래 유선 네트워크에서 제안된 계층 또는 클러스터 (cluster) 기반 라우팅 방법은 확장성과 효율적인 통신을 장점으로 갖는 잘 알려진 기법이다 [6]. 이 기법은 무선 센서 네트워크에서도 에너지 효율적인 라우팅을 수행하는데 사용된다. 계층 구조에서는 많은 에너지를 가지고 있는 노드가 정보를 처리하고 전송하는 역할을 하는 반면, 적은 에너지를 가지고 있는 노드는 정보를 감지하는 역할에 사용된다. 이는 균등한 에너지 소모를 통하여 네트워크의 긴 생존 시간을 유지하는 방법이 된다. 클러스터를 구성하고 클러스터 헤드에 특별한 일을 할당하는 것은 전체 시스템 확장이나 수명, 에너지 효율 등에 큰 기여를 할 수 있다. 계층 기반 라우팅은 일정 크기의 지리적 조건에 따라 각각의 집합으로 나누어 그룹을 형성한 후에 그룹 내에서 감지된 데이터를 수집하여 BS로 전송되는 메시지의 수를 줄이기 위해 데이터 병합을 수행함으로써, 클러스터 내 에너지 소비를 줄이는 효율적인 방법이다. 그 구성은 그림 5와 같이 된다. 전체 네트워크는 클러스터들로 분할되고, 각 클러스터에는 CH와 클러스터 노드가 존재한다. 클러스터 노드는 센서를 통해 필요한 데이터를 수집하고 클러스터 헤드로 전송하는 역할을 담당하고 클러스터 헤드는 병합된 데이터를 BS 노드로 전송하는 역할을 담당한다.

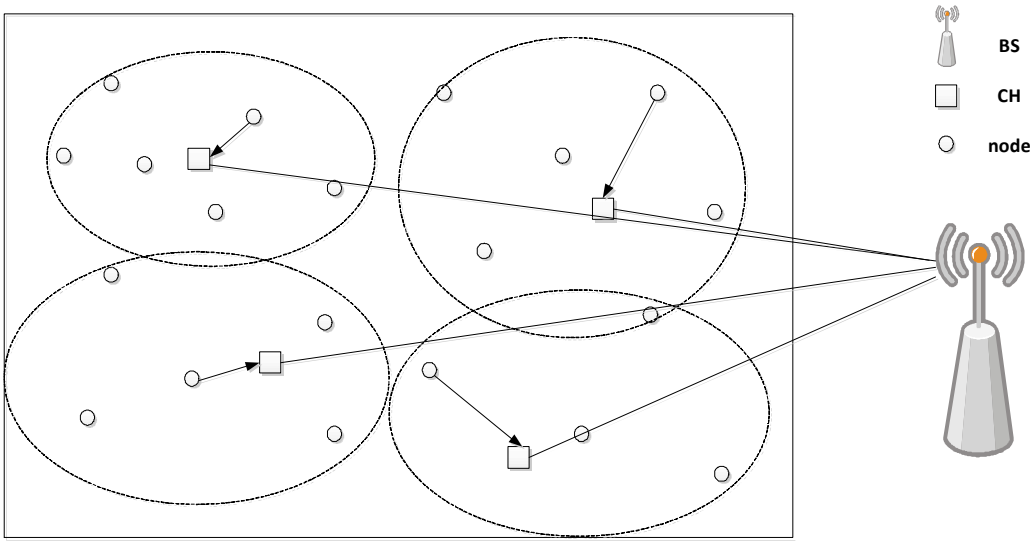

그림 5. 계층 기반 클러스터 라우팅 구조

Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN) [6]은 클러스터링에 기반하고 임계값을 이용하는 프로토콜로서 반응적 네트워크에 적합하다. 센서 노드들은 클러스터 헤드가 브로드캐스트 한 임계값인 Hard Threshold (Ht)와 Soft Threshold (St)에 기반을 두어 현재 감지된 데이터를 전송할지 여부를 결정하게 된다. 그림 6과 같이 감지된 값이 처음으로 Ht를 초과하면, 이를 저장한 후 해당 시간 슬롯에 전송한다. 이후에는 감지된 데이터의 값이 저장된 값보다 St이상 큰 경우에만 저장한 후 해당 시간 슬롯에 전송하게 된다.

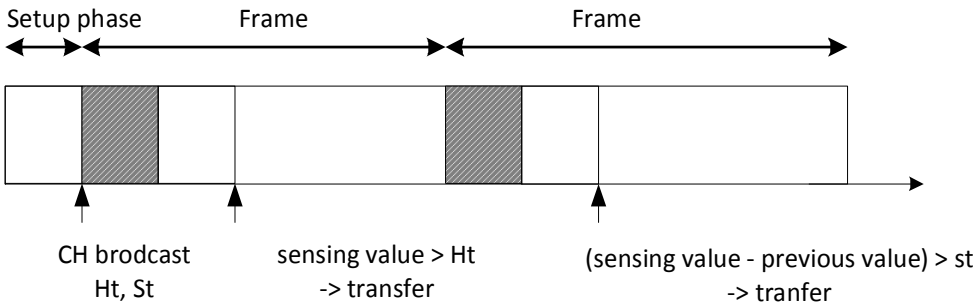

그림 6. TEEN 라우팅 동작 과정

c. 위치 기반 라우팅

위치 기반 라우팅에서 센서 노드는 자신의 위치를 알고 있다. 이웃 노드 사이의 거리는 수신 신호를 바탕으로 측정될 수 있다. 노드가 소형의 저 전력 global positioning system (GPS)를 장착하고 있다면, 위성과 통신함으로서 직접적으로 위치를 알아낼 수 있다. 에너지 소비를 줄이기 위해서 몇몇 위치 기반 라우팅 방법들은 활동이 없을 시에는 수면 모드로 전환하도록 하고 있다. 센서 네트워크에서 위치 정보는 중요하고 필요한 정보 중 하나이기 때문에 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 위치 기반 라우팅에는 Geographic Adaptive Fidelity (GAF) [13]와 Geographic and Energy Aware Routing (GEAR) [14] 등이 있다.

GAF 라우팅 기법은 센서 노드 각각의 위치 정보를 그리드 형태의 클러스터에 할당해주고 각 클러스터에는 한 노드만 active 노드로 선택이 된다. 해당 클러스터의 나머

지 노드들은 sleep 상태로 전환하여 노드의 에너지 소비를 줄이게 된다. 이러한 방법은 기본적으로 클러스터들이 자신의 위치 정보를 알고 있다고 가정하게 된다.

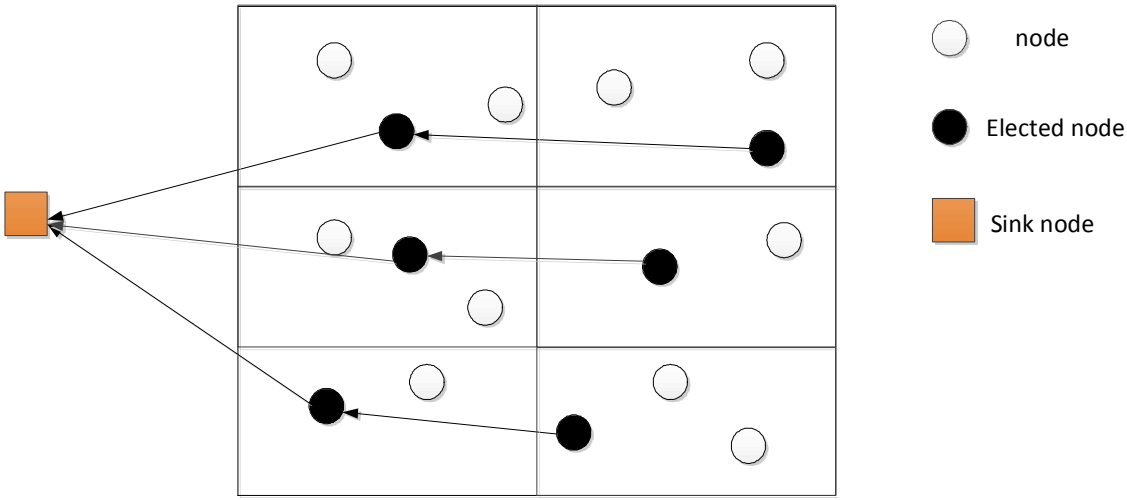

그림 7. GAF 라우팅 동작 과정

GEAR은 무선 센서 네트워크에서 이웃노드를 선택하는 학습 알고리즘과 에너지 인식 기법을 사용한다. 자신보다 목적지에 더 가까운 이웃하는 노드가 존재할 경우에 GEAR은 해당 노드들을 다음 홉으로 결정한다. 하지만 이웃 노드들이 자신과 목적지와의 거리보다 훨씬 멀리 떨어져 있는 경우에는 hole 이 생기게 되어 이웃 노드의 위치 정보와 잔류 에너지를 바탕으로 계산한 정보 중 가장 작은 값을 갖는 노드를 다음 홉으로 선택하게 된다.

B. LEACH 프로토콜

1. LEACH 프로토콜의 구조

LEACH 프로토콜은 대표적인 계층적 라우팅 프로토콜이다. 그 특징으로 네트워크 내의 모든 센서들의 에너지 부하를 균등하게 배분토록 하기 위하여 임의적으로 클러스터링을 구성하게 된다. 이러한 설계 목적을 달성하기 위해 아래와 같은 기법을 사용한다 [11].

- 환경에 맞는 클러스터를 형성
- 클러스터 구조에 맞는 데이터 전송 방법
- 저 에너지 MAC 프로토콜
- 애플리케이션에 따른 데이터 처리(data aggregation 또는 data compression)

또한 LEACH 프로토콜은 기본적으로 다음의 몇 가지 가정을 전제로 설계되었다.

- 모든 노드들은 BS까지 데이터를 전송할 충분한 전력을 가지고 있다.
- 노드는 송신 전력을 변동할 수 있는 전력 컨트롤이 가능하다.
- 각 노드들은 여러 가지 MAC 프로토콜을 지원하는데 필요한 전력을 가지고 있다.
- 각 노드들은 데이터 병합 또는 압축을 위해 필요한 전력을 가지고 있다.
- 노드들은 싱크 노드로 전송할 데이터를 항상 가지고 있다.
- 서로 인접한 노드들은 상관관계를 갖는 데이터를 가지고 있어 데이터 병합 또는 압축에 효율적이다.

LEACH에서 클러스터 구성을 위해서 클러스터에 클러스터를 대표하는 CH를 임의 선택하고 CH를 중심으로 클러스터의 신호세기에 따라 클러스터를 구성할 노드가 결정된다. 이 CH는 자신의 클러스터 내에 속한 개별 노드들에게서 데이터를 받아 이를 병합하여 BS로 전송하게 된다. 그림 8은 LEACH 에서의 클러스터 구조와 데이터 전송에 관해 나타냈다.

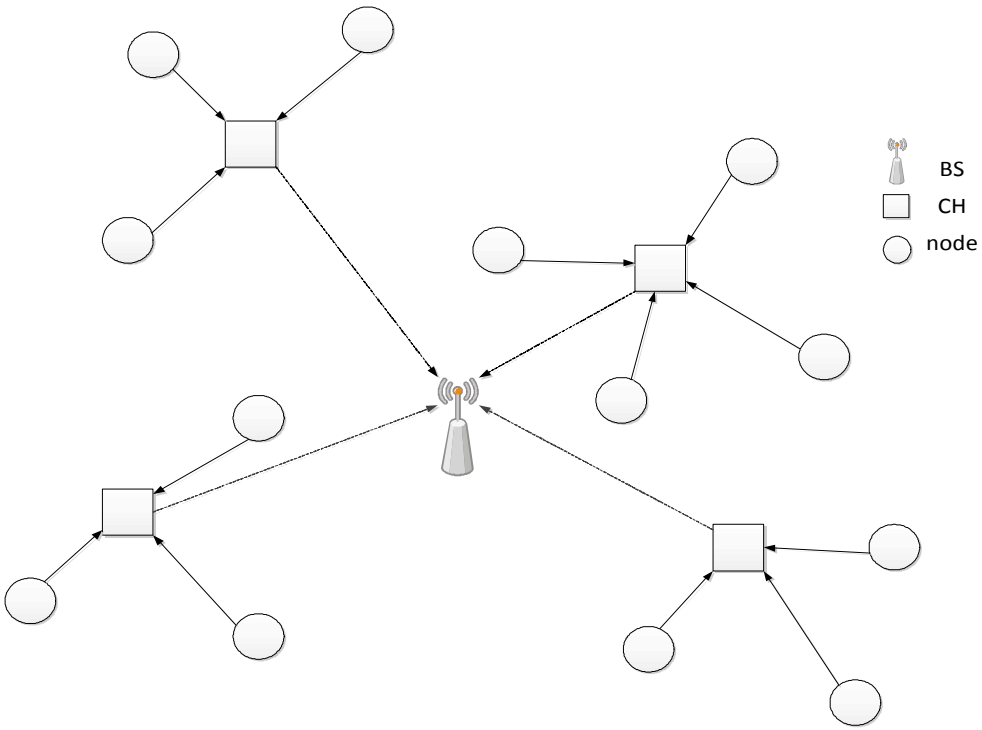

그림 8. LEACH 프로토콜의 클러스터 구조

LEACH 프로토콜은 크게 4단계의 과정으로 나누어진다.

1) 광고 단계 (advertisement phase)
CH로 선출된 노드는 전체의 노드에게 자신이 CH가 되었음을 알려 노드들이 자신과 가까운 CH를 선정하는데 필요한 역할을 한다.

2) 클러스터 설정 단계 (cluster set-up phase)
CH로부터 광고메시지를 받은 각각의 노드는 CH에게 join 메시지를 보내 클러스터 참여의사를 알린다.

3) 스케줄 생성 (schedule creation)
CH는 TDMA 스케쥴을 생성한 후, 자신의 멤버 노드들에게 이 스케줄을 전송한다.

4) 데이터 전송 (data transmission)

클러스터의 멤버 노드는 자신에게 할당된 전송 시간동안 데이터를 CH로 전송한다.

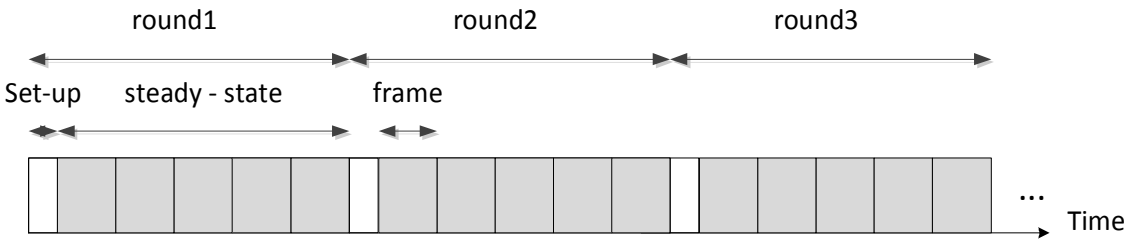

그림 9. LEACH 프로토콜의 타임라인

LEACH 포로토콜의 운영방식은 그림 9와 같이 라운드 (round)라는 일련의 시간 구분으로 구성된다. 각 라운드는 고정된 길이를 가지고 있으며 20초 정도의 길이를 갖는다. 라운드의 길이를 고정하는 이유는 각 라운드마다 네트워크상의 전체 노드들이 동일한 시간에 클러스터 헤더 선정과 클러스터 구성에 참여해야 하기 때문에 시간의 동기화를 용이하게 하기 위해서이다.

2. 클러스터 헤드 선출 과정

CH 선출과정은 각 라운드 동안에 클러스터내의 BS 역할을 수행할 CH 노드를 결정하는 일이다. LEACH에서는 CH의 개수를 정할 때 전체 노드의 개수의 5%를 최적의 클러스터 헤드 숫자로 보고 있다. 이는 전체 노드에게 균일한 클러스터 헤드 선정의 기회를 제공하고 네트워크의 생존시간이 오래 갈 수 있도록 에너지 소모를 균등하게 해주기 위함이다.

$$T(n) = \begin{cases} \dfrac{p}{1 - p \times (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if} \quad n \in G \\ 0 & \end{cases} \qquad (1)$$

수식 (1)을 보면 G는 1/p동안 CH가 되지 않은 노드집합이고 p는 원하는 CH의 선출 퍼센트이며(예 p=0.05), r은 현재의 라운드 수이다. 각 노드들은 자신의 $T(n)$보다 작다면 CH가 된다. 즉, CH의 선출은 이전 라운드에서 CH로 동작했던 노드를 제외한 노드들 중에서 균등하게 이루어지기 때문에 라운드 증가에 따라 $T(n)$은 단순 증가하게 되며, 이러한 패턴은 1/p주기로 반복되기 때문에 모든 노드가 CH 노드로 선정되는 확률은 균등하게 된다.

3. 클러스터의 구성과 데이터 전송

일단 CH로 선정되면 CH는 현재 라운드에 자신이 CH의 역할을 수행하게 되었음을 advertisement message (ADV)의 브로드캐스팅을 통해 네트워크의 모든 노드들에게 알린다. 이때, ADV를 전송하기 위해서 CSMA MAC 프로토콜을 사용한다. 이 간단한 메시지는 노드 번호를 포함하고 있다. 각각의 일반 노드들은 모든 CH로부터 수신된 ADV의 수신 신호 강도를 기준으로 자신이 속하게 될 클러스터를 결정한다. 중간에 장애물이 존재하지 않고 안정된 채널 상황일때 수신 신호 강도가 가장 강한 CH가 자신과 가장 가까이 위치한 CH일 것이다. 만약 동일한 수신 신호 강도를 갖는 CH들이 있다고 하면, 임의로 CH를 선정한다.

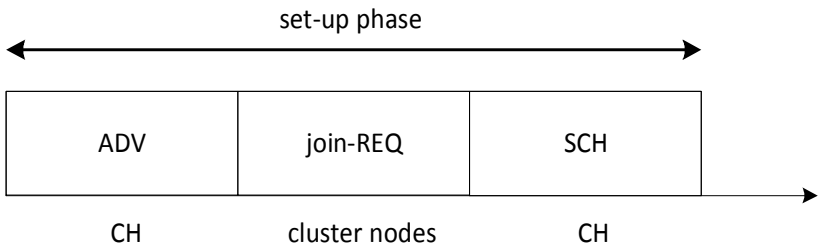

그림 10. LEACH 프로토콜의 set-up phase

각 노드들은 자신이 속할 클러스터를 결정한 후에, join-request message (Join -REQ)를 해당 CH에 전송함으로써 해당 클러스터의 멤버가 되겠다고 알린다. 이때 ADV의 경우와 마찬가지로 CSMA MAC프로토콜을 사용한다. Join-REQ 역시 짧은

메시지로서 노드 번호와 CH 번호를 포함하고 있다. CH는 클러스터 내 조정자로서 활동한다. 또한, TDMA 스케줄을 작성하고 이 스케줄을 클러스터 내의 모든 노드에게 전송한다. 이 스케줄은 클러스터 내의 모든 멤버 노드가 데이터 전송 시 충돌을 회피할 수 있도록 보장해 주고, 자신의 전송 시간 슬롯 외에는 수면 모드로 동작함으로써 노드의 에너지 소비를 감소하는 역할을 한다. TDMA 스케줄의 전송이 완료되는 시점에 set-up phase는 완료되고 데이터 전송이 가능한 steady-state phase가 시작된다.

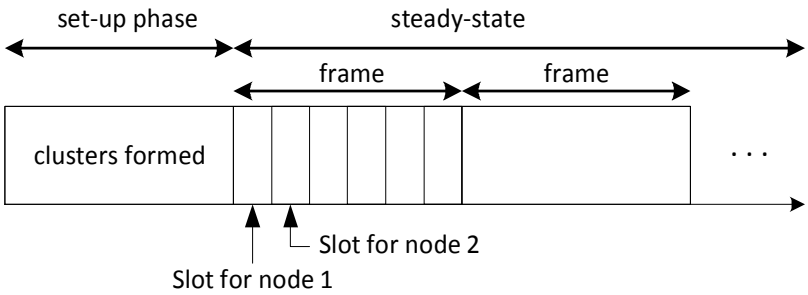

그림 11. LEACH 프로토콜의 steady-state phase

그림 11의 steady-state phase에서는 멤버 노드가 스케줄에 따라 자신의 클러스터 헤드에게 데이터를 전송하며 모든 CH는 데이터를 수집, 병합, 압축하여 직접 싱크에게 보내게 되며, 이렇게 한 노드의 데이터가 병합되어 싱크까지 전송되면 한 라운드가 끝나게 된다.

C. RSSI

1. RSSI 란?

RSSI는 신호를 수신하는 단말에서 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 확률분포와 대조하여 위치를 측정하는 방법이다. RSSI 방식을 이용하기 위해서는 우선적으로 사전에 정의된 다양한 지점에서 신호세기들을 RSSI 표본 수집을 통해 측정하여야 한다. 이러한 과정을 수행하고 나면 beacon의 송신 신호를 각 수신 노드들이 신호의 감쇠 정도를 측정하여 확률적 방법을 통해 미리 수집되었던 RSSI 표본과 대조하여 노드의 위치를 추정한다. 이 방법은 간단하게 구현이 가능하고 여러 응용에 사용될 수 있지만 장애물이 많은 복잡한 실내 환경일 경우 거리 측정에 오차가 클 수 있다.

RSSI를 이용한 거리 측정은 송신기와 수신기 사이에서 전파의 경로 손실을 이용하여 거리를 측정하는 것이다. 수신 신호 세기를 이용하는 경우 이동 개체로부터 기준점 사이의 거리는 수식 (2)의 Friis의 공식을 통해 구할 수 있다 [22].

$$L = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)[dB] \tag{2}$$

여기서 λ는 전파의 파장을 나타내며 거리 d와 동일한 단위를 사용한다. 수식(2)를 두 지점 사이의 거리 d에 대해 나타내면 수식(3)과 같이 된다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}} \tag{3}$$

여기서 c는 전파속도이며 f는 주파수를 나타낸다. 또한 L은 송신기와 수신기 사이의 경로 손실로써 송신기의 송신전력과 수신기의 수신 전력의 차이를 통해 얻을 수 있다.

III. 제안하는 프로토콜의 설계

A. 기존 LEACH에서의 모바일 노드에 대한 단점

LEACH 프로토콜에서 센서 노드들의 이동은 센서 노드와 CH 간의 통신 링크의 연결성을 변화시키므로 센서 노드들의 이동 형태에 따라 데이터 송수신가능여부가 결정되게 된다. 그림 12처럼 CH와 센서 노드간의 거리가 멀어지게 되면 그만큼 신호세기가 약해져 CH는 자신의 클러스터에 속한 센서노드들로부터 정확한 데이터를 받지 못하게 되어 정보의 정확성에 영향을 주게 되며, 이러한 연결성의 변화는 CH와 센서 노드들 간의 쿼리 및 응답 시 데이터 전달에 소요되는 지연시간이 길어져 전송 스케줄에 영향을 주게 된다.

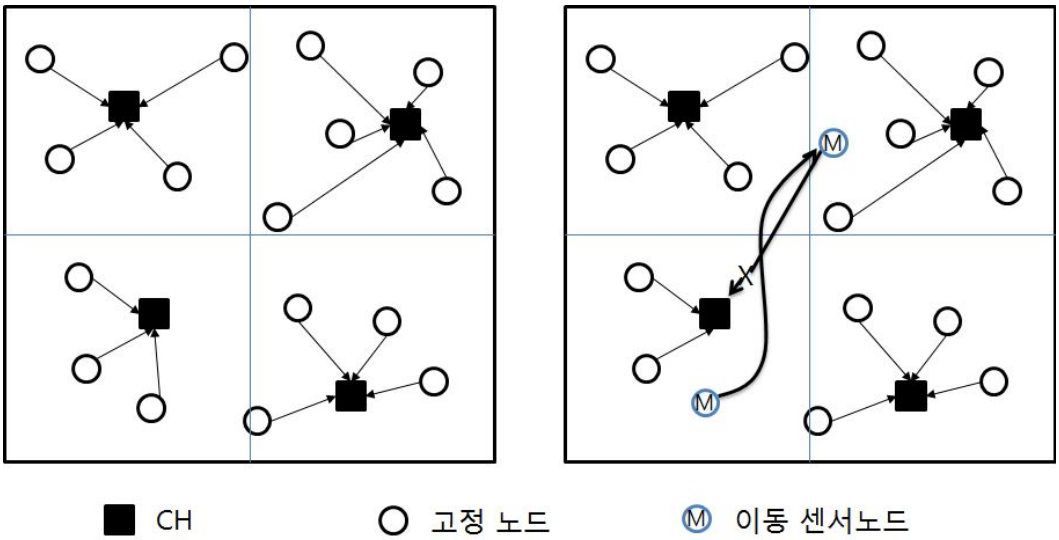

그림 12. 센서 노드의 이동에 의한 데이터 전송 문제점

위와 같은 문제로 노드의 이동성을 정확히 감지하여 노드가 클러스터 영역을 벗어났는지를 파악하고 그에 따른 클러스터 재설정을 함으로써 노드의 이동이 발생하는 경우도 안정적인 데이터를 주고 받는 프로토콜을 고안 하였다. 이와 같이 제안하는 프로토콜은 이동성 환경의 LEACH 프로토콜이란 뜻으로 mobile environment LEACH (ME-LEACH) 라고 명명하였다.

B. 프로토콜의 이동성 노드 움직임 파악

일반적으로 노드의 이동성을 판별하기 위해서는 GPS와 같은 위치정보를 정확히 알 수 있는 방법으로 움직임을 측정하고 그에 따른 라우팅 경로를 재설정하는 방법을 사용하고 있으나 그 경우 노드의 크기나 가격, 그리고 전력 소모량의 증가와 같은 단점이 발생한다. 이를 보완하기 위해 기존의 노드 특성을 그대로 유지하고자 신호세기를 이용한 방법을 고안하였다. 데이터 전송 시 신호세기는 손쉽게 측정이 가능하기에 이를 바탕으로 노드와 CH간의 신호 세기를 대략적으로 측정하여 현재 움직이는 노드가 클러스터영역을 벗어났는지를 파악하여 새로운 클러스터 영역에 추가 되어 데이터 전송을 안정적으로 이어 가게끔 하였다.

신호세기 측정 방법은 수식 (4)와 같다.

$$R = \alpha R_{new} + (1-\alpha) R_{old} \tag{4}$$

위의 수식은 Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) [22] 를 바탕으로 이전 신호보다 현재 신호에 가중치를 두어 그 평균 신호세기로 클러스터 영역을 벗어났는지 파악하게 된다. 예를 들어 $\alpha = 0.9$의 경우 이전 신호세기에 0.1의 가중치를 주고 최근 신호세기에는 0.9의 가중치를 주어 그 평균에 해당하는 값을 바탕으로 결정하게 된다. 이는 신호세기의 경우 전파 특성상 왜곡과 반사등으로 인하여 정확하지 못한 신호세기 값이 측정 될 수 있기 때문에 사용된다. 측정된 R에 따라 노드가 클러스터 영역을 벗어났는지 파악하게 된다.

이러한 노드의 움직임을 파악하기 위해 각 노드는 CH에서 보내오는 beacon 신호를 수신하여 R을 측정한다. 그리하여 노드는 자신의 클러스터영역 범위와 비교하여 클러스터 영역에서 멀어짐을 파악하고 벗어났음을 알 수 있게 된다. 이후 노드는 주변의 CH 중 가장 가까운 CH를 선정하여 CH에게 참여의사를 밝히고 새로운 클러스터영역으로 참여하게 된다. CH는 새로운 노드를 스케줄에 추가 시키고 기존의 스케줄을 현재 자신에게 속한 노드의 수에 맞게 재설정 한다. 재설정된 스케줄은 클러스터 내의 모든 노드들에게 브로드캐스트 되어 노드들은 새로운 스케줄에 맞춰 데이터를 보내게 된다.

C. Beacon 메시지

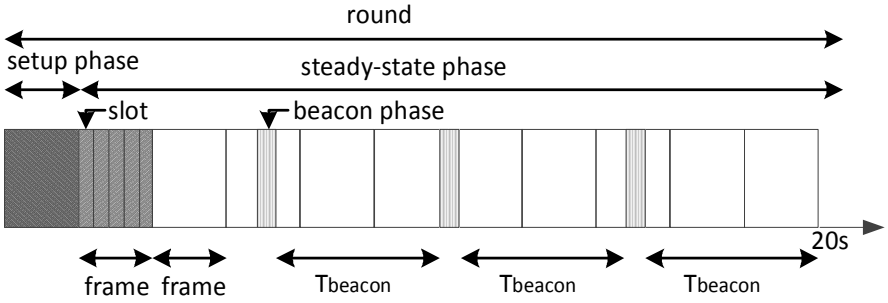

그림 13. 클러스터 헤드의 beacon 메시지 전송 구조

노드들은 매 T_{beacon}초마다 CH로부터 beacon 메시지를 받게 된다. 이는 신호세기를 파악하기 위해 임의의 신호를 CH가 모든 노드에게 브로드캐스트 하는 것으로, 이동 센서 노드의 전력 소모량을 최소화 하면서 효율적인 위치 추적을 가능하게 만든다. 그림 13은 ME-LEACH의 beacon phase 전송 구조를 보이고 있다. 이때의 beacon phase는 ADV와 join-REQ를 주고받을 수 있는 구간으로 구성되며, join-REQ는 이동 노드만이 전송 할 수 있다. 따라서 setup phase 보다 매우 짧은 구간시간을 갖게 된다. 하지만 T_{beacon}주기마다 발생하는 beacon phase 에서는 데이터의 송·수신은 이루어질 수 있으며, frame 내 어느 위치에서나 발생되므로 모든 노드에게 평균적으로 형평성을 제공할 수 있다. 클러스터의 재구성에는 단순히 클러스터 노드가 새로운 CH로 join-REQ 를 보내 새로운 클러스터를 구성하고 CH는 새로운 스케줄 정보를 클러스터 내의 모든 노드에게 브로드캐스트 하여 통지하고 전송시간을 재설정 하게 된다.

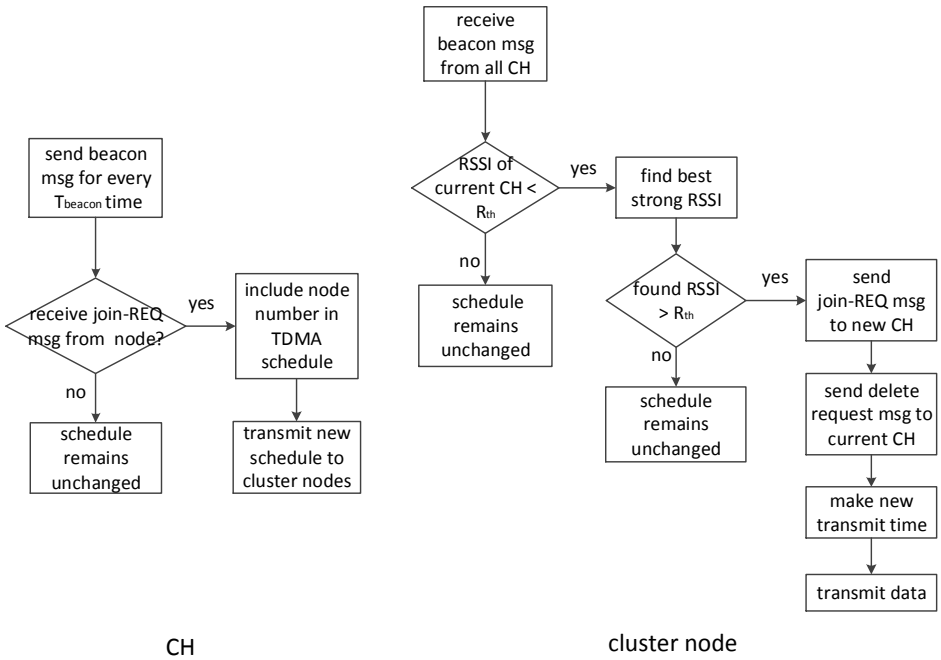

그림 14. 새로운 클러스터 구성 과정

그림 14는 beacon 메시지를 통해 클러스터가 형성되는 일련의 과정을 CH와 node 입장에서 다이어그램으로 표시하였다. 모든 노드들은 CH 선출과정을 통해 최적의 CH를 선출한다. 선출된 CH는 T_{beacon} 시간마다 모든 노드들에게 메시지를 보내게 된다. 이 메시지는 신호세기정보를 파악할 수 있을 데이터만을 보내는데 이 메시지를 바탕으로 노드들은 모든 CH의 신호세기를 파악하게 된다. 모든 CH의 신호세기 메시지를 받은 후 이를 저장하고, 현재 CH의 신호세기가 R_{th}보다 약할 경우 클러스터영역을 벗어난 것으로 판단하여 현재 신호세기보다 강한 신호를 갖는 CH를 찾아 등록 하게 된다. 반면, 신호세기가 더 강해지거나 변함이 없다면 아직 클러스터영역 안에 있는 것으로 판단하여 기존의 스케줄을 유지한다. R_{th}는 기존에 연구된 자료 [26],[27]를 바탕으로 -70 dBm 으로 설정하였다. 이는 노드가 데이터 손실 없이 전송 가능한 최소의 신호세기로 설정한 것이다. 새로운 CH를 선정한 노드는 join-REQ 메시지를 새로운 CH에게 전송하고, 새로운 CH는 이를 바탕으로 스케줄을 재구성하여 클러스터에 속한 노드들에게 스케줄을 전송한다. 또한, 노드는 새로운 CH로 편입하기 전에 이전 CH로 자신의 정보를 삭제 요청하는 메시지를 보내 스케줄에서 삭제한다. 이 스케줄을 바탕으로 노드는 새로운 CH에게 자신의 데이터를 전송하게 된다.

IV. 실험 및 평가

A. 시뮬레이션 설정

1. NS-2 네트워크 시뮬레이터

본 논문에서 제안한 ME-LEACH 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 네트워크 프로토콜들을 네트워크 시뮬레이터인 NS-2 [30]에서 이를 구현하고 기존의 LEACH 프로토콜과 비교하였다.

a. 에너지 모델

시뮬레이션에서 노드의 에너지 소비량을 측정하기 위해 다음 표 1과 같은 에너지모델을 적용하였으며, 이 에너지 모델은 기존 LEACH 에서의 에너지 모델과 같다.

여기서 정의되는 항목은 전송에 필요한 에너지양과 idle, sleep 모드에서의 기본적인 에너지 소모량이며, 시뮬레이션 경과에 따라 에너지 소모 정도를 결정할 요소들이다.

```
#######################################################
 Energy Models
#######################################################
# Efriss_amp = RXThresh * (4pi)^2 / (Rb Gt Gr lambda^2)
set opt(Efriss_amp)    [expr [expr 1.1 * $opt(RXThresh) * 16 * $PI * $PI] / ₩
                             [expr $opt(bw) * $opt(Gt) * $opt(Gr) * $l * $l]]
# Etwo_ray_amp = RXThresh / (Rb Gt Gr ht^2 hr^2)
set opt(Etwo_ray_amp) [expr 1.1 * $opt(RXThresh) / ₩
                       [expr $opt(bw) * $opt(Gt) * $opt(Gr) * ₩
                             $opt(ht) * $opt(ht) * $opt(ht) * $opt(ht)]]
set opt(EXcvr)          50e-9              ;# Energy for radio circuitry
set opt(e_bf)           5e-9               ;# Beamforming energy (J/bit)
set opt(Esense)          0                 ;# Sensing energy (J/bit)
set opt(thresh_energy) 0.00                ;# Threshold for power adaptation
set opt(Pidle)          0                  ;# Idle power (W)
set opt(Psleep)          0                 ;# Sleep power (W)
```

표1. 에너지 모델 설정

그리고 기본적인 헤더의 크기와 데이터 신호의 크기를 다음 표 2와 같이 정의 하였다. Slot-time 의 경우 CDMA 방식을 사용하기에 spread-spectrum을 적용하여 계산되며, 이를 바탕으로 frame-time을 설정하게 된다.

전파 전송에 관련된 수치는 receive threshold 의 경우 1[nW], success threshold 의 경우 6[nW]로 제한 하였다. 그리고 주파수 대역폭은 914 Mhz 로 설정 하였다. 다음 그림은 tcl 파일에 정의된 기본적인 에너지 모델과 기본적인 스크립트 옵션이다.

```
# ==========================================================================
# Default Script Options
# ==========================================================================
set opt(hdr_size)      25                    ;# Bytes for header
set opt(sig_size)      500                   ;# Bytes for data signal
# Packet transmission time
set opt(slot_time)     [expr [TxTime [expr $opt(sig_size)+$opt(hdr_size)]]]
# Spread-spectrum packet transmission time
set opt(ss_slot_time) [expr $opt(slot_time) * $opt(spreading)]
# Maximum TDMA frame time (if all nodes in one cluster)
set opt(frame_time)    [expr $opt(ss_slot_time) * $opt(nn_)]
set opt(ch_change)     [expr 10 * $opt(init_energy)]  ;# Time for each round
set opt(check_energy) 10                              ;# Time btwn energy traces
set opt(freq)          914e+6                ;# Carrier frequency
set opt(L)             1.0                   ;# System (non-propogation) loss
set opt(Gt)            1.0                   ;# Tx antenna gain
set opt(Gr)            1.0                   ;# Rx antenna gain
set opt(ht)            1.5                   ;# Antenna height
set opt(CSThresh)      1e-9                  ;# Receive threshold is 1 nW
set opt(RXThresh)      6e-9                  ;# Success threshold is 6 nW
set PI                 3.1415926
set l                  [expr 3e8 / $opt(freq)]    ;# Wavelength of carrier
```

표2. 기본적인 스크립트 옵션

b. 시뮬레이션 파라미터

ME-LEACH를 위한 라우팅 프로토콜 시뮬레이션을 위해 표 3과 같이 네트워크 구성과 토폴로지를 정의하였다. 전체 클러스터의 수는 node의 5%인 5개로 정하였고, 노드들의 초기 에너지 값은 2J로 정의 하였다. 이는 실험의 비교 대상인 LEACH와 동일한 구성을 갖고 있다. 같은 환경에서의 비교를 위하여 기존 LEACH 프로토콜 시뮬레이션과 같은 환경을 만들었다.

기본적으로 에너지는 2J일 때 전체 시뮬레이션 시간은 500 - 600초 정도 실행된다. 그리고 전체 필드 사이즈는 100 x 100 [m] 로 설정하였고 BS의 위치는 전체 영역에서 약간 벗어난 75, 150 에 위치하게 나타내었다. 마지막으로 전체 노드의 개수는 101개로 100개는 일반 노드가 되고, 1개는 base station을 위한 노드가 된다. 좌표는 랜덤하게 만든 101개의 좌표를 바탕으로 시뮬레이션 설정이 구성된다.

표3. 시뮬레이션을 위한 설정

파라미터	값 (단위)
num_clusters	5
init_energy	2 (J)
field size (X)	100 (m)
field size (Y)	100 (m)
Base station location	75, 150
Number of nodes	101

c. MAC 프로토콜

LEAHC에서의 MAC 프로토콜은 LEACH 자체에서 사용하는 sensor-MAC 이라는 프로토콜을 사용한다. sensor-MAC은 기본적으로 데이터가 충돌이 나게 되면 지연시간을 통해 다음 기회에 데이터가 전송하게 되게끔 하였다. 그리고 동시에 데이터가 한 노드로 전송이 되면 서로 충돌이 나게 되어 해당 패킷은 버리게 설정 되어있다.

B. 시뮬레이션 및 결과 분석

본 논문은 클러스터링 기반의 LEACH 프로토콜을 기반으로 하여 노드의 이동성을 지원할 수 있는 ME-LEACH를 제안하였다. 데이터 전송 성공률 비교를 위하여 이동성 노드의 개수에 따른 비교와 노드의 스피드에 따른 비교를 병행하였다.

먼저 이동성 노드의 개수에 따른 전송 성공률에 따른 그래프다.

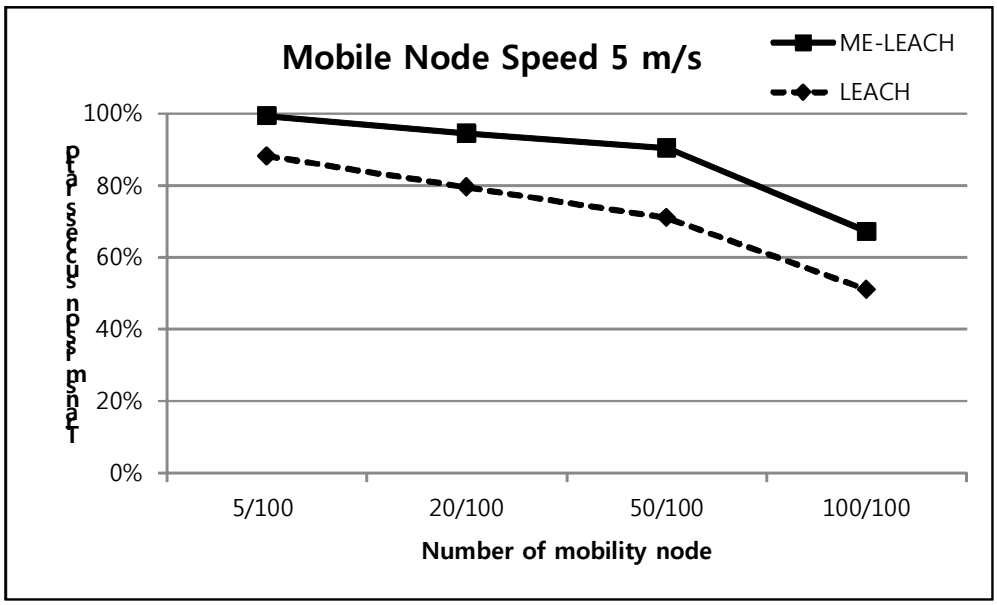

그림 15. 노드의 속도가 5m/s 일 때 전송 성공률

그림 15를 보면 움직이는 노드의 개수가 높을수록 데이터 전송 성공률을 낮아지는걸 볼 수 있다. 성공률의 비교는 LEACH의 데이터 전송 성공률과 ME-LEACH의 데이터 전송 성공률의 차이값을 비교하여 설명한다. 이동하는 노드가 5개 일 때는 약 15%, 20개 일 때는 18%, 50개 일 때는 20%, 100개 일 때는 19% 정도의 성공률을 보인다. 노드의 속도가 느린 상황 (5 m/s)이므로 노드가 움직이는 범위는 클러스터 영역 내에서 움직일 확률이 높기 때문에 LEACH에서 일정한 전송 성공률을 나타낸다. 반면 ME-LEACH 에서는 LEACH 에서보다 높은 성공률을 보이다가 전체 노드가 움직일 때는 전송 성공률은 많은 효과가 없다. 이는 움직이는 노드가 늘어나게 되면서 새로운 클러스터를 구성함에 있어 join-REQ 메시지를 많은 노드들이 전송하게 되면 새로운

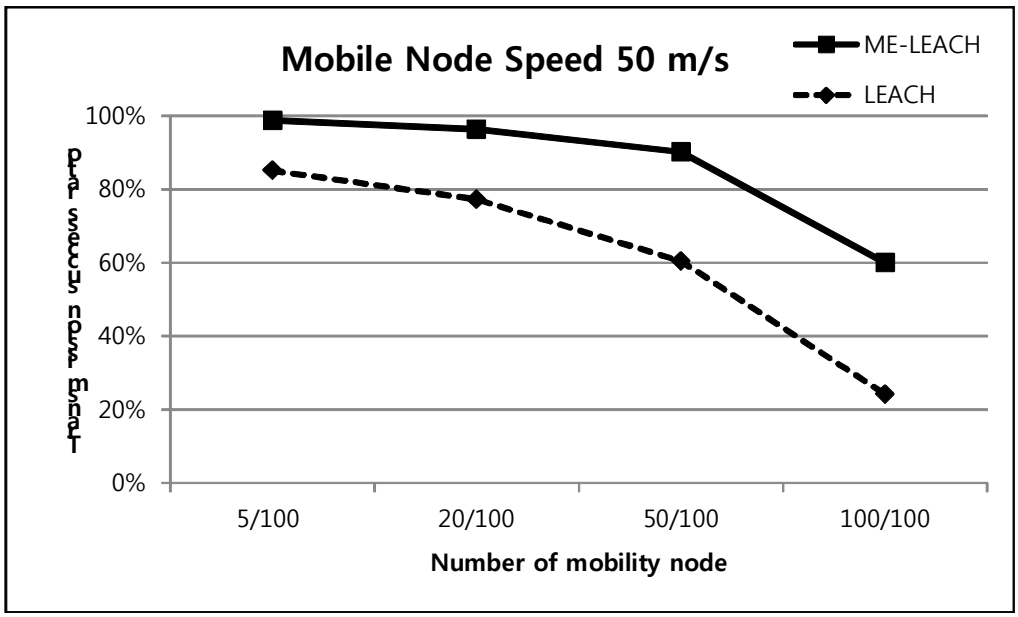

그림 16. 노드의 속도가 50m/s 일 때 전송 성공률

스케줄구성을 위해 짧은 시간동안에 많은 데이터를 전송하게 되어 그로 인한 충돌이 많아져 높은 전송 성공률을 얻기 힘들게 된다.

그림 16과 같이 노드의 속도가 올라가면 노드는 클러스터 영역을 쉽게 벗어날 확률이 높기 때문에 ME-LEACH 가 훨씬 나은 결과를 보이게 된다. 일반적으로 실제 적용되는 모델에서는 움직임이 급격하고 이동성이 큰 노드의 데이터 전송 성공율을 보장하게 됨으로 이동성이 높을때의 전송 성공률이 좋은 ME-LEACH 가 이동성 환경에 효율적으로 사용될 수 있다.

다음은 노드의 속도와 움직임을 갖는 노드의 개수에 따라 LEACH와 ME-LEACH의 전송 성공률을 비교한 그림들이다.

그림 17의 경우 움직이는 노드가 5개 일 때 ME-LEACH가 LEACH 보다 평균 12%의 데이터 전송 성공률을 보이고 있다. 그림 18와 같은 움직이는 노드의 개수가 많은 경우에는 움직이는 노드가 적을 때 보다 9%이상 향상된 결과를 갖게 된다. 그림 20의 경우 속도가 5m/s 때와 10m/s 일때를 제외하고는 평균 30% 이상 성공률을 보인다. 마지막으로 그림 21의 경우 노드 전체가 움직이는 상황에서 ME-LEACH의 전체적인 데이터 성공률을 평균 60% 정도이며, LEACH 의 경우 30~40%의 저조한 성공률을 보인다.

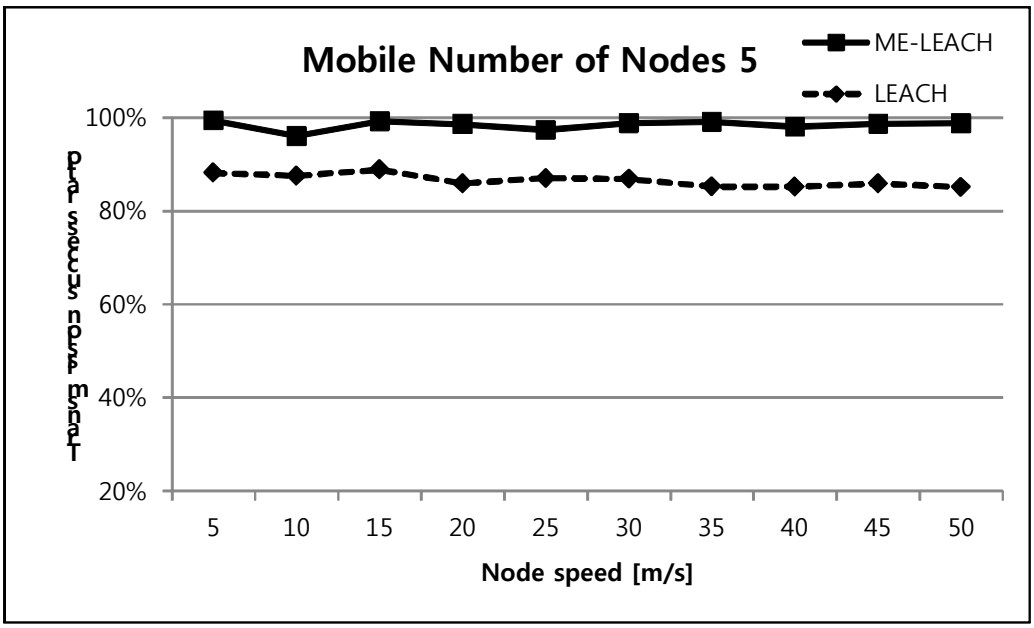

그림 17. 움직이는 노드의 개수가 5개 일 때 전송 성공률

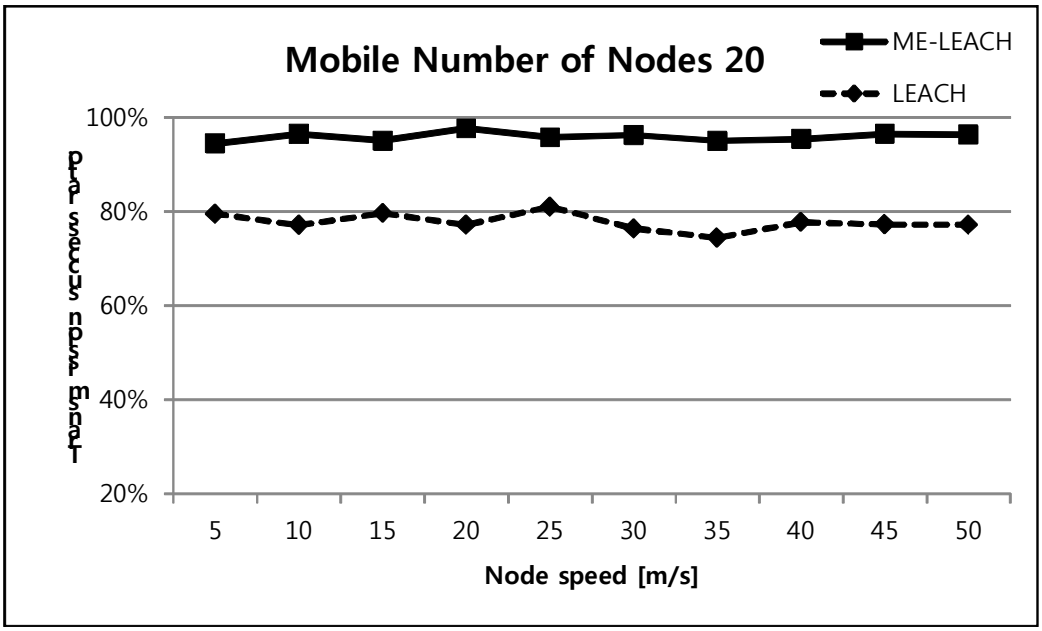

그림 18. 움직이는 노드의 개수가 20개 일 때 전송 성공률

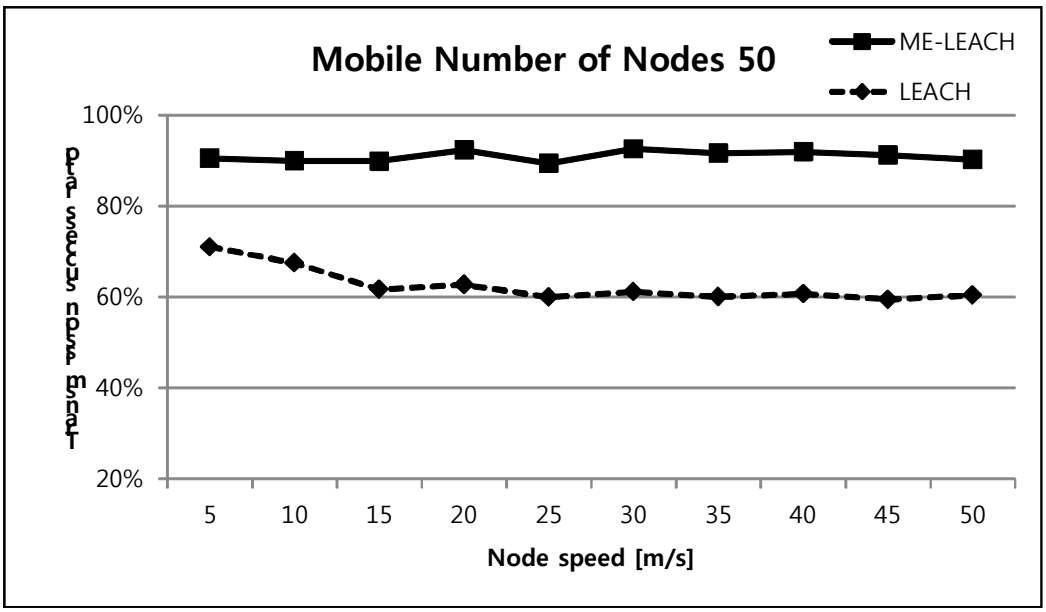

그림 19. 움직이는 노드의 개수가 50개 일 때 전송 성공률

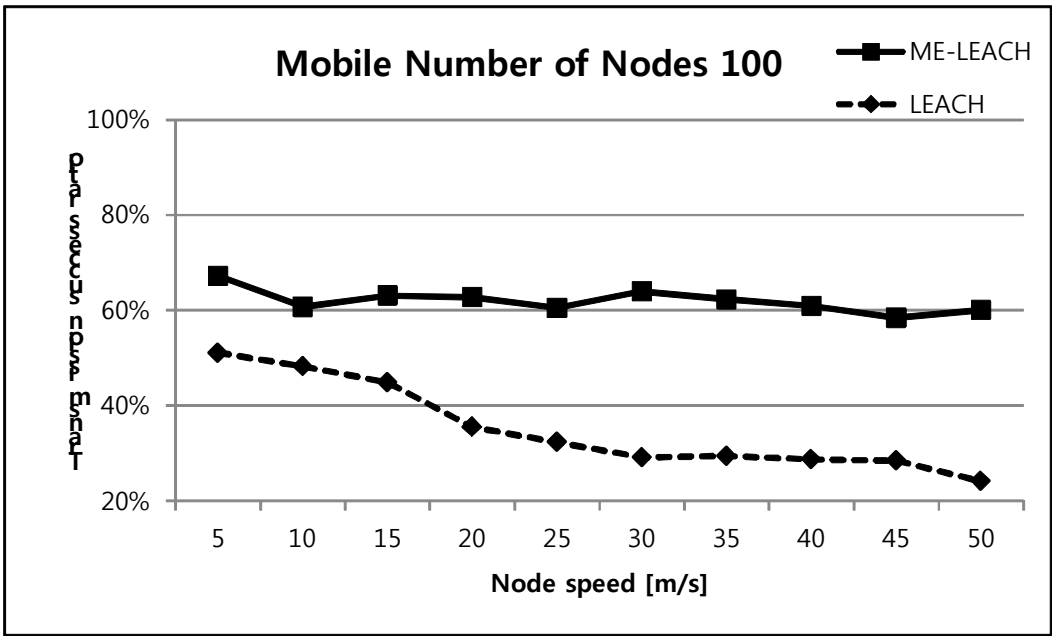

그림 20. 움직이는 노드의 개수가 100개 일 때 전송 성공률

위의 그림 17~20을 보면 이동하는 노드의 개수가 많을수록, 그리고 노드의 움직이는 속도가 높을수록 데이터 성공률이 낮게 나오는걸 알 수 있다. LEACH 에서는 정해진 클러스터 영역을 벗어나게 되면 더 이상 데이터를 전송할 수 없게 되고, 다음 클러스터 구성때 까지 전송하고자하는 데이터를 전송 할 수 없게 된다. 이에 반해 ME-LEACH는 한 라운드 동안에 3번의 위치 탐색과 함께 새로운 클러스터 영역으로의 참여 기회가 주어지게 됨으로 좀 더 높은 데이터 전송 성공률을 보이게 된다.

위의 데이터는 움직임이 있는 노드뿐만 아니라 움직임을 갖지 않는 노드를 포함한 전체 시뮬레이션 시간 동안의 전송 성공률이므로 움직임을 갖는 노드들만의 성공률 보다는 다소 차이가 있다.

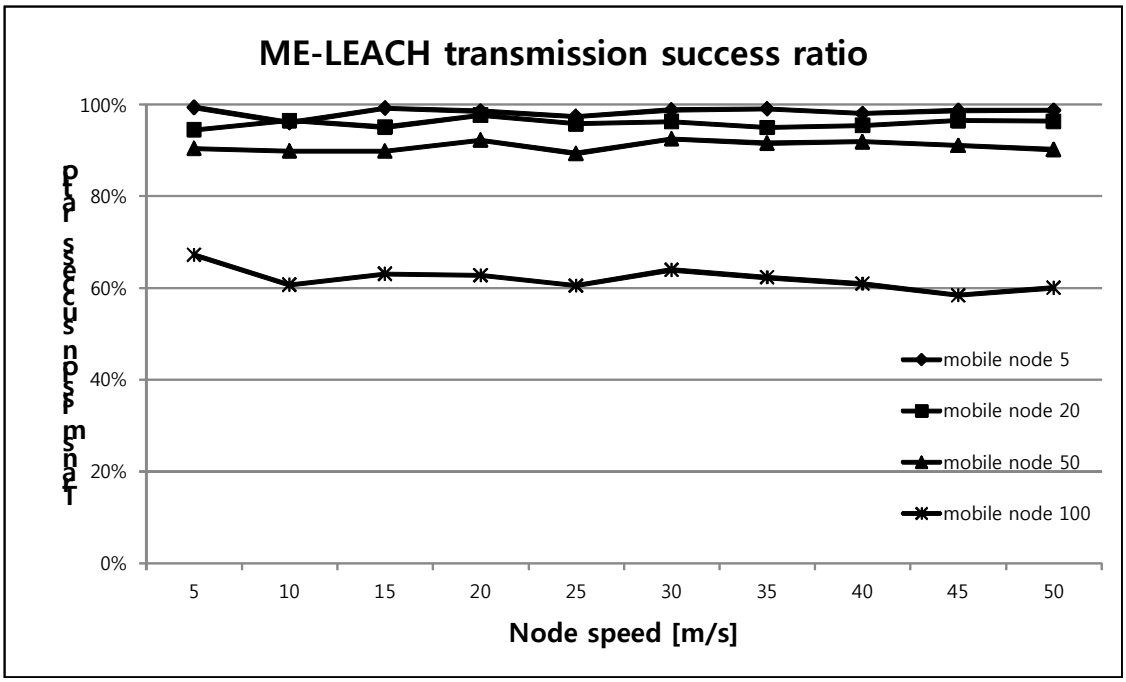

그림 21. 움직이는 노드 개수에 따른 ME-LEACH의 전송 성공률

그림 21은 ME-LEACH에서 노드의 움직이는 개수에 따른 데이터 전송 성공률을 나타 내었다. 그림에서 보듯이 움직이는 노드의 개수가 100개가 되면 다른 상황보다 현저히 낮은 성공률을 볼 수 있다. 이는 움직이는 노드의 개수가 많아짐에 따라 새로운 클러스터 영역에 join하려는 노드의 수가 많아져 재구성이 이루어지는 짧은 시간동안 데이터 충돌이 발생하게 되어 노드의 join이 제대로 이루어지지 못해 전체적인 성공률 저하를 불러오게 된다.

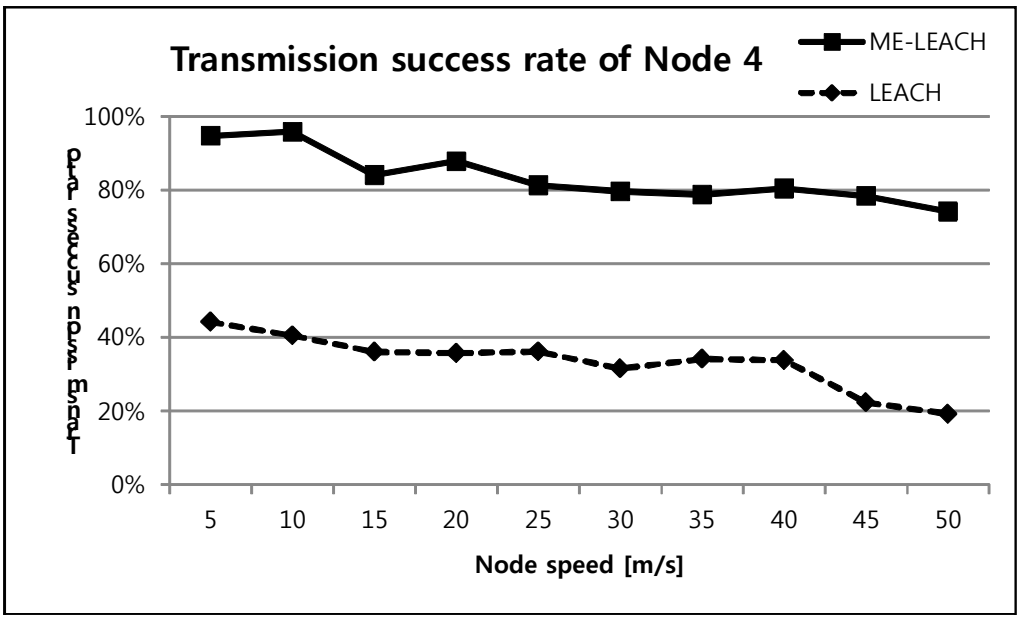

그림 22. 노드 4의 속도에 따른 전송 성공율

그림 22는 이동성을 갖는 4번 노드의 데이터 전송 성공률 보여주고 있다. 단일 노드의 성공률을 비교해보면 LEACH 비해 ME-LEACH의 데이터 전송 성공률이 50% 이상 높은 것을 볼 수 있다. 움직이는 속도가 15 m/s일때를 제외하고는 평균적으로 50~60% 이상 효율이 좋다. LEACH 뿐만 아니라 ME-LEACH 또한 움직이는 속도가 높아질수록 전송 성공률이 낮아지지만, ME-LEACH 의 경우 움직이는 속도가 높아도 77% 정도의 성공률을 보여준다. 반면, LEACH의 경우 20%로 현저히 낮아져 이동성 노드의 데이터 전송 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

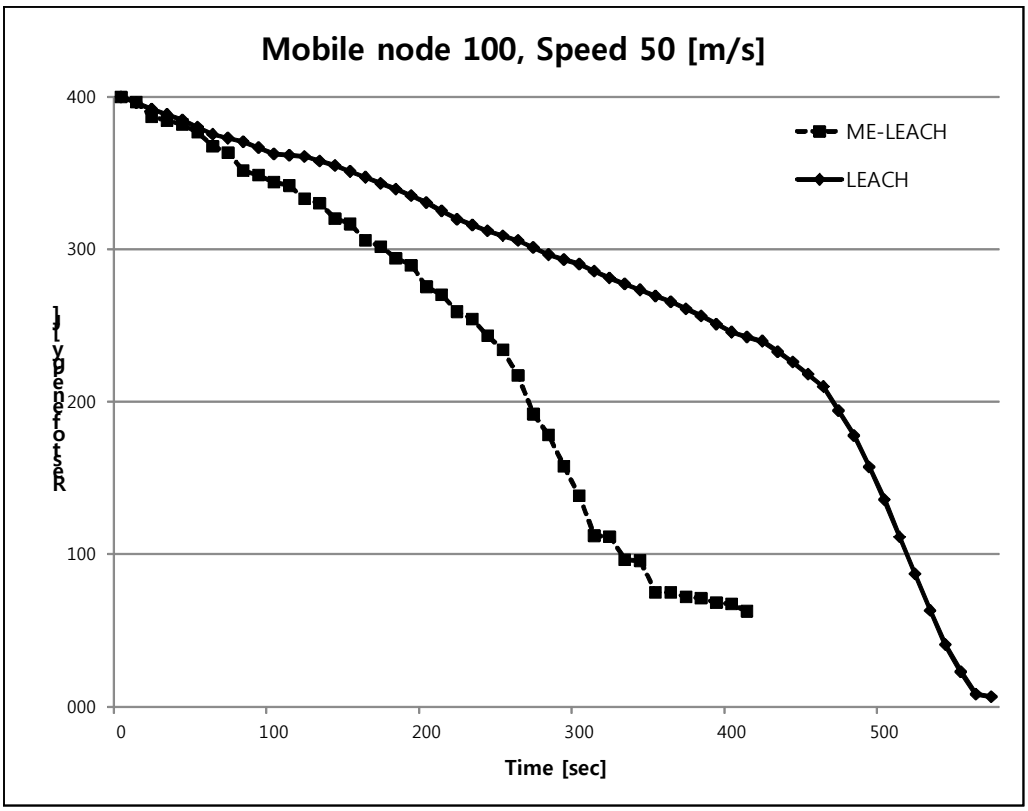

그림 23. LEACH와 ME-LEACH의 에너지 소모량

그림 23는 LEACH와 ME-LEACH 간의 에너지 소모를 비교한 결과이다. ME-LEACH는 노드의 이동성이 부여된 상황에서 5초마다의 beacon 신호의 전송과 LEACH보다는 더 많은 wake-up 시간으로 인해 LEACH 보다는 라이프 타임이 짧은 것을 볼 수 있다.

그림 24와 25의 그래프를 보면 이동하는 노드의 개수가 50개일 때가 100개 일 때보다 에너지 소모측면에선 양호하게 나오는 걸 볼 수 있다. 이를 통해 ME-LEACH에서 이동성 노드의 개수가 많아질수록 에너지 소모가 늘어나는걸 알 수 있다. 하지만, ME-LEACH의 경우 LEACH 보다 안정적인 데이터 전송 환경을 제공하여, 다소의 에너지 소모를 감수 하더라도 이동성 환경에 적합함을 데이터 성공률을 통해 알 수 있다.

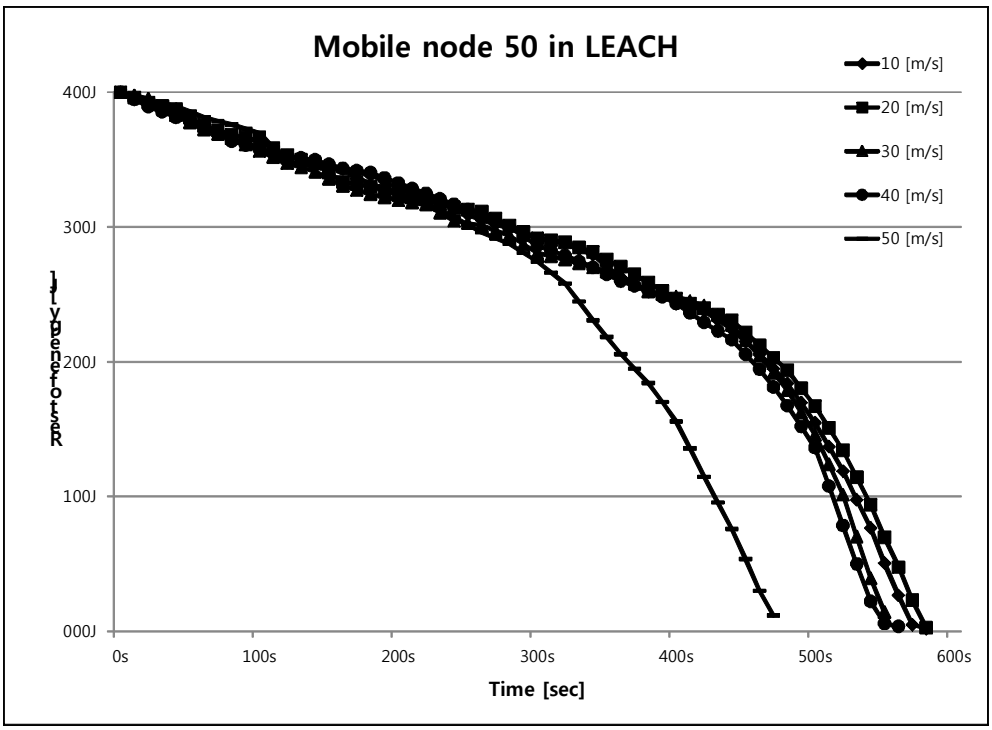

그림 24. LEACH에서 Mobile node가 50개 일 때 에너지 소모량

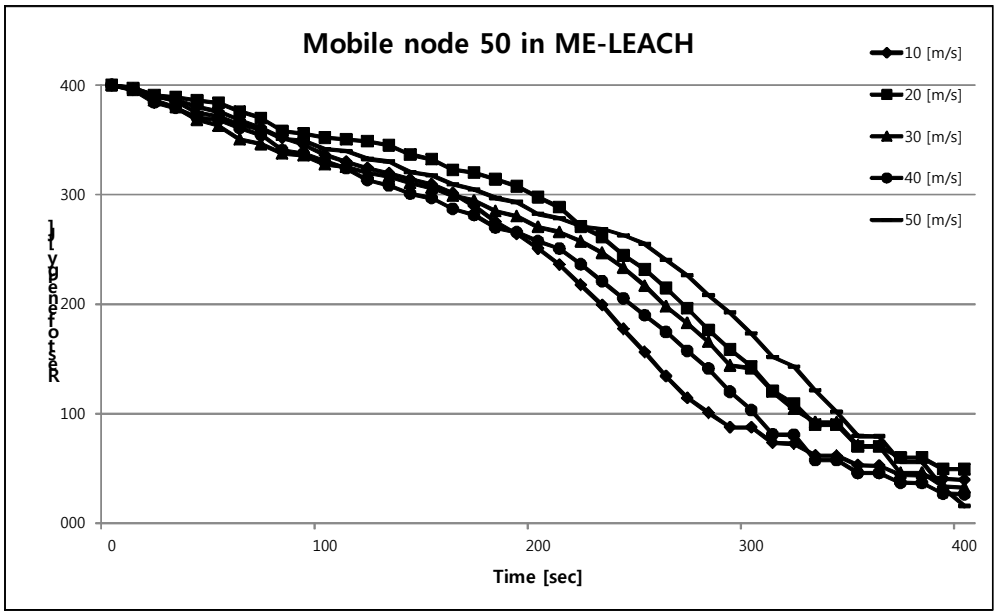

그림 25. ME-LEACH에서 Mobile node가 50개 일 때 에너지 소모량

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 이동성 노드 환경의 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 기존의 무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜인 LEACH와 제안하는 라우팅 프로토콜인 ME-LEACH의 성능을 테스트 하였다. 테스트 환경은 노드의 움직이는 속도에 따른 데이터 전송 성공률 비교와 움직이는 노드의 숫자에 따른 데이터 전송 성공률을 비교 하였다. 노드가 5m/s의 움직임을 갖고 움직이는 노드의 숫자가 5개인 상황에서 LEACH의 경우 85%의 성공률을 보인반면 ME-LEACH의 경우 99%의 성공률을 보였다. 움직이는 노드의 숫자를 전체 노드 중 5개로 하고 움직이는 속도를 변화 시켰을 때 LEACH의 경우 평균 85%의 성공률을 보인 반면 ME-LEACH는 평균 98%의 높은 성공률을 보였다. 또한, 모든 노드가 움직임을 갖는 상황에서 LEACH의 경우 평균 30%의 성공률을 보인 반면 ME-LEACH는 LEACH의 2배가 넘는 평균 62%의 성공률을 보였다. 하지만, ME-LEACH는 움직이는 노드의 숫자가 증가하게 되면 전체적인 데이터 전송 효율이 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 움직이는 노드가 많아지면 그만큼 클러스터를 재구성할 상황이 많아지고 동시에 많은 노드들이 beacon phase 동안 데이터를 주고받기 때문에 충돌되는 데이터가 많아져 효율적인 클러스터 구성이 어렵게 되어 높은 데이터 전송 성공률을 보여주지 못하였다.

에너지 소모 측면에서 LEACH와 ME-LEACH의 비교를 보면 LEACH의 경우 노드의 생존시간이 500초 이상을 유지하는 반면 ME-LEACH의 경우 평균적으로 300초 정도였다. 하지만, 에너지 소모의 증가라는 희생을 감수 하더라도 데이터 전송 성공률을 높여 사용자에게 정확한 데이터를 제공 할 수 있기에 ME-LEACH가 이동성 환경의 무선 센서 네트워크에 적합하다고 생각된다. 이렇듯 데이터 전송 효율이 높은 ME-LEACH는 이동성 무선 센서 네트워크 환경에서 GPS를 사용하지 않고 저렴한 유지비를 바탕으로 효율적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 환자의 상태를 실시간 모니터링하는 헬스케어 환경에서 환자의 움직임과 상관없이 언제 어디서나 실시간으로 상태를 체크하여 환자에게 우수한 서비스를 제공할 수 있다.

본 연구를 바탕으로 데이터 전송 성공률을 좀 더 높일 수 있는 방법을 모색하고, 에너지 소모 또한 줄일 수 있는 방법을 연구하여 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 설계할 예정이다.

참고 문헌

[1] I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," Comm. IEEE. vol. 40, No. 8, pp. 102-114, 2002.

[2] 정훈, 이종오, 이종영, 박노성, 진광자, 김봉수, "센서 네트워크 기술 동향," ETRI, 전자통신동향분석, 제22권 제3호, pp. 80-89, Jun. 2007.

[3] G. Santhosh Kumar, Vinu Paul M V, and K.Poulose Jacob, "Mobility Metric based LEACH-Mobile Protocol," 16th International Conference on Advanced Computing and Communications, ADCOM, pp. 248-253, 2008

[4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient routing protocols for wireless microsensor networks," IEEE Trans. Wireless Commun, vol. 1, no.4, 2002.

[5] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Network," Wireless Networks, vol. 8, pp. 169-185, 2002.

[6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Direceted Diffusion: a Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proc. ACM mobiCom, pp. 56-67, 2000.

[7] Manjeshwar A and Agrawal DP, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," 15th International Parallel and Distributed Processing symposium, San Francisco pp. 2009-2015, Apr. 2001.

[8] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of Sensor Networks," IEEE Computer, vol. 37, no. 8, pp. 41-49, Aug. 2004.

[9] D. Nam and H. Min, "An Energy-Efficient Clustering Using a Round-Robin Method in a Wireless Sensor Network," Proc. of the 5th SERA, pp. 54-60, Oct. 2007.

[10] A. Manjeshwar and D.P.Agarwal, "APTEEN: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks," Parallel and Distributed Processing Symposium., IPDPS, pp. 195-202, 2002.

[11] S.Lindesy and C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," IEEE Aerospace Conference Proceedings, vol. 3, pp. 1125-1130, 2002.

[12] 장일영, 신수영, 박현문, 박수현, "듀얼 슈퍼 클러스터 헤드 기반 해양 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜," 한국 시뮬레이션 학회 논문지, vol. 15, no. 4, pp. 87-96, Dec, 2006.

[13] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing," ACM MOBICOM, pp. 70-84, 2001.

[14] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," UCLA Computer Science Department Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, 2001.

[15] I.F. Akyildiz, T. Melodia, and K.R. Chowdury, "Wireless multimedia sensor networks: A survey," Wireless Communications, IEEE, vol.14, pp.32-39, 2007.

[16] W. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," Ph.D. dissertstion, Mass Inst. Technol, Cambridge, pp. 1-154, Jun, 2000.

[17] T. Camilo, JS. Silva, and F. Boavida, "Assessing the use of ad-hoc routing protocols in Mobile Wireless Sensor Networks," presented at CSMU pp. 61-29, 2006.

[18] I. Demirkol, C. Ersoy, and F. Alagoz, "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey," IEEE Commun. Mag., vol. 44, no. 4, pp. 115-121, Apr. 2006.

[19] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in IEEE INFOCOM , vol. 3, pp. 1567-1576, Jun, 2002.

[20] M. Liliana, C. Arboleda, and N. Nasser, "Cluster-based Routing Protocol for Mobile Sensor Networks," the 3rd Int. Conf. on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks, Waterloo, Ontario, Canada, 2006.

[21] B. Ren, J. Ma, C. Chen, 2006, "The Hybrid Mobile Wireless Sensor Networks for Data Gathering," presented at ACM, 2006.

[22] Cesare Alippi, Giovanni, "A RSSI-based and calibrated centralized localization technique for Wireless Sensor Networks," PerCom Workshops, pp. 301-305, 2006.

[23] Christoph Weyer, Stefan Unterschütz und Volker Turau. "Connectivity-aware Neighborhood Management Protocol in Wireless Sensor Networks," In Proceedings of the 7th GI/ITG KuVS Fachgespräch "Drahtlose Sensornetze" (FGSN'08), Berlin, Germany. Sep, 2008.

[24] 임철우, 김영락, 강병욱, "무선 센서 네트워크에서의 노드 위치 추정," 전자공학회 논문지, 제46권 CI편, 제3호, pp. 123-129, 2009.

[25] D.H. Shin and T.K. Sung, "Comparisons of Error Characteristics between TOA and TDOA positioning," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 38, no. 1, pp. 307-311, Jan, 2002.

[26] Kannan Srinivasan and Philip Levis, "RSSI is Under Appreciated," In Proceedings of the Third Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets 2006), May, 2006.

[27] Jyh-Cherng, Tzu-Yun Lai, "Study of Routing path reliability for static outdoor wireless sensor network in ecologocal monitoring," Proceeding of the 5th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), Apr, 2010

[28] N. Gautam, W.-I. Lee, and J.-Y. Pyun, "Track-Sector Clustering for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," Ninth IEEE International Conference on Computer and Information Technology, vol. 2, pp.116-121, 2009

[29] N. Gautam, W.-I. Lee, and J.-Y. Pyun, "Dynamic Clustering and Distance Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," 6th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks, pp.9-14, 2009

[30] NS-2 website, http://www.isi.edu/nsnam/ns/

[31] The MIT uAMPS ns Code Extensions Version 1.0, http://www-mtl.mit.edu/researchgroups/icsystems/uamps/research/leach/leach_code.shtml