

데이터 전송방향을 고려한 센서네트워크 클러스터링 방법

준회원 조 오 형*, 정회원 권 태 욱*

Data Direction Aware Clustering Method in Sensor Networks

O-Hyoung Jo* Associate Member, Tae-Wook Kwon* Regular Member

요 약

무선 센서 네트워크(WSN)에서는 저가 및 저 전력 센서를 활용하기 때문에 센서의 임무를 성공적으로 수행하면서 적은 에너지를 소모하는 것이 중요한 문제로 부각 된다. 기존의 계층적 WSN 알고리즘들에서 나타나는 제한점은 데이터 진행방향에 대한 역방향 전송이 이루어 질수 있다는 것이다. 본 논문은 데이터 방향성을 고려한 DDACM(Data Direction Aware Clustering Method) 방법을 제안한다. 데이터 역방향 전송 방식을 위해 클러스터 헤더는 데이터 전송 방향에서 싱크노드와 가장 가까운 노드가 먼저 임명되고, 에너지 레벨이 일정량 이하 시 클러스터 헤더를 교체하는 방법을 제안한다. 실험을 통하여 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)방식과 비교하여 데이터 역방향 전송을 최소화하여 에너지 소모를 줄일 수 있음을 확인하였다.

Key Words : WSN, Direct Communication, Direct Diffusion, MTE; SPIN, LEACH, TEEN, APTEEN, DDACM

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks(WSN) make use of low cost and energy constrained sensor nodes. Thus, reaching the successful execution of its tasks with low energy consumption is one of the most important issues. The limitation of existing hierarchical algorithms is that many times the data are transmitted to the opposite direction to the sink. In this paper, DDACM (Data Direction Aware Clustering Method) is proposed. In this method, the nearest node to the sink is elected as cluster head, and when its energy level reaches a threshold value, the cluster head is reelected. We also make a comparison with LEACH showing how this method can reduce the energy consumption minimizing the reverse direction data transmission.

I. 서 론

WSN(WSN: Wireless Sensor Network) 기술은 최근 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅을 실현하기 위해 가장 중요한 요소로 자리 잡아 가고 있다. 일반적인 WSN의 구조는 그림 1의 형태를 나타낸다. 기존 클러스터링 기법은 싱크노드의 위치에 따라 데이터 전송방향 대비 역방향 전송 발생으로 인해 불필요한 에너지 소모가 발생하는 제한점을 가지고 있다.

데이터 전송 간 에너지 소모의 가장 중요한 요소는 거리로서 에너지 소모는 거리의 제곱에 비례하

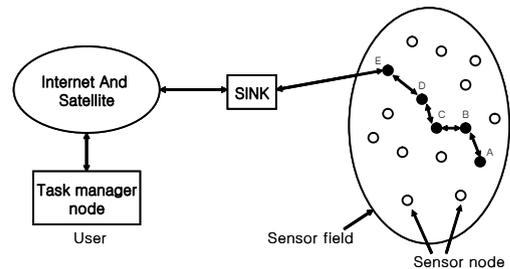


그림 1. WSN의 구조
Fig. 1. Wireless Sensor Network Structure

기 때문에 클러스터 헤드와 싱크노드와의 거리는

* 국방대학교 국방관리대학원 NGN연구실(whdhgud@naver.com, kwontw9042@hanmail.net)
논문번호 : KICS2009-04-147, 접수일자 : 2009년 4월 8일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 15일

클러스터 헤드의 에너지 소모와 직접적인 연관 관계가 있다. 본 논문에서는 에너지 효율적인 라우팅 경로를 설정하기 위해 데이터 전송방향을 고려한 클러스터링 기법인 DDACM(Data Direction Aware Clustering Method)을 제안한다. 이는 클러스터 헤드와 싱크노드간의 거리 최소화와 데이터 역방향 전송방향을 통한 효율적인 에너지 소모를 유도하는 것이다.

II. 관련연구

WSN의 라우팅 기법에 대한 연구동향은 크게 평면-기반 라우팅과 클러스터-기반 계층적 라우팅 프로토콜로 구분 할 수 있다.

평면-기반 라우팅은 네트워크를 하나의 영역으로 판단하여 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여하는 기법으로 이를 대표하는 연구로 Direct Communication^[1], Direct Diffusion^[2], MTE^[3], SPIN^[4] 등이 있다.

반면에 클러스터-기반의 계층적 라우팅 방식은 네트워크를 클러스터 단위의 다수의 영역으로 분할하여 라우팅을 하는 기법으로, 이는 WSN에서 인접한 노드간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위한 data aggregation을 기초한 라우팅 기법이다. 즉, 로컬 클러스터를 형성함으로써 인접한 지역에서 발생한 사건에 대한 유사한 정보를 클러스터 헤드로 전송하고 클러스터 헤드가 데이터 모음을 수행하여 보다 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 하며, 요청된 질의에 대한 클러스터 헤드에 의한 전달로 비효율적인 질의의 플러딩을 막을 수 있는 장점이 있으며, 관련된 대표적 연구로 LEACH^[1], TEEN^[5], APTEEN^[6] 등이 있다.

본 논문에서는 이중 가장 대표적인 Direct Communication, MTE 그리고 LEACH에 대하여 분석하고 LEACH 프로토콜을 중심으로 비교 분석한다.

2.1 Direct Communication 프로토콜

Direct Communication 프로토콜^[1]은 각 센서 노드에서 데이터를 싱크노드로 직접 전송하는 라우팅 방식이다. Direct Communication의 동작방식은 그림 2와 같다.

그림 2에서 싱크노드에서 거리가 먼 노드일수록 더 빨리 에너지가 소모되는 모습을 보여 준다. 전송시 노드의 에너지 소모는 아래의 식 (1)과 같이 거리의 제곱에 비례하기 때문에 그만큼 거리가 먼 노

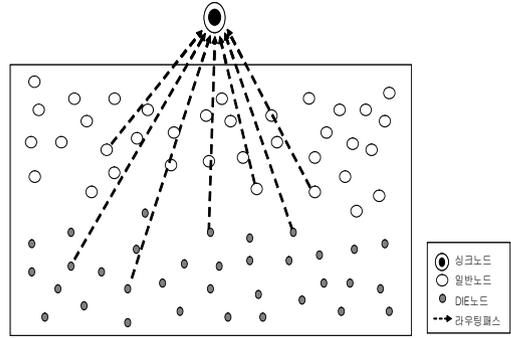


그림 2. Direct Communication 동작
Fig. 2. Direct Communication Operation

드는 많은 에너지가 소비되어 조기 소멸하게 된다. 아래 식에서 $E_{tx}(k,d)$ 는 k bit의 데이터를 d 거리로 전송시 에너지 소모량을 나타내며, E_{elec} 는 송/수신 전력(Transmitter/Receiver Electronics)를 그리고 ϵ_{amp} 는 데이터전송 증폭전력(Transmit Amplifier)을 의미한다(그림 12 참조).

$$E_{tx}(k,d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \quad (1)$$

또한 모든 센서 노드가 싱크노드까지 직접 보고 하기 위해서는 센서 전송반경 범위를 넘길 수 없기 때문에 제한적인 네트워크 토폴로지를 유지할 수밖에 없다. 하지만 Direct Communication은 이벤트 발생 시 다른 노드를 거치지 않기 때문에 데이터 처리속도가 매우 빠를 뿐만 아니라 최단경로 라우팅으로 전송지연이 발생하지 않아 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하기 때문에 센서노드들이 싱크노드와 가까운 곳에 있다면 효율적인 프로토콜이 될 수 있다.

2.2 MTE(Minimum Transmission Energy)

MTE 라우팅 프로토콜^[3]은 센서노드에서 목적지인 싱크노드로의 데이터 전송을 위해 중간노드를 거쳐 전송이 이루어지는 방식이다. MTE는 센서 노드 전송범위 한계점을 극복하여 여러 노드를 거침으로서 훨씬 큰 네트워크를 구현할 수 있다. 그림 3은 MTE 라우팅 프로토콜의 동작방식을 나타낸다. 아래 그림은 싱크노드와 가까운 거리에 있는 노드일수록 더 빨리 소멸되는 모습을 보여준다. 싱크노드와 가까운 거리에 있는 노드가 에너지 소모가 많은 이유는 더 많은 데이터를 처리하기 때문이다.

MTE 라우팅 프로토콜은 어떤 위치에서의 센서 노드로부터 데이터가 전송 되더라도 싱크노드의 인

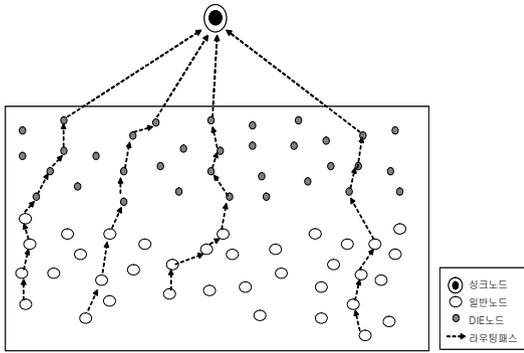


그림 3. MTE 라우팅 프로토콜 동작
Fig. 3. MTE Routing Protocol Operation

근 노드를 거치기 때문에 먼 거리에 있는 노드와 비교해서 훨씬 더 빨리 에너지 소모가 되는 모습을 보여 준다. 만약 싱크노드와 가까운 거리에 있는 노드의 단절은 곧 네트워크 전체의 단절을 의미하기 때문에 비효율적인 네트워크가 될 수 있다. 하지만 MTE 라우팅 프로토콜은 Direct Communication과 비교하여 더 큰 네트워크 토폴로지를 유지할 수 있다는 장점이 있다.

2.3 LEACH 프로토콜

LEACH 프로토콜^[1]은 스스로 망을 구축할 수 있으며 네트워크의 센서들에게 에너지 부담을 골고루 분배하기 위한 무작위성을 사용하는 탄력적인 계층적 클러스터링 프로토콜이다. LEACH 프로토콜의 동작방식은 그림 4와 같다. 일반적인 클러스터링 알고리즘에서는 어떤 노드가 클러스터 헤드로 선택된다면 클러스터 안의 모든 노드에게서 데이터를 수신하게 되므로 에너지 소비량이 많아진다. 때문에 클러스터 헤드 노드의 기능은 빠른 시간 내에 장애가 발생하게 된다.

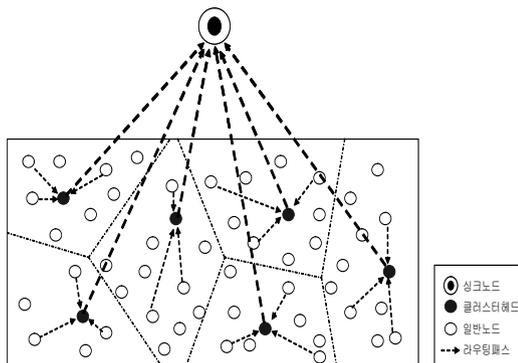


그림 4. LEACH 프로토콜 동작
Fig. 4. LEACH Protocol Operation

이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비의 공평한 분산을 위해, 에너지 소비가 집중되는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 지역적으로 데이터를 융합한다. LEACH 프로토콜은 광고단계(advertisement phase), 클러스터 설정단계(cluster set-up phase), 스케줄 생성(schedule creation), 데이터 전송(data transmission)의 4단계로 진행된다.

LEACH 프로토콜의 에너지 소비는 그림 5의 간단한 전파 모델을 사용한다. 계층적 센서 네트워크의 프로토콜들은 대부분 LEACH의 전파모델을 사용하고 있으며, 본 논문에서도 이를 이용한다. 전파 모델은 크게 데이터를 수신할 경우와 송신할 경우로 나뉜다. 데이터를 수신할 때는 수신기의 전자회로에서 소모되는 에너지를 다루고, 송신할 때는 송신기의 전자회로에서 소모하는 에너지와 전송할 데이터 신호를 증폭하기 위한 에너지를 다룬다.

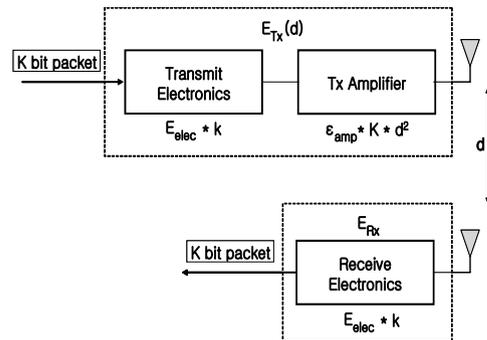


그림 5. LEACH 전파모델
Fig. 5. LEACH Propagation Model

III. DDACM 클러스터링 기법

3.1 기존 프로토콜 분석

계층적 라우팅 프로토콜은 일반노드, 클러스터 헤드, 싱크노드라는 계층을 이용하고 있다. 기존 계층적 라우팅 프로토콜의 문제점은 클러스터 헤드와 싱크노드간의 방향성을 고려하지 않은 클러스터 헤드의 위치로 전송 간 불필요한 에너지의 소비가 발생할 수 있다는 것이다. 그림 6은 기존 계층적 라우팅 프로토콜의 전형적인 모습이다.

위 클러스터링에서 에너지가 낭비되는 모습은 그림 7과 같다. 여기에서 a, b, c, d, e 노드는 싱크노드와 역방향의 데이터 전송이 이루어지고 있는 모습을 보여주고 있다. a노드는 중앙의 클러스터 헤드

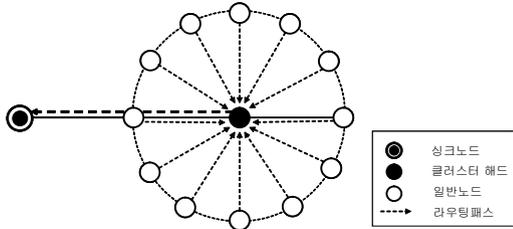


그림 6. 계층적 라우팅 프로토콜의 전형적인 형태
Fig. 6. Regular Situation of Hierarchical Protocol

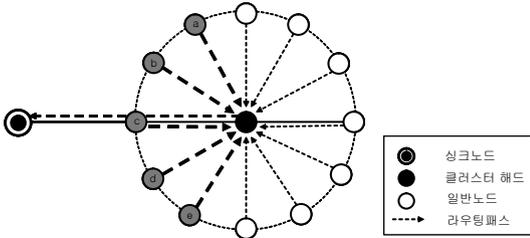


그림 7. 데이터의 역방향 전송
Fig. 7. Antidromic Data Transmission

를 거쳐 다시 싱크노드로 전송이 되고 있다. 다음 섹션에서는 클러스터 헤드의 위치별 전송거리를 계산해 보고자 한다.

3.2 클러스터 헤드 위치에 따른 전송거리

클러스터 헤드가 중앙에 위치하는 경우 그림 8의 클러스터 헤드와 각 노드와의 거리 r 반경을 적용하여 형태별 데이터 전송시의 거리를 비교해 보면 다음과 같다.

모든 노드(12개)가 동시에 데이터 전송시 거리는 $14r(12r(12\text{개노드}\times r)+2r(\text{클러스터 헤드와 싱크 간 거리}))$ 인 반면에, 각 노드가 별도로 데이터 전송시 거리는 $36r(3r(\text{각 노드가 클러스터 헤드를 거쳐 싱크노드로 가는 거리})\times 12)$ 이 된다.

반면에 클러스터 헤드가 클러스터의 맨 앞에 위치하는 경우인 그림 9의 전송거리는 모든 노드가 동시에 데이터 전송시 거리는 $16.16r((0.51r+r+1.41r+1.73r+1.93r)*2+2r+r)$ 인 반면에, 각 노드가 별도로 데이터 전송시 거리는 $27.16r((1.51r+2r+2.41r+2.73r+2.93r)*2+r+3r)$ 이 된다.

그러나, 클러스터 헤드가 클러스터의 맨 뒤에 위치하는 경우 그림 10의 전송거리는 모든 노드가 동시에 데이터 전송시 거리는 $18.16r((0.51r+r+1.41r+1.73r+1.93r)*2+2r+3r)$ 인 반면에, 각 노드가 별도로 데이터 전송시 거리는 $51.16r((3.51r+4r+4.41r+4.73r+4.93r)*2+5r+3r)$ 이 된다.

세 가지 결과를 종합하면 표 1과 같다. 거리 계

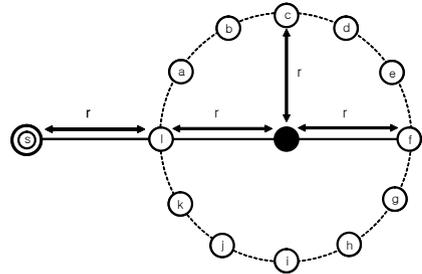


그림 8. 클러스터 헤드가 중앙에 있는 경우
Fig. 8. Cluster head at the Center

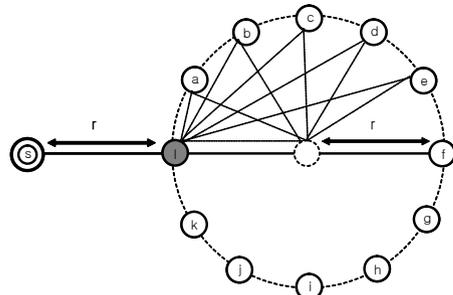


그림 9. 클러스터 헤드가 맨 앞에 있는 경우
Fig. 9. Cluster head at the Front

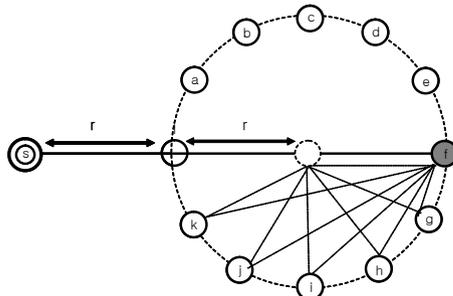


그림 10. 클러스터 헤드가 맨 뒤에 있는 경우
Fig. 10. Cluster head at the Back

표 1. 클러스터 헤드 위치에 따른 거리계산 결과
Table 1. Result of Transmission Distance

구분	중앙	맨 앞	맨 뒤
동시전송(a)	14r	16.16r	18.16r
개별전송(b)	36r	27.17r	51.16r
합계(a+b)	50r	43.32r	69.32r
편차(b-a)	22r	11r	33r

산결과를 바탕으로 가장 에너지 효율적인 클러스터링 및 라우팅 프로토콜 구현을 위해 데이터 전송 방향을 고려하여 LEACH 프로토콜과 본 논문의 DDACM 알고리즘을 비교해 보고 에너지 효율성을 비교한다.

3.3 설계 및 구현

본 논문에서 제안하는 DDACM 클러스터링의 구현방법 및 절차는 아래와 같다. 센서 필드에 노드들의 배치가 완료되면 싱크노드는 모든 노드들에게 LIR(Link Information Request) 메시지를 브로드캐스트 한다. LIR 메시지를 수신한 각 노드들은 자신의 상태정보를 나타내는 LIP(Link Information Reply) 메시지를 싱크노드로 전송한다. 링크정보 요구 및 초기 링크테이블을 근거로 하여 싱크노드는 최적의 클러스터 구성을 위한 작업을 실시한다. 링크테이블은 클러스터 1, 클러스터 2, 등의 클러스터 결정 값을 각 노드별로 지정한 후 동일 클러스터 내에서 싱크노드와 가장 거리가 가까운 노드를 초기 클러스터 헤드로 임명한다.

클러스터 헤드가 되기 위한 에너지 보유량 이상인 경우는 클러스터 형성을 위한 작업 후 클러스터를 형성한다. 클러스터 헤드는 매 라운드별 에너지 잔량을 계산하여 에너지 레벨이 일정량 이하가 되면 클러스터 헤드 변경을 싱크에게 요구한다. 헤드 변경 요구를 받은 싱크노드는 해당 클러스터의 다음 클러스터 헤드를 임명하고 클러스터 재설정 절차를 시작한다. 또한 클러스터 헤드가 아닌 노드들은 일반노드의 역할을 수행하다가 자신이 헤드로 선정된 경우, 같은 절차에 따라 클러스터를 형성하게 된다.

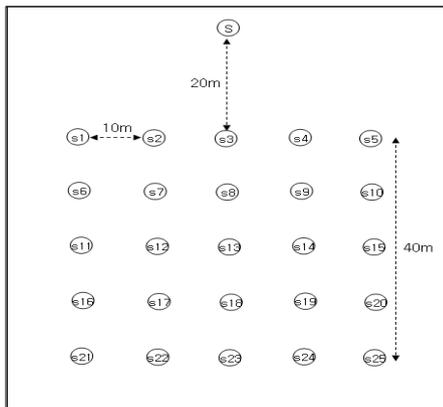


그림 11. 실험 센서노드 배치
Fig. 11. Test Sensor Nodes Placement

IV. 실험 및 평가

4.1 실험 환경 구성

실험 환경 센서노드 배치는 그림 11과 같이 구성하였고, 센서노드의 에너지 소비모델은 그림 12를

$$\begin{aligned}
 E_{Tx}(k, d) &= E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^2 \\
 E_{Rx}(k) &= E_{elec} \times k \\
 E_{elec} &= 50nJ/bit \\
 \epsilon_{amp} &= 100pJ/bit/m^2 \\
 E_{Tx} &: \text{전송 시 소비되는 에너지} \\
 E_{Rx} &: \text{수신시에 소비되는 에너지} \\
 E_{elec} &: \text{패킷 당 처리하는데 소비되는 에너지} \\
 \epsilon_{amp} &: \text{패킷전송 시 노드의 증폭기에서 소비되는 에너지}
 \end{aligned}$$

그림 12. 에너지 소비 모델
Fig. 12. Energy Consumption Model

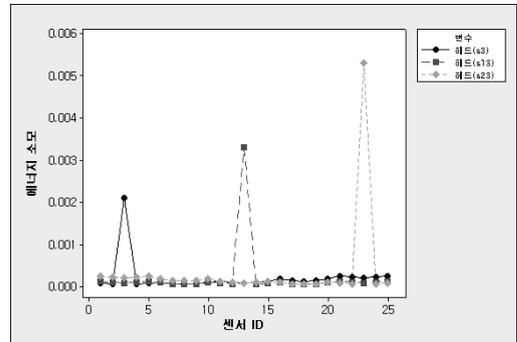


그림 13. 헤드 위치에 따른 노드별 에너지 소모량
Fig. 13. Nodes' Energy Consumption

적용하였다^[1]. 노드 간 거리정보와 에너지 소비모델을 활용하여 거리에 따른 에너지 소모량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

만일 거리가 20m (d=20)이고, 1000 bit의 데이터 전송시 에너지 소모(E_{Tx})는 $0.00009J(50 \times 10^{-9}J \times 1000(bit) + 100 \times 10^{-12}J \times 1000(bit) \times 20^2)$ 가, 수신시 에너지 소모(E_{Rx})는 $0.00005J(50 \times 10^{-9}J \times 1000(bit))$ 가 소모된다.

4.2 실험 및 분석

s3노드(맨앞)와 s13노드(중간) 및 s23노드(맨뒤)가 헤드 노드일 경우 노드별 에너지 소모량은 그림 13과 같다. 헤드 노드가 싱크노드와 멀어질수록 전송거리 증가에 따라 더 많은 에너지가 소모됨을 알 수 있다.

클러스터 헤드 위치에 따른 라운드별 누적 에너지 소모량은 그림 14와 같다. 5라운드 동안 에너지 소모량 추이를 보면 라운드 초반에는 s3노드가 헤드일 경우 다른 노드와 비교하여 별 차이가 없지만, 라운드가 진행될수록 s13노드 및 s23노드의 에너지 소모가 증가하는 것을 볼 수 있다. 5라운드 동안의 총 에너지 소모량을 보면 s3 노드가 0.00529J, s13 노드가 0.00550J, s23노드가 0.00850J를 사용하여

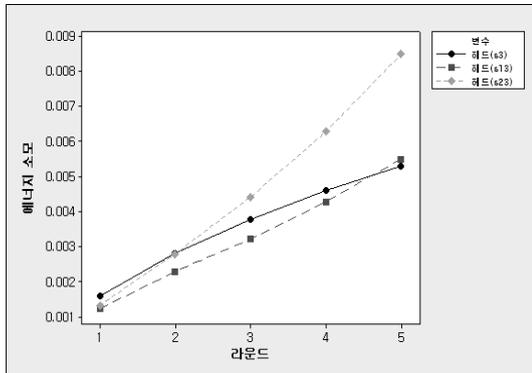


그림 14. 라운드별 누적 에너지 소모량
Fig. 14. Accumulated Energy Consumption of Round

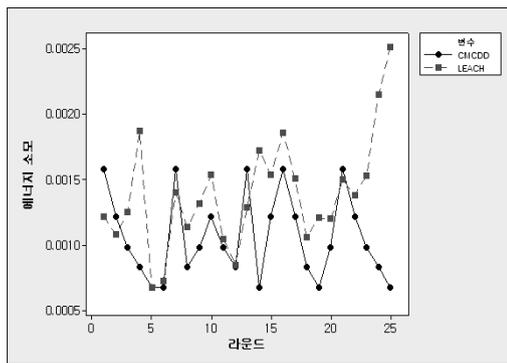


그림 15. 라운드 별 에너지 소모 현황
Fig. 15. Each Round's Energy Consumption

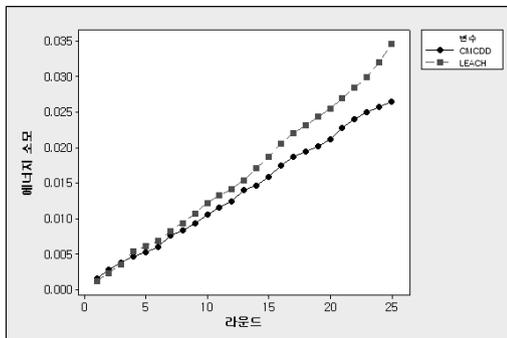


그림 16. 라운드 증가에 따른 에너지 소모
Fig. 16. Total Energy Consumption for Round

s3노드가 헤드인 경우와 비교하여 0.00021J, 0.00321J를 추가로 소모함을 확인할 수 있다.

4.3 DDACM 기법과 LEACH 기법 비교

라운드별 센서노드들의 에너지 소모현황은 그림 15와 같다. 1, 2, 7, 13, 21 라운드에서는 LEACH 방식이 DDACM 방식보다 덜 소모되었지만, 그 밖의 대부분의 라운드에서 LEACH 방식이 DDACM 방

식보다 더 많은 에너지가 소모됨을 확인할 수 있다.

라운드 증가에 따른 에너지 소모현황은 그림 16과 같고, 이는 DDACM와 LEACH의 에너지 소모현황 추이를 그래프로 나타낸 것이다. 라운드 증가에 따라 두 방식의 차이는 점차 커지는 것을 볼 수 있다.

DDACM와 LEACH 방식의 전체 센서노드 에너지 소모현황은 그림 17과 같다. 총 25라운드의 전체 센서노드 에너지 사용현황을 분석해본 결과 DDACM 방식은 0.02645J를 사용하였고, LEACH 방식은 0.03469J를 사용하였다. 현 실험환경에서 DDACM 방식이 LEACH 방식보다 20% 이상 에너지 효율적임을 알 수 있다.

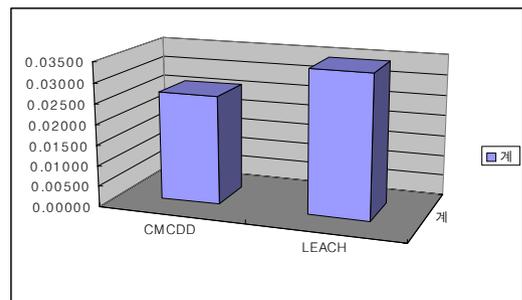


그림 17. 전체 센서노드 에너지 소모현황
Fig. 17. Total Energy Consumption

V. 결 론

이 논문은 WSN의 계층적 라우팅 프로토콜을 구현함에 있어서 최적의 라우팅 경로를 지정하기 위해 데이터 방향성을 고려한 클러스터링 기법인 DDACM를 제안하였다. 기존의 계층적 라우팅에 존재하는 역방향 데이터 전송에 대하여 분석한 결과 전송거리 증가에 따른 불필요 에너지 소모가 일어남을 산술적 계산을 통해 알 수 있었다. 클러스터 헤드의 위치를 임의적으로 변경하여 전송거리를 측정해 본 결과 클러스터 헤드가 싱크방향에 가까울 경우 전송거리가 짧아짐을 확인할 수 있었으며, 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 DDACM 기법을 제안하였고, 실험 결과를 통하여 DDACM 기법이 LEACH 프로토콜에 비하여 약 20%의 에너지를 절감 할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] W.R Heinzelman, and A. Chandeakasan, "Energy Efficient Communication Protocol for wireless

microsensor networks”, *IEEE Proc. Hawaii Int’l. Conf. Sys.* pp.1-10, Jan. 2000.

[2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, “Directed Diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks,” *Proc. of the 6th Annual Int’l. Conf. on Mobile computing and Networks (MobiCom 2000)*, Boston, pp.56-67, 2000.

[3] M. Ettus, “System capacity, latency, and power consumption in multihop-routed SS-CDMA wireless networks,” in *Proc. Radio and Wireless Conf. (RAWCON)*, Colorado Springs, CO, pp.55-58, Aug. 1998.

[4] W.R. Heinzelman, “Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks”, *Proc. of the 5th annual ACM/IEEE Int’l. Conf. on Mobile computing and Networks (MobiCom 1999)*, Seattle, WA, pp.174-185, 1999.

[5] Manjeshwar and D. Agrawal, “TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks,” *Proc. of 15th Int’l. Conf. on Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp.2009-2015, 2001.

[6] Arati Manjeshwar et al., “APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks,” *IEEE Proc. of the Int’l. Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS’02)*, pp.1530-2075, Apr. 2002.

조 오 형 (O-Hyoung Jo)

준회원



1999년 3월 공군사관학교 졸업
2009년 1월 국방대학교 전산 정보학과 석사
현재 공군16비행단 지원대장
<관심분야> 센서 네트워크, USN

권 태 옥 (Tae-Wook Kwon)

정회원



1986년 3월 육군사관학교 컴퓨터학과 졸업
1995년 9월 미 해군대학원 컴퓨터공학과 공학석사
2001년 2월 연세대학교 컴퓨터공학과 공학박사
2007년 7월~현재 국방대학교 전산정보학과 조교수

<관심분야> Computer Networking, WSN, M&S, RFID/USN Systems, Virtual Reality