

클러스터링 센서네트워크의 방향성 전송 효과

정희원 김 정 미*, 장 철 호**, 김 중 근****

Effects of directional transmission on clustering WSN

Jeong-Mi Kim*, Zhe-Hao Zhang**, Chong-Gun Kim**** *Regular Members*

요 약

무선 센서 네트워크(WSN)에서는 저가 및 저 전력 센서로 구성되기 때문에 센서의 임무를 성공적으로 수행하면서 적은 에너지를 소모하는 것이 중요한 문제로 부각된다. 기존의 클러스터링 WSN에서는 헤드의 결정 및 헤드에 의한 데이터 수집과 전송 방안이 전체 네트워크의 성능에 큰 영향을 준다.

본 논문은 클러스터링 WSN에서 데이터 전송의 방향성을 고려한 하이브리드(Hybrid) 클러스터링 방법을 제안한다. 데이터의 효율적인 전송을 위해 모든 센서노드가 싱크로 데이터를 전송할 때 클러스터헤드를 거쳐 전송할 것인지 클러스터 헤드를 거치지 않고 싱크로 직접 전송할 것인지를 싱크, 헤드위치, 해당 센서노드의 위치에 따라 이원화 하는 하이브리드 라우팅 기법이다.

실험을 통하여 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 방식과 비교하여 데이터를 싱크에서 역방향으로 전송 하지 않음으로써 거리와 에너지소모를 줄일 수 있음을 확인하였다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 직접통신, 리치 클러스터링, 하이브리드 클러스터링

Key Words : WSN, Direct Communication, MTE, LEACH, Hybrid

ABSTRACT

Wireless Sensor Network(WSN) is constituted by low-cost and low-energy, So the most important issue is that the task of the sensor performs successfully by using less energy. In previous WSN, determination of the header and gathering sensor data solution by header give great affection to the performance of network.

In this paper, we propose a Hybrid transmission method which considers the direction of data collections. In the proposed hybrid routing method, all of the sensors determine that transmission the data to the sink node directly or indirectly using the head node depend on the location of the head node in the cluster.

The performance is compared with the LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) by experimental analysis. The results show that the proposed method can reduce the communication distance and energy consumption by avoiding the detour direction of transmission of the data.

I. 서 론

WSN(Wireless Sensor Networks) 기술은 최근
유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅을 실현하기 위해 가

장 중요한 요소로 자리 잡아 가고 있다^[1]. 무선 센서네트워크는 주위의 환경 데이터를 수집하여 다양한 용도로 응용이 가능한 기술로써 군사 지역이나 보안 지역에서의 침입 탐지, 온도와 습도 같은 환경

※ 본 연구는 영남대학교 2010년 연구비 지원으로 이루어진 것임.

* 영남대학교 컴퓨터공학과 네트워크 분산처리 연구실(tkvdldj@ynu.ac.kr),

** 영남대학교 컴퓨터공학과 네트워크 분산처리 연구실(jangcheolho@ynu.ac.kr)

*** 영남대학교 컴퓨터공학과 (cgkim@yu.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-10-466, 접수일자 : 2011년 10월 15일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 28일

모니터링 등에 적용이 가능하다. 센서 노드들은 주변 상태를 측정하고, 측정된 데이터를 기지국에 전송하며, 기지국에서는 수집된 데이터를 분석한다. 이러한 무선 센서 네트워크에서 가장 큰 제약사항은 센서노드의 제한된 자원을 들 수 있으며 이것을 극복하기 위해 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다²⁻⁶⁾.

일반적으로 인접한 센서 노드는 유사한 정보를 수집하므로 유사 정보의 중복 전송으로 인한 에너지 낭비가 크다. 이러한 관점에서 에너지를 효율적으로 사용하기 위해서 클러스터링 기법이 많이 연구되고 있다. 클러스터링 기법에서는 지역에 소속된 노드가 클러스터를 형성하고, 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 멤버들로부터 수집된 데이터를 집약한 후 전송하는 방법으로 유사한 정보의 중복 전송을 줄이고 전체 센서 네트워크는 저 전력 네트워킹을 수행한다⁷⁻¹¹⁾.

그림 1은 대표적인 센서 네트워크 클러스터링 프로토콜인 LEACH에서 데이터 전송하는 방법에 대한 개념이다.

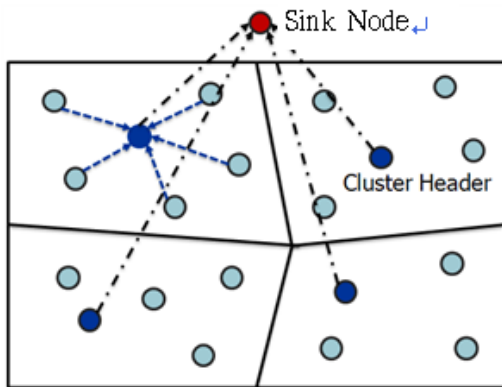


그림 1. LEACH에서 데이터 전송방법
Fig. 1. Transmission Method of Data in The LEACH

기존 클러스터링 기법은 싱크노드와 헤드노드의 위치에 따라 데이터 전송방향이 싱크의 역방향으로 전송 하는 경우로 인해 불필요한 에너지 소모가 발생하는 제한점을 가지고 있다.

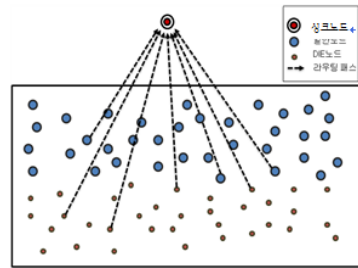


그림 2. 직접 통신
Fig. 2. Direct Communications

그림 2는 모든 노드가 싱크노드로 직접통신 하는 예를 보인다.

데이터 전송에서 에너지 소모의 가장 중요한 요소는 전송거리로서 에너지 소모는 거리의 제곱 이상으로 비례하기 때문에 클러스터 헤드와 싱크노드와의 거리 및 위치는 클러스터 헤드 및 모든 노드의 에너지 소모와 직접적인 연관 관계가 있다. 본 논문에서는 에너지 효율적인 라우팅 경로를 설정하기 위해 에너지 효율적인 데이터 전송방향을 고려한 클러스터링 기법인 Hybrid 기법을 제안한다. 이는 클러스터 헤드와 싱크노드와 클러스터 소속 노드들의 위치에 따라 데이터의 우회 전송방향을 통한 효율적인 에너지 소모를 유도 하는 것이다.

II. 관련 연구

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

면-기반 라우팅은 네트워크를 하나의 영역으로 판단하여 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여하는 기법으로 이를 대표하는 연구로 직접 통신¹²⁾, Direction Diffusion^[13], MTE^[14], SPIN^[15] 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 데이터 통합(data aggregation)에 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 대해

여 클러스터 헤드에서 전달하여 비효율적인 질의의 플러딩을 막을 수 있는 장점이 있으며 관련된 대표적 연구로 LEACH^[1,2], TEEN^[16], APTEEN^[17] 등이 있다.

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

2.1. 직접 통신 프로토콜

직접통신 (Direct Communication) 프로토콜^[2]은 각 센서 노드에서 데이터를 싱크노드로 직접 전송하는 라우팅 방식이다. 직접통신의 동작방식은 그림 2 와 같다.

그림 2에서 싱크노드에서 거리가 먼 노드일수록 더 빨리 에너지가 소모되는 모습을 보여준다. 전송 시 노드의 에너지 소모는 식(1)과 같이 거리의 제곱에 비례하기 때문에 그만큼 거리가 먼 노드는 많은 에너지가 소비되어 조기 소멸하게 된다. 식(1)에서 $E_{Tx}(k,d)$ 는 k bit의 데이터를 d 거리로 전송 시 에너지 소모량을 나타내며, E_{elec} 는 송/수신 전력 (Transmitter/Receiver Electronics)를 그리고 ϵ_{amp} 는 데이터전송 증폭전력 (Transmit Amplifier)을 의미 한다.

$$E_{Tx}(k,d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^n \quad (1)$$

또한 모든 센서 노드가 싱크노드까지 직접 데이터를 전송하기 위해서는 무선통신 전송반경 범위를 넘길 수 없기 때문에 제한적인 네트워크 토폴로지를 유지할 수밖에 없다. 하지만 직접통신은 이벤트 발생 시 다른 노드를 거치지 않기 때문에 데이터 처리속도가 매우 빠를 뿐만 아니라 최단경로 라우팅으로 전송 지연이 발생하지 않아 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하기 때문에 센서노드들이 싱크노드와 가까운 곳에 있다면 효율적인 방식이 될 수 있다.

2.2. MTE라우팅

MTE(Minimum Transmission Energy) 라우팅 프로토콜^[14]는 센서노드에서 목적지인 싱크노드의 데이터 전송을 위해 중간노드를 거쳐 전송이 이루어지는 방식이다. MTE는 센서 노드 전송범위 한계점을 극복하여 여러 노드를 경유함으로써 훨씬 큰 네트워크를 구현할 수 있다. 그림 3은 MTE 라우팅

프로토콜의 동작방식을 나타낸다. 그림 3은 싱크노드와 가까운 거리에 있는 노드일수록 더 빨리 에너지가 소멸되는 모습을 보여준다. 싱크노드와 가까운 거리에 있는 노드가 에너지 소모가 많은 이유는 더 많은 데이터를 처리하기 때문이다.

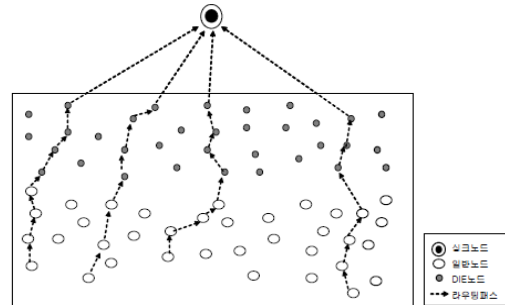


그림 3. MTE 라우팅 프로토콜 동작
Fig. 3. The MTE Routing Protocol Operation

만약 싱크노드와 가까운 거리에 있는 노드의 단절은 곧 네트워크 전체의 단절을 의미하기 때문에 비효율적인 네트워크가 될 수 있다. 하지만 MTE 라우팅 프로토콜은 직접통신과 비교하여 더 큰 네트워크 토폴로지를 유지할 수 있다는 장점이 있다.

2.3. LEACH 프로토콜

LEACH 프로토콜^[2,8]은 스스로 망을 구축할 수 있으며 네트워크의 센서들에게 에너지 분담을 골고루 분배하기 위한 무작위성을 사용하는 탄력적인 계층적 클러스터링 프로토콜이다. LEACH 프로토콜의 동작 방식은 그림 4 와 같다. 일반적인 클러스터링 알고리즘에서는 어떤 노드가 클러스터 헤드로 선택된다면 클러스터 안의 모든 노드에게서 데이터를 수신하게 되므로 에너지 소비량이 많아진다. 때문에 클러스터 헤드 노드는 빠른 시간 내에 에너지 고갈이 발생하게 된다.

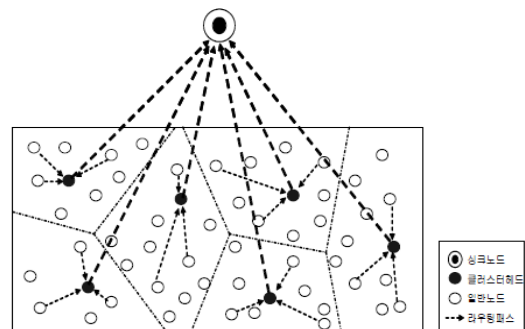


그림 4. LEACH 프로토콜의 동작
Fig. 4. The LEACH Protocol Operation

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 소비분석은 라디오 전파 모델을 사용한다. 계층적 센서 네트워크의 프로토콜들은 대부분 LEACH의 전파모델을 사용하고 있으며, 본 논문에서도 이를 이용한다. 전파모델은 크게 데이터를 수신할 경우와 송신한 경우로 나뉜다. 데이터를 수신할 때는 수신기의 전자회로에서 소모되는 에너지로 가정하고, 송신할 때는 송신기의 전자회로에서 소모하는 에너지와 전송할 데이터 신호를 증폭하기 위한 에너지로 가정한다.

III. Hybrid 클러스터링 기법

3.1. 기존 클러스터링 프로토콜 통신방향 분석

계층적 라우팅 프로토콜은 일반노드, 클러스터 헤드, 싱크노드라는 계층을 이용하고 있다.

기존 계층적 라우팅 프로토콜의 문제점은 싱크노드의 위치와 클러스터 헤드와의 거리를 고려하지 않은 클러스터 헤드의 위치로 클러스터 소속 노드들의 데이터 전송 시 불필요한 에너지의 소비가 발생할 수 있다는 것이다^{9,18)}.

그림 5는 기존 계층적 라우팅 프로토콜의 전형적인 모습이다.

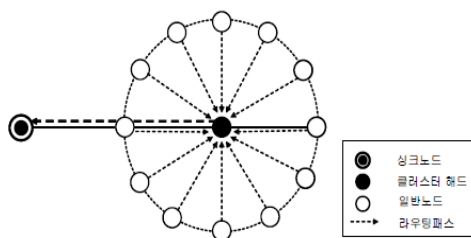


그림 5. 계층적 라우팅 프로토콜의 전형적인 형태
Fig. 5. The Typical Form of Hierarchical Protocol

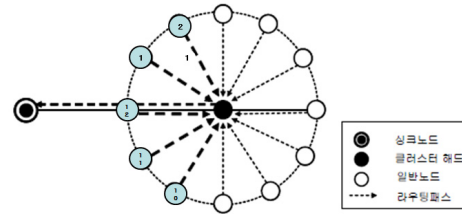


그림 6. 데이터의 역방향 전송
Fig. 6. Reverse Data Transmission

그림 6에서는 데이터의 역방향전송으로 일어나는 에너지가 낭비되는 모습을 보여준다. 여기에서 (1, 2, 12, 11, 10) 노드는 싱크노드에 대해 역방향의 데이터 전송이 이루어지고 있는 모습을 보여주고 있다. 위와 같이 5개 노드는 중앙의 클러스터 헤드로 역방향 전송을 거쳐 다시 싱크노드로 전송이 되고 있다. 다음 섹션에서는 클러스터의 헤드의 위치별 전송거리를 계산해 본다.

3.2. 클러스터 헤드 위치에 따른 전송 거리계산

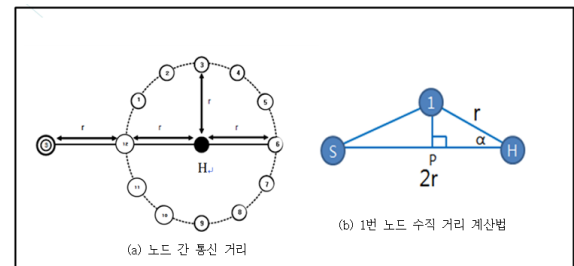


그림 7. 클러스터 헤드 위치에 따른 거리법
Fig. 7. Distance Calculation Based on the Location of The Cluster Head

D_{1H} 는 1번 노드와 클러스터헤드 사이거리를 표시한다. 그림7에서 클러스터헤드가 원의 중심위치에 있고 1번 노드가 원 위에 놓여 있기 때문에 $D_{1H} = r$ 이다. D_{SH} 는 싱크노드와 클러스터헤드 사이 거리를 말한다. 여기서는 $D_{SH} = 2r$ 로 가정한다. 그림 7(b)에서 D_{1P} 는 D_{SH} 에 수직되는 선 분이며 노드가 원위에 균등하게 위치해 있다고 가정하면 $\alpha = 30^\circ$ 이다.

$$\text{따라서 } D_{1P} = 0.5r, \quad D_{PH} = \frac{\sqrt{3}}{2}r,$$

$$D_{SP} = 2r - \frac{\sqrt{3}}{2}r \text{ 을 얻을 수 있다. 피타고라스}$$

의 정리에 의하여

$$D_{1S}^2 = D_{SP}^2 + D_{1P}^2 \quad (2)$$

$$D_{SP} = 2r - \frac{\sqrt{3}}{2}r \text{ 과 } D_{1P} = 0.5r \text{ 을 식 (2)}$$

에 대입하면 1번 노드로부터 싱크노드사이 거리

$D_{1S} = 1.24r$ 을 얻을 수 있다. 유사한 방법으로 다른 노드로부터 싱크사이 거리를 구한다.

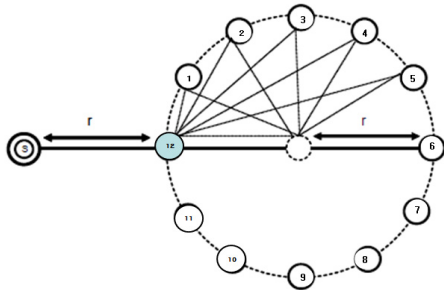


그림 8. 클러스터 헤드(싱크노드로부터) 맨 앞에 있는 경우
Fig. 8. The case Cluster Head located in front(From Sink Node)

그림 8과 같이 클러스터 헤드(싱크노드로부터) 맨 앞(싱크노드로부터 가장 가까운 곳)에 위치하는 경우 클러스터 헤드와 각 노드와의 거리 r 반경을 적용하여 형태별 데이터 전송 시 거리는 d1, d2와 같다. 여기서 d1은 클러스터 헤드에서 데이터를 병합해서 동시에 싱크로 보내는 경우이며, d2는 클러스터 헤드에서 각 노드에서 수집한 데이터를 개별로 싱크로 보내는 경우이다

$$d1 = (\sum_{i=1}^k NH) + SH, k=12. \quad (3)$$

$$d2 = (\sum_{i=1}^k (NH+SH)), k=12. \quad (4)$$

식에서 NH는 센서노드에서 클러스터 헤드 간의 거리를 나타내며 SH는 클러스터 헤드와 싱크 간의 거리를 나타낸다. 모든 노드가 동시에(클러스터 헤드에서 병합 후 싱크노드로 전송) 데이터 전송 시 거리는 식(3)에 의해 16.16r 인 반면에, 각 노드가 별도로 데이터 전송 시(클러스터 헤드를 거쳐서 바로 싱크노드로 개별 전송) 거리는 식(4)에 의해 27.16r이 된다.

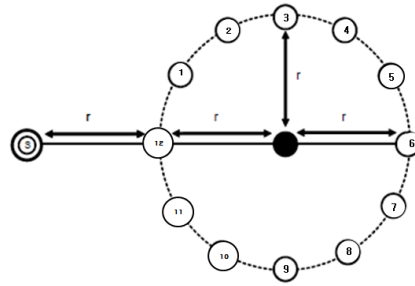


그림 9. 클러스터 헤드(싱크노드로부터) 중앙에 있는 경우

Fig. 9. The Case Cluster head at the Center (From Sink Node)

반면에 그림 9와 같이 클러스터 헤드(싱크노드로부터 중앙)에 위치하는 경우 전송거리는 모든 노드(12개)가 동시에 데이터 전송 시 거리는 14r인 반면에, 각 노드가 별도로 데이터 전송 시 거리는 36r이 된다.

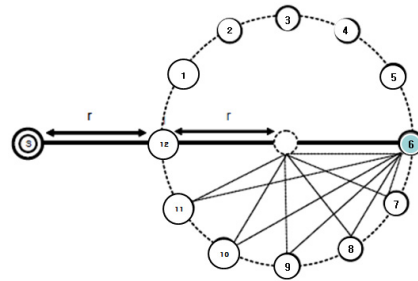


그림 10. 클러스터 헤드(싱크노드로부터) 맨 뒤 있는 경우

Fig. 10. The Case Cluster head Located at the End (from Sink Node)

그러나 그림 10과 같이 클러스터 헤드(싱크노드로부터) 맨 뒤(싱크노드로부터 가장 먼 곳)에 위치하는 경우 전송거리는 모든 노드가 동시에 데이터 전송 시 거리는 18.16r인 반면에, 각 노드가 별도로 데이터 전송 시 거리는 51.16r이 된다.

표 1. 클러스터 헤드 위치에 따른 거리계산 결과
Table 1. Result of Transmission Distance Based on the Location of Cluster head

구분	싱크노드로부터 맨 앞	싱크노드로부터 중앙	싱크노드로부터 맨 뒤
동시 전송	16.16r	14r	18.16r
개별 전송	27.17r	36r	51.16r

클러스터 헤드의 위치에 따른 세 가지결과를 종합하면 표 1과 같다. 거리 계산 결과를 바탕으로 가장 에너지 효율적인 클러스터링 및 라우팅 프로토콜 구현을 위해 싱크기준으로 데이터 전송방향을 고려하여 하이브리드(Hybrid)클러스터링 알고리즘을 제안하고 에너지 효율성을 검토 한다.

3.3. 하이브리드(Hybrid)클러스터링

3.3.1. 하이브리드 클러스터링 구조

본 논문에서 제안 하는 Hybrid 클러스터링의 처리 구조는 아래와 같다.

클러스터 헤드가 센서노드의 오른쪽에 위치하였을 경우는 평면적 기반 라우팅기법으로 센서노드에서 바로 싱크노드로 데이터를 전송 하고 클러스터 헤드가 센서노드의 위치와 같거나 왼쪽에 위치하였을 경우에는 계층적 기반 라우팅 기법으로 모든 센서노드가 클러스터 헤드를 거쳐서 싱크노드로 데이터를 전송한다.

예를 들면 클러스터 헤드가 모든 센서노드의 왼쪽에 위치하였을 경우에는 계층적 기반 라우팅기법으로써 그림 8의 LEACH와 거리계산 방법이 같다. 반면에 클러스터 헤드가 싱크노드로부터 중앙에 위치하였을 경우는 그림 11 과 같다.

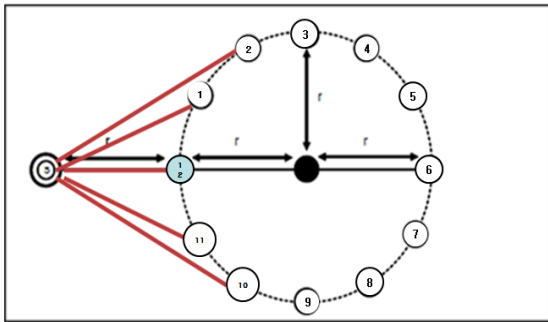


그림 11. 클러스터 헤드가 싱크노드로부터 중앙에 있을우 Hybrid 기법
Fig. 11. The Case Cluster Head Located at the Center in Hybrid Method

클러스터 헤드의 왼쪽에 있는 센서노드들 (1, 2, 12, 11, 10)은 싱크노드로 그림 11과 같이 데이터를 직접 전송한다. 클러스터 헤드와 각 노드와 거리 r 반경을 적용 데이터 전송 시 거리는 Hd1, Hd2와 같다. 여기서 Hd1은 클러스터 헤드에서 데이터를 병합해서 동시에 싱크로 보내는 경우이고 Hd2는 클러스터 헤드에서 데이터를 개별로 싱크로 보내는 경우이다. 식에서 NH 는 센서노드에서 클러스터 헤드 간의 거리를 나타내고 SH는 클러스터

헤드와 싱크 간의 거리 DH 는 센서노드와 싱크간의 거리를 나타낸다.

$$Hd1 = ((\sum_{i=1}^j DH) + ((\sum_{i=3}^k NH) + SH)) , \quad j=1,2,10,11,12, \quad k=9. \quad (5)$$

$$Hd2 = ((\sum_{i=1}^j DH) + \sum_{i=3}^k (NH+SH)) , \quad j=1,2,10,11,12, \quad k=9. \quad (6)$$

동시 전송 시 노드 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 는 클러스터 헤드에서 병합 후 한꺼번에 싱크노드로 데이터를 전송 하므로 식 (5) 에 의해 15.8r 이 된다.

각 노드가 별도로 데이터 전송 시 거리는 노드 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (7개) 는 클러스터 헤드를 거쳐서 싱크노드로 가는 거리, 5개 노드도 개별로 전송 하므로 식(6)에 의해 27.8r이 된다.

3.3.2. WSN의 거리 결정

본 논문에서 거리는 RSSI에 의해 결정한다고 가정한다. RSSI는 수신기에서 수신한 전파의 세기가

거리에 따라 달라지는 점을 이용하여 거리를 측정하는 방식이다. 수신된 신호의 세기는 거리가 증가 하게 되면 로그 함수의 형태로 감소하게 된다 [20,21]. RSSI는 식(7)과 같이 거리 제공에 반비례한다.

$$RSSI = 1/d^2. \quad (d : \text{거리}) \quad (7)$$

3.3.3. 제안 알고리즘

센서 네트워크에서는 에너지 소비량에 따라 센서 네트워크의 생존 유무가 결정되기 때문에 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 소비는 무엇보다도 중요하다. 본 절에서는 제안하는 하이브리드(Hybrid)클러스터링의 알고리즘에 대해서 알아보고 하이브리드 (Hybrid) 클러스터링 알고리즘이 에너지 효율적인 알고리즘임을 증명한다.

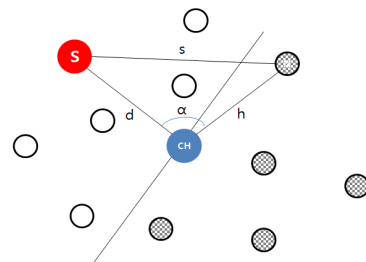


그림 12. 제안 하는 Hybrid 전송 알고리즘
Fig. 12. The proposed Hybrid transmission algorithm

알고리즘에서 s 는 임의의 노드 N 과 싱크노드 사이 거리를 나타내며, h 는 임의의 노드 N 과 클러스터 헤드 노드 사이 거리를, d 는 싱크노드와 클러스터 헤드 노드 사이 거리를 나타내며, α 는 h 와 d 가 이루는 각을 나타내며 식 8에 의해 값을 구한다.

$$\alpha = \arccos((h^2 + d^2 - s^2)/(2hd)). \quad (8)$$

α 가 90도 보다 크거나 같을 때에는 싱크와 헤드 사이의 거리보다 크기 때문에 클러스터헤드로 전송하고 α 가 90도 보다 작을 때에는 싱크로 직접 보낸다.

제안하는 Hybrid방식에서는 역방향 전송을 피하기 위하여 싱크로 직접 전송하는 노드와 클러스터헤드로 전송하는 노드로 나눈다. 즉 싱크노드와 클러스터헤드 노드의 연결선에 수직되는 직선을 기준으로 두 부분으로 나누어서 회색무늬 (넓은 체크 보드)로 표시된 부분은 클러스터 헤드로 전송하고 나머지 부분은 싱크로 직접 전송 한다.

다음은 하이브리드(Hybrid) 클러스터링 알고리즘을 보인다.

(1) 필드에 있는 모든 센서노드가 클러스터 헤드 선출을 위해 브로드캐스팅 메시지를 보내면 각 노드는 확률기반의 알고리즘에 의해 클러스터 헤드를 선출한다.

(2) 선출된 클러스터 헤드는 자신이 클러스터 헤드임을 ADV 메시지를 통하여 알린다.

(3) 이 메시지를 받은 멤버 노드는 가장 강하게 수신되는 전파를 가진 클러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정하고 Join-REQ 메시지를 전송한다.

(4) Join-REQ 메시지를 수신한 클러스터 헤드는 TDMA 스케줄을 결정하여 자신의 멤버노드에게 ADV-SCH 메시지를 통하여 알려준다.(1-4) 까지는 LEACH 알고리즘)

(5) ADV-SCH 메시지를 받은 멤버 노드는 자신의 위치를 식 8에 의하여 계산한다.

알고리즘에서 s 는 임의의 노드 N 과 싱크노드 사이 거리를 나타내며, h 는 임의의 노드 N 과 클러스터 헤드 노드 사이 거리를, d 는 싱크노드와 클러스터 헤드 노드 사이 거리를 나타내며, α 는 h 와 d 가 이루는 각을 나타내며 식 8에 의해 값을 구한다.

α 가 90도 보다 크거나 같을 때에는 클러스터헤

드로 전송하고 α 가 90도 보다 작을 때에는 싱크로 직접 보낸다.

IV. 실험 및 평가

제안된 하이브리드 방식의 성능을 평가하기 위해 통신거리를 소비하는 에너지로 환산하여 분석을 수행한다.

4.1. 실험환경

헤드 노드의 위치에 따른 제안된 방식의 효과를 분석하기 위해 그림 13과 같이 클러스터 헤드 거리를 0에서 20 까지 1씩 간격으로 헤드의 위치를 이동하면서 데이터 전송 시 이동 거리를 계산하고 센서 노드의 에너지 소비 모델은 그림 14를 적용하였다¹⁶⁾.

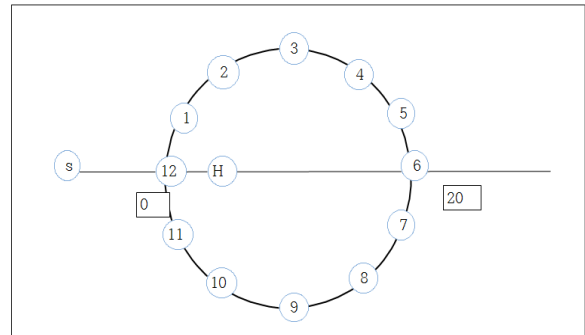


그림 13. 클러스터 헤드의 위치 (0 - 20) 1씩 간격
Fig. 13. The location of the cluster head(0-20) Interval by 1

$$E_{Tx}(k,d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^2$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} \times k$$

$$E_{elec} = 50n J/bit$$

$$\epsilon_{amp} = 100_p J/bit / m^2$$

E_{Tx} : 전송 시 소비되는 에너지
 E_{Rx} : 수신시에 소비되는 에너지
 E_{elec} : 패킷 당 처리 하는데 소비되는 에너지
 ϵ_{amp} : 패킷 전송 시 노드의 증폭기에서 소비되는 에너지

그림 14. 에너지 소비 모델
Fig. 14. Energy consumption model

노드 간 거리정보를 에너지 소비모델로 활용하여 거리에 따른 에너지 소모량을 다음과 같이 계산 할 수 있다.

만일 거리가 ($d=20$)이고 1000 bit의 데이터 전

송 시 에너지 소모 (E_{Tx})는 $0.00009J(50 * 10^{-9}J * 1000(bits)+100 * 10^{-12}J * 1000(bits) * 20^2)$ 이고, 수신 시 에너지 소모 (E_{Rx})는 $0.00005J(50 * 10^{-9}J * 1000(bits))$ 가 소모된다.

4.2. 실험 시스템 구현

제안하는 방식의 수치 분석을 위한 분석 시스템을 구현 하여 그림 15와 같은 인터페이스 화면을 통해서 클러스터 헤드의 움직임을 이동시키면서, 성능을 평가할 수 있다. 본 실험 시스템은 C# 으로 구현한다.

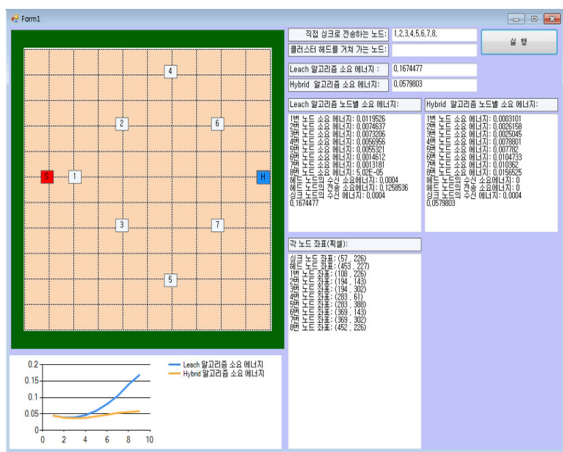


그림 15. 실험시스템 사용자 인터페이스
Fig.15. user interface of Experimental program

4.3. 실험 결과 분석

4.3.1. 실험 결과

에너지는 전송거리의 제곱에 비례하기 때문에 거리가 짧을수록 에너지 소모도 절감 된다.

다음은 그림 13 기반으로 클러스터 헤드의 위치에 따른 에너지 소모량을 그림 16에 나타낸다.

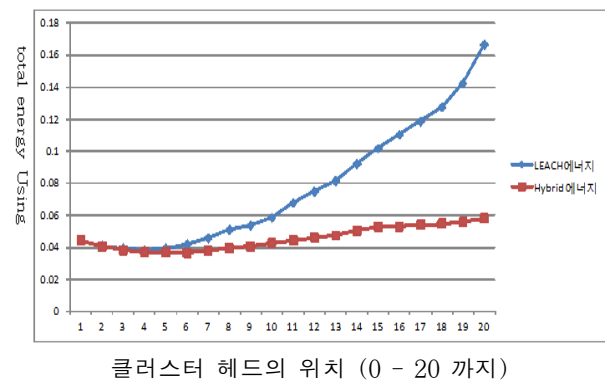


그림 16. 동시 전송 시 에너지 소모량
Fig.16. energy consumption of Simultaneous transmission

클러스터 헤드가 싱크와 멀어질수록 LEACH 클러스터기법에서는 에너지 소모가 점점 많아지는데 비해 Hybrid 기법에서는 에너지 소모량에 크게 차이가 나지 않았으며 LEACH 기법과는 현저한 차이를 보인다.

따라서 원의 이동뿐만 아니라 전반적인 센서 노드들의 이동을 실험하기 위하여 그림 15에서는 센서 노드 배치를 $500m * 500m$ 으로 구성하고 센서노드의 에너지 소비모델은 그림 14를 적용한다.

두 방식의 잔여에너지를 비교 분석 하기 위해 네트워크의 크기는 $500*500$ 으로 두고 전체 센서노드의 개수는 그림 17(a)처럼 14개를 사용하며 모든 센서노드가 랜덤하게 배치되며 난수로 클러스터 헤드를 선정하여 전송한다.

이때 각 센서노드의 초기 에너지는 0.2 Joule로 할당한다. 종료 조건은 클러스터 헤드의 잔여에너지가 0가 되면 클러스터 헤드 선정에서 제외 되고 전체 센서 노드 중 2개가 남을 때까지 전송한다. 특정 노드가 선정되어 헤드로써 작동하면 모든 다른 노드의 정보가 1회씩 싱크노드로 전송된 경우이다. 그림 17(b)는 특정한 방식의 모든 노드의 에너지가 소진될 때까지 전송횟수와 잔여 에너지를 비교 한 결과이다.

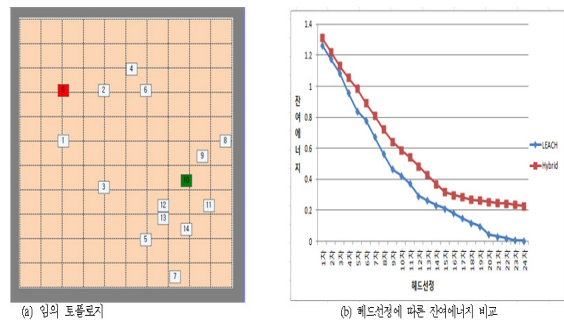


그림 17. 임의 토폴로지에서잔여에너지의 비교 분석
Fig. 17. An analysis of the residual energy in an arbitrary topology

실험결과 LEACH기법에서는 24차의 헤드노드 선정으로 모든 멤버노드의 에너지가 소진(센서노드 2개 남음)되면서 잔여 에너지가 0.003196 Joule 남고 제안하는 Hybrid기법에서는 52차의 헤드노드 선정으로 모든 멤버노드의 에너지가 소진(센서노드 2개 남음)되면서 잔여에너지가 0.1028795 Joule 임을 보인다.

그림 18에서는 그림 17(b)의 잔여에너지 비교

분석 중에서 헤드선정 5차 때의 각 노드들의 에너지를 분석한 결과를 보인다.

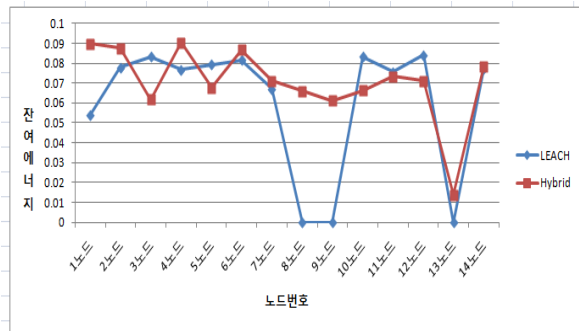


그림 18. 헤드 5차 선정 때 잔여 에너지 비교
Fig. 18. An analysis of the remaining energy in the 5th head selection

그림 18에서는 5차 헤드노드 선정 후 각 노드들의 잔여 에너지를 분석한 결과 14개 노드 중에서 3번 5번 10번 12번 노드 외에는 모든 노드가 LEACH 기법 보다 제안한 기법이 잔여에너지가 많이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 특히 LEACH기법에서는 8, 9번 노드의 에너지가 고갈된 상태이다.

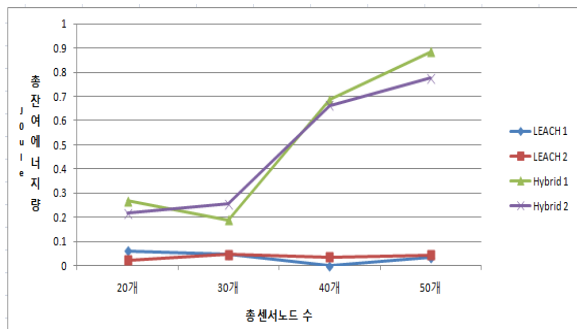


그림 19. 종료 조건에 따른 잔여에너지량 비교
Fig. 19. An analysis of the remaining energy according to termination condition

그림 19에서 LEACH 1과 Hybrid 1 은 종료 조건이 잔여에너지가 남아있는 센서노드가 10분의1 이 남을 때까지, LEACH 2와 Hybrid 2는 잔여에너지가 남아 있는 센서노드가 2개 될 때 까지 실험한 경우를 보인다.

실험환경 1를 기반 한 그림19의 결과는 모든 경우에서 제안된 Hybrid 방식의 에너지효율이 우수함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 WSN에서 각 노드에서 수집한 정보를

싱크로 전송하는 과정에서 효율적인 라우팅 경로를 결정하기 위해 데이터 방향성을 고려한 기법인 하이브리드(Hybrid) 클러스터링을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 하이브리드 형식의 WSN라우팅 성능을 평가하기 위해 수학적 모델을 이용하였다. 기존의 LEACH와 같은 계층적 라우팅은 비효율적인 역방향 라우팅이 존재할 수 있고 이는 불필요한 에너지 소비로 연결됨을 확인할 수 있었다.

실험결과 제안하는 하이브리드(Hybrid) 클러스터링 기법이 LEACH 클러스터링 기법에 비해 에너지균형사용, 네트워크 지속시간 위치에 따른 클러스터 헤드 선정의 자유로움 등이 우수함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] L.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks; a survey", *Elsevier Computer Networks*, Vol. 38, Issue. 4, pp. 393-422, 2002.
- [2] W.R. Heinzelman, and A. Chandrakasan, "Energy Efficient Communication Protocol for wireless microsensor networks", *IEEE Proc. Hawaii Int'l Conf. Sys.* pp.1-10. 2000.
- [3] T. Dam, K. Langendoen. "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 171-180, Nov.2003.
- [4] Lee san hak, Kin dae hwan, Yu jun uae, "Ubiquitous sensor network technic trend", *Korea Internet information institure paper*, pp. 97-107, 2005.
- [5] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", *Proceeding of the 21th IEEE INFOCOM*, vol. 3, pp.1567-1576, Jun. 2002.
- [6] 김진수, 박찬흠, 김종근, 강병욱, "센서 네트워크에서 계층적 필터링을 이용한 에너지 효율적인 데이터 집계연산," 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제12권 제1호, 2007.
- [7] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha

- Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", *Proceedings of the 3_{rd} Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000.
- [8] 정왕부, 손영호 "센서 네트워크에서 데이터 전송의 재구성을 통한 효율적인 에너지 관리" *영남대학교 컴퓨터 공학과 박사학위논문*, 2010.
- [9] 조오형, 권태욱, "데이터 전송방향을 고려한 센서네트워크 클러스터링 방법", *한국통신학회 논문지*, 제34권 제7호, 2009.
- [10] Ossama Younis, Sonia Fahmy, "HEED : A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor networks", *IEEE Transaction on Mobile Computing*, Oct, 2004.
- [11] Liang Ying , Yu Haibin, "Energy Adaptive Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks", *Proceedings of the 6th International Conference on Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies*, pp. 634-638, Dec. 2005.
- [12] N. Vljajic, D. Xia, "Wireless Sensor Networks : To Cluster or Not To Cluster?", *International Symposium on a World of Wireless*, 2006.
- [13] C. Intanagonwivat, 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.
- [14] 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.
- [15] Hairong Qi, Phani Teja Kuruganti and Yingyue Xu, "The Development of Localized algorithms in Wireless Sensor Networks", *sensors 2002*, pp.286-293. 2002.
- [16] Manjeshwar and D. Agrawa; "TEEN : A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless sensor Networks", *Proc. of 15th Int'l. Conf. of Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp.2009-2015, 2001.
- [17] A. Manjeshwar Q-A. Zang and D.P. Agrawal, "An Analytical Model for Information Retrieval in Wireless Sensor Networks Using Enhanced APTEEN Protocol", *IEEE transactions on parallel and distributed systems. vol 13. no. 12.* pp.1290-1302. 2002.
- [18] Mao Ye, Chengfa Li, GuihaiChen and Jie Wu "EECS : AN Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks", *Department of Computer Science and Engineering, Flordid Atlantic University, USA, 0-7803-3.* 2005.
- [19] "Application-Specific Protocol Architectlures for Wireless Networks," *phD thesis, MIT*, 2000.
- [20] 김영락, 우매리, 김동학, 황도삼, 김종근, "Ad Hoc 네트워크에서 신호제기를 이용한 전체 노드 위치 추정 방안", *한국멀티미디어학회 추계 학술발표대회논문집*, 2003.
- [21] 임철우, 김영락, 강병욱, "센서 네트워크의 노드 위치 추정 시스템 설계", *한국멀티미디어학회 논문지*, 제12권 제10호 pp1436-1449. 2009.

김 정 미 (Jeong-Mi Kim)



정회원

2004년 한국방송 통신대학교 컴퓨터과학과 졸업
 2006년 영남대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사
 2009년 영남대학교 컴퓨터공학과 박사 수료
 <관심분야> 컴퓨터 네트워크, 무선 모바일 네트워크, 분산처리

장 철 호 (Zhe-Hao Zhang)



정회원

2009년 (중국) 길림농업대학교 컴퓨터정보과학과 졸업
 2012년 영남대학교 컴퓨터공학과 석사
 <관심 분야> Wi-Fi기반 Ad Hoc 네트워크, 실내 위치인식, 최단경로탐색

김 종 근 (Chong-Gun Kim)

정회원



1981년 영남대학교 전자공학과
졸업

1987년 영남대학교 대학원
전자공학과(석사)

1991년 (일본) 전기통신대
학 (공학박사)

1997년 (미국) Virginia

Tech. 연구교수

2003년(미국)UCSC연구교수

1991년~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 컴퓨터 네트워크, 무선모바일

네트워크, 분산처리, 운영체제, 멀티미디어

기반 가상강의 시스템 등