

무선 센서네트워크에서 효율적인 라우팅 기법에 대한 연구

정회원 김 동 식*, 종신회원 김 승 욱**

Energy Efficient Routing Scheme for Wireless Sensor Networks

Dong-sik Kim* *Regular Member*, Sungwook Kim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크상에서 QoS를 보장하면서 노드들의 에너지 효율을 최대화하는 다중 계층 클러스터링 기법을 제안하였다. 제안된 방법의 가장 큰 특징은 지정된 시간 내 도착성과 데이터 전송의 신뢰성 등 요구되는 QoS를 만족시키면서 노드들의 분산된 에너지 소모를 통해 전체 네트워크 수명을 증가시킨다는 데 있다. 시뮬레이션을 통해 제안된 기법은 센서 네트워크상에서 가능한 에너지를 절감하면서 데이터 패킷들의 시간 내 도착을 보장할 수 있다는 것을 확인 하였다.

Key Words : Wireless Network, Routing, Clustering, Multiple Path

ABSTRACT

In this paper, we propose a new routing scheme based on the multiple layer routing strategy. This algorithm can guarantee the required QoS while maximizing energy efficiency in wireless sensor networks. The principle contributions of this work are its simplicity, scalability and responsiveness to current network situations. Simulation results indicate the superior performance of our proposed algorithm, while other existing scheme cannot offer such an attractive performance balance.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 환경에 대한 감시나 군사용 등 다양한 분야에 쓰일 수 있기 때문에 최근에 무선 센서 네트워크에 대한 관심이 급증하고 있다^{1,2,3}. 이런 특징을 가진 센서 네트워크를 구성하는 다양한 기법들이 있지만 특히 그 중에서 클러스터 기반 알고리즘의 경우^{4,5,6} 데이터를 수집 한 후 전송하기 때문에 보다 효율적으로 노드들의 에너지를 이용한다는 장점이 있다.

또한 최근 들어 에너지의 효율성 뿐 아니라 추가적으로 유저의 요구를 얼마나 들어 줄 수 있는가를 측정할 수 있는 서비스의 품질(Quality of Service (QoS))

또한 센서 네트워크를 구성하는 데 있어서 필수적인 요소가 되고 있다. 특히 유저가 요구한 수준으로, 얼마나 데이터가 손실 없이 전송될 수 있는가를 가늠할 수 있는 ‘신뢰성’(reliability) 과 실시간 데이터 정보가 의미를 유지할 수 있는 ‘지정된 시간 내 도착가능성’(timeliness) 이 중요한 항목으로 부상되고 있다.

본 논문에서는 새로운 패킷 전송방법인 무선 센서 네트워크에서 QoS 를 보장하기 위한 클러스터 기반의 메카니즘을 제안하였다. 제안된 기법은 ‘신뢰성’과 ‘지정된 시간 내 도착 가능성’을 만족시키는 경로를 동적으로 찾아가면서 라우팅까지 병행하는, 상황의 변화에 유연하게 대처할 수 있다는 특징이 있다. 만일 데이터가 빠르게 도착해야 하는 경우라면 연결 홉 수

* 서강대학교 컴퓨터공학과 무선인터넷 연구실(*dongsik@sogang.ac.kr, **swkim01@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-407, 접수일자 : 2009년 9월 14일, 최종논문접수일자 : 2010년 1월 29일

를 최소화하여 요구된 시간 내에 전송을 할 수 있지만 이를 위해서는 높은 전력을 사용해 전송범위를 넓혀야하므로 많은 에너지의 소모를 필요로 한다. 그에 비해 시간이 중요하지 않은 데이터들은 목적지까지 여러 홉을 거쳐서, 최대한 적은 에너지를 소모하여 전송된다.

II. 제안된 센서 네트워크 관리 기법

본 논문에서는 효율적으로 데이터들을 관리하기 위해 클러스터링을 한다. 하지만 노드의 개수를 기반으로 하는 기존의 방식들과는 조금 다르게 클러스터 헤드간의 거리가 일정하도록 클러스터를 생성하는데 주목표를 둔다. 클러스터들 사이의 거리를 일정하게 유지하기 위해 본 논문에서는 시간에 따른 전파의 전송 범위를 이용해 거리를 측정한다. 측정된 거리 정보를 바탕으로 동일한 거리에 위치해 있는 이웃 노드 중에 하나를 클러스터 헤드로 선출하는 것을 반복함으로써 클러스터를 점진적으로 구성해 간다. 추가적으로 본 논문에서는 노드와 노드 사이의 데이터 전송 시 유저의 요구를 수용할 수 있는 경로를 선택하기 위해 서로 다른 전송 범위를 가진 다중 계층을 이용한다. 이러한 다중 계층을 만들기 위해 노드는 전력 조절이 가능하다고 가정하고 각각의 계층의 전송범위를 $R_1, R_2, R_3..$ 등으로 나타낸다. 여기서 사용되는 이웃 클러스터 헤드까지의 거리는 현재 생성하고자 하는 계층의 전송범위(R_x) 로 가정한다.

처음에 기지국에서 현재 전파 세기의 전송범위(R_1)에 위치한 이웃 노드들에게 전파를 쏘아 보내서 임의로 그 중 하나를 선출한다. 처음에는 소모된 에너지가 없다고 가정하기 때문에 모든 센서들의 에너지는 동일하다. 따라서 임의로 선택된 것이 근처 클러스터 중 첫 번째 클러스터 헤드가 되는 것이다. 그 후 기지국과 선택된 클러스터 헤드에서 현재 전파 세기의 전송범위(R_1)에 위치한 이웃 노드들에게 다시 전파를 쏘아 보낸다. 기지국과 이전 클러스터 헤드의 전파가 도달할 수 있는 거리(R_1)에 위치해 있는 이웃 노드 중에 하나를 다음 클러스터 헤드로 다시 선출한다. 이렇게 될 경우 기지국과 첫 번째 헤더 두 번째 헤더는 기지국과 동일한 거리를 두고 선출 된다.

이와 같이 반복적으로 제3~제4의 클러스터 헤드들이 선출이 되고 점진적으로 클러스터 헤드가 같은 위치에 존재하게 되는 클러스터들이 완성 된다. 제안된 방법에서는 단일 계층이 아닌 다중 계층을 만들기 위해 위의 과정을 각 전송범위에 따라 계층 별로 반복해

서 수행한다. 전송시, 계층적으로 상위 계층의 클러스터 헤드가 하위 계층의 클러스터 헤드로부터 정보를 수집하게 된다. 이 계층의 종류는 처리장치의 능력이나 메모리의 크기 등에 의해 결정 된다. 이 제안 기법에서는 기존의 MMSPEED^[7] 기법과 비교하기 위해 3개의 계층을 사용하겠다.

클러스터가 다 완성된 후 목적지 까지 얼마에 갈 수 있는가를 추측 계산하기 위해서 각 클러스터 헤드들은 자신들 내부 노드들로부터 수집된 정보뿐 아니라 기지국까지의 최소 걸리는 시간에 대한 정보도 저장한다.

2.1 시간 내 도착성

실시간 데이터를 전송하는 데 가장 중요한 ‘지정된 시간 내 도착성’ 을 만족시키기 위해서, 수집된 데이터를 전송하는 노드마다 ‘최대 허용 가능 도착 시간’ (Max_recv_time)을 먼저 알아야 한다. 이 시간을 바탕으로 유저의 요구를 만족하는 여러 경로 중에서 실제로 데이터를 전송 하는 경로가 선정 된다. 이러한 예상 가능 경로를 선출하기 위해 현재 노드가 가지고 있는 정보를 그 노드가 속한 클러스터 헤더에게 보내고, 그 클러스터 헤드는 이웃 클러스터 헤드들이 유지하고 있는 기지국까지의 ‘최소 시간’(set_min_time)에 대한 정보를 저장한다. 이 정보는 기지국에서 현재 노드까지 현재 사용하고 있는 계층(R_x)의 전송 범위를 이용 했을 때 최대한 빠르게 올 수 있는 시간을 의미한다. 본 논문에서는 기지국에서 자신의 클러스터 헤드까지 ‘최소 걸리는 시간’(set_min_time)을 바탕으로 경로를 설정한다. 이 최소 걸리는 시간에 대한 정보는 앞에서 설명했던 점진적인 클러스터링 단계를 통해 각각의 클러스터 헤드들에 저장 된다.

3 개의 계층 중 어떤 전파세기를 가진 계층을 선정할 것인가 하는 것은 최종 목적지까지 얼마의 시간 내로 들어와야 정보가 의미가 있는가에 대한 정보와 최종 목적지까지의 거리 간의 관계로 결정이 된다. 본 논문에서는 클러스터링을 하면서 최단 거리에 대한 정보를 각각의 클러스터 헤드들이 유지하도록 제안하였으므로 이미 각 계층에 대해서 목적지까지 최단 도착 시간을 알고 있다. 높은 출력을 가지는 상위 계층은 보다 먼 거리를 한 번에 보낼 수 있기 때문에 중간 노드를 거치지 않아도 목적지 까지 갈 수 있어 더 빠르게 데이터를 보낼 수 있다. 하지만 목적지 까지 더 짧은 시간이 걸리게 되는 대신 에너지를 더 많이 소모하게 된다.

현재노드(i)는 이웃 클러스터 헤드들(N_j) 중 이 “시

간 내 도착성”을 만족하는 이웃 클러스터 헤드들을 선별해야 한다. 여기서 현재노드의 각 전송범위계층에 대한 모든 이웃 클러스터 헤드들(N_i)에 대한 정의는 다음과 같다.

$$N_i = \bigcup_{x=1,2,3} \{k \mid \text{dist}(i,k) < R_x, k \in H\} \quad (1)$$

H 는 클러스터 헤드들의 집합 이고 k 는 그 중 노드 i 의 전송범위 안에 존재하는 이웃 클러스터 헤드들이다. R_x 는 현재사용하려는 전파의 전송범위를 나타내고, $\text{dist}(i,k)$ 는 노드 i 에서 노드 k 까지의 거리를 의미한다.

이렇게 정의된 이웃 클러스터 헤드들 중 각 계층들 중에서 최대 허용 가능 시간 내에 도착 할 수 있는 이웃 클러스터 헤드들(SN_i)을 다음 식과 같이 정의한다.

$$SN_i = \bigcup \left\{ (j \mid \text{set_time}(i,j) + \text{set_min_time}(j,d)) < (\text{Max_recv_time}(i,d), j \in N_i) \right\} \quad (2)$$

여기서 N_i 는 앞서 정의 했던 각 계층에 대한 모든 이웃 클러스터 헤드들의 집합이다. 그 중에 비교하려는 이웃 클러스터 헤드를 j 로 선정해서 시간 내 도착 가능성을 충족시켜 줄 수 있는 가 비교한다. $\text{set_time}(i,j)$ 는 현재 클러스터 헤드(i)로부터 이웃 클러스터 헤드(j)까지 걸리는 시간을 의미하고 $\text{set_min_time}(j,d)$ 는 비교하려는 이웃 클러스터헤드에서 기지국까지 저장하고 있던 최소 걸리는 시간 을 의미한다. 또한 $\text{Max_recv_time}(i,d)$ 는 현재 노드(i)로 전송된 데이터에 대한 최대 허용 가능 도착 시간을 의미한다. 이 최대 허용 가능 도착 시간은 데이터를 전송할 경우 소모된 시간만큼 줄어든다.

2.2 효율적인 경로설정

효율적으로 라우팅을 하기 위해 유저가 요구 하는 도착가능시간을 만족 하는 집합인 SN_i 로 선정된 것 중에 가장 적은 에너지를 소모하는 이웃 클러스터 헤드를 선택해준다. 이는 3개의 계층에 따른 이웃 클러스터헤드들 중에 현재의 QoS를 만족하면서 에너지 효율이 좋은 것을 다음 링크로 선택하기 위해서이다. 현재 클러스터 헤드(i)는 위에서 언급한 시간 내 도착성을 만족하는 이웃 클러스터 헤드(j)들의 집합(SN_i)을 구한 후 그 중 비용을 최소로 하는 이웃 클러스터 헤드를 선택한다. 각 링크에 대한 비용 ($LC(i,j)$)들은 다음과 같이 계산된다. 이 값이 적을수록 더 적은 에

너지를 소모한다는 의미이므로 링크를 설정할 때 유리하게 적용된다.

$$LC(i,j) = \alpha * CC(i,j) + (1-\alpha) * RE_j + D_j \quad (3)$$

$CC(i,j)$ 는 데이터를 전송하는데 사용되는 값이다. 이 값은 전송하려는 두 노드 간의 거리에 따라 정해진다. 일반적으로 전송 시 소모되는 에너지는 거리의 제곱에 반비례한다. 거리가 가까울수록 더 적은 에너지를 소모 하므로 보다 가까운 거리에 있는 노드를 이용해서 보내야 한다. 다른 값과 균형을 맞추기 위해 최대 보낼 수 있는 거리에 비해 현재 이웃 클러스터 헤드로 전송 시 사용하려는 계층의 도달 거리가 얼마나 되는가 하는 비율로 계산이 된다. 계층에 따라 소모하는 에너지양이 달라지므로 최대 계층($R3$)을 썼을 때의 값을 기준으로 현재 사용하려는 계층(Rx_i)에 대해 정규화 했다. 식은 다음과 같다.

$$CC(i,j) = \left(\frac{Rx_i}{R3} \right)^2 \quad (4)$$

RE_j 는 현재 이웃 클러스터 헤드가 소비한 에너지 양에 관한 식이다. 이 값은 초기에 비해 현재 얼마만큼의 에너지가 남았는지에 따라 정해진다. 초기에 비해 많은 에너지가 남아 있을수록 더 오래 쓸 수 있고, 같은 상황이면 더 균형적으로 에너지를 소모해야 전체적인 네트워크 지속시간이 길어진다. 식의 값이 적을수록 유리하게 반영되도록 한다. 이웃 클러스터 헤드의 초기 에너지(S_energy_j)와 현재 남은 에너지양 (R_energy_j)을 기반으로 정규화를 했을 때 식은 다음과 같다.

$$RE_j = \frac{(S_energy_j) - (R_energy_j)}{(S_energy_j)} \quad (5)$$

D_j 는 지정된 시간 내 도착성을 만족하는 경로에서 이웃 클러스터 헤드의 지연 시간, 즉 delay 에 관한 것이다. 이 값은 패킷을 처리하는 큐에 총 처리 가능한 량($capacity_T$)에 비해 현재노드 j 에 얼마만큼 처리할 것이 들어 왔는가($flow_j$)를 측정 한 것이다. 적은 양의 데이터를 처리한 곳으로 데이터를 분산시켜서, 많은 데이터가 한곳으로 모이는 혼잡현상을 방지 할 수 있다. 지연시간은 현재 처리 할 수 있는 것에 비해

얼마나 많은 패킷들이 들어왔는가에 따라 기다리는 시간이 달라지므로 현재 처리 가능한 양에서 현재 들어온 패킷의 양을 빼 값의 역수를 사용한다. 처리 가능한 용량과 현재 들어온 패킷 값을 기준으로 정규화를 했고 식은 다음과 같다.

$$D_j = \frac{1}{capacity_T - flow_j} \quad (6)$$

용량보다 들어온 패킷이 많을 경우에는 더 이상 패킷을 처리할 수 없기 때문에 $flow_j < capacity_T$ 일 때만 이 지연시간 값을 측정한다. 그 이외의 상황이라면 선출 가능한 집합 SN_i 에서 제외시킨다.

추가적으로 α 값은 유저가 가중치를 어느 쪽에 두느냐에 따라 변할 수 있는 값으로 상호간에 상충한다고 본다. 성능 평가 부분에서는 α 값을 0.5로 설정하였다. 전체적으로 이 cost 값은 적을수록 더 효율적인 것으로 판단되기 때문에 SN_i 로 선정 되어진 이웃 클러스터 헤드들에 대한 cost를 비교해서 가장 작은 값을 가진 이웃 클러스터헤드를 현재 노드(i)와 링크로 연결한다. 주위에 j 개의 자신보다 기지국에 더 가까운 이웃 클러스터 헤드들이 있다고 했을 때 최종적으로 선택되는 이웃 노드(FS_j)는 다음과 같다.

$$FS_j = \{j | MinLC(i, j), j \in N_i\} \quad (7)$$

이러한 방식으로 출발지에서 도착지 까지 다음 노드를 결정해 가며 링크를 설정하고 설정된 경로를 따라 라우팅을 한다.

III. 성능평가

3장에서는 NS-2 (Network Simulator 2) 시뮬레이터를 이용하여 본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 평가해 본다. 본 논문의 시뮬레이션은 NS-2 Ver 2.31의 AODV소스를 기반으로 사용하였고, 제안 기법은 그 소스를 수정하여 실험하였다.

그림 1은 무선 센서 네트워크에서 시간이 흐름에 따라 노드의 평균 에너지가 어떻게 변화하였는지를 나타낸다. 시간이 흐름에 따라 제안 기법과 MMSPEED 기법, LEACH 기법 모두 에너지의 잔량이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 제안 기법의 경우 각 클러스터가 데이터를 모아서 기지국으로 여러 단계의 홉을 통해 전송하기 때문에 MMSPEED 기법 보다 안

표 1. 무선 센서 네트워크 노드 환경

MAC Protocol	Mac / 802_15_4
Traffic Pattern	CBR
Size of data packet	70 Bytes
Interface queue type	Drop-Tail, Priority Queue
Initial Energy	100 J

표 2. 성능 평가 환경

Simulation Area	50m X 50m
Number of Nodes	24
Simulation Time	10 seconds

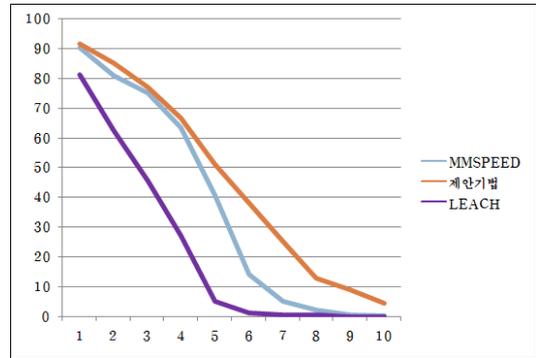


그림 1. 시간에 대한 노드의 평균 에너지 잔량

정적으로 에너지를 소비하는 것을 볼 수 있다. 따라서 전체 네트워크가 그 기능을 수행할 수 있는 시간이 증가하였다.

그림 2는 세 기법 사이에 데이터 전송량의 차이를 나타내 준다. 신뢰성없는 전송과 지정된 시간 내 도착하지 못한 패킷은 모두 전송실패로 분류되므로 전송량이 높다는 것은 제안된 기법이 타 기법에 비해 신뢰성과 지정된 시간 내 도착가능성이 높다는 것을 의미한다. 신뢰성의 측면에서 제시된 MMSPEED 기법의 경우 노드들의 개수가 많아질수록 더 많은 경로를 탐색해 봐야 하기 때문에 많은 에너지가 소모된다. 하지만 제안된 기법은 주변 클러스터 헤드 중 가장 효율적인 경로를 선택하기 때문에 훨씬 많은 에너지를 아낄 수 있게 된다.

그림 3은 평균적으로 기지국에 도착할 때 까지 걸리는 홉 수를 나타내준다. 제시한 기법에서는 일단 진행할 수 있는 경로가 지정되어 있기 때문에 돌아가지 않고, 바로 더 먼 거리를 가지고 있는 전송 계층을

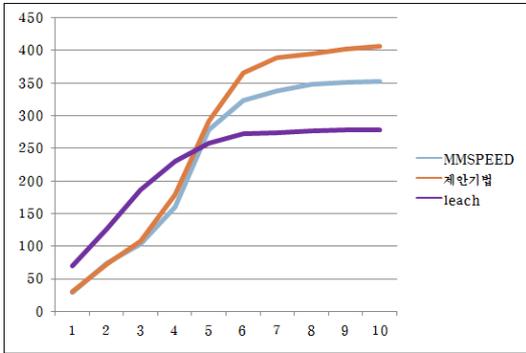


그림 2. 패킷전송에 따른 패킷전송량 누적값

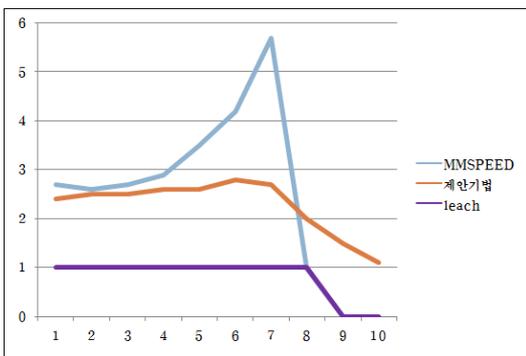


그림 3. 전체 패킷전송에서 평균 데이터 흡수

사용하여 데이터를 전송한다. 이에 따라 중간에 노드들이 에너지를 소모했을 시에도 별 차이 없이 데이터를 전송하게 되고 일부 노드들만 남았을 시에는 오히려 한 번에 많은 에너지를 사용해서 전송함으로써 데이터 흡수는 줄어들게 된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 QoS를 달성하기 위한 가장 중요한 요소인, 지정된 시간 내 도착성과 안정성을 보장하기 위해 새로운 패킷 전송 기법을 제안 했다. 시간 내 도착성을 만족하기 위해 기존의 단일 전송 범위가 아닌 클러스터를 이용한 다중 전송 범위를 사용하였고, 그 결과 다양한 트래픽 상황에서 그 상황에 맞도록 동적으로 전송범위 조절하는 것이 가능해졌다. 따라서, 동적으로 네트워크망을 늘려가는 경우나 긴급하게 패킷을 보내야 하는 센서 네트워크 상황에 대해 확장성을 제공해준다. 시뮬레이션 결과는 논문에서 제시하는 기법이 기존의 알고리즘보다 노드의 평균 에너지 효율을 약 30% 증가 시켰다.

그로 인해 총 네트워크의 패킷전송량을 증가시킬 수 있었고 전체적인 네트워크 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", *IPDPS*, April, pp.2009-2015, 2001.
- [2] S. Lindsey, C. S. Raghavendra and K. Sivalingam, "Data Gathering in Sensor Networks using the Energy*Delay Metric", *IPDPS*, pp.924-935, 2001.
- [3] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks", *IPDPS*, April, pp.195-202, 2002.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks", *Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences*, Hawaii, January, Vol.2, pp.10-19 2000.
- [5] M. Younis, M. Youssef and K. Arisha, "Energy-Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks", *MASCOTS 2002*, October, pp.129-136, 2002.
- [6] C.R. Lin and M. Gerla, "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks", *IEEE Journal on Selected areas in Communications*, Vol.15, No.7, September, pp.1265-1275, 1997.
- [7] E Felemban, CG Lee, E Ekici, "MMSPEED: Multipath Multi-SPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks", *IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING*, pp. 738-745, 2006.

김 동 식 (Dong-sik Kim)

정회원



2007년 2월 서강대학교 컴퓨터학

2009년 2월 서강대학교 컴퓨터공학과 대학원

<관심분야> 무선 네트워크, 센서 네트워크, 클러스터링, 라우팅 알고리즘

김 승 욱 (Sungwook Kim)

종신회원



1993년 2월 서강대학교 전자계산학과

1995년 2월 서강대학교 전자계산학과 석사

2004년 2월 시라큐스 대학교 computer science 박사

2005년 중앙대학교 컴퓨터공학부 전임강사

2006년~현재 서강대학교 컴퓨터공학과 조교수

<관심분야> QoS, 실시간 제어처리, 셀룰러 네트워크 자원관리