

무선 센서네트워크에서 최단경로를 고려한 송신전력제어기법

정희원 김 선 환*, 박 창 현*, 이 명 섭**○

Transmission Power Control Technique considering Shortest-Path in Wireless Sensor Networks

Seon-Hwan Kim*, Chang-Hyeon Park*, Myung-Sup Lee**○ *Regular Members*

요 약

무선 센서네트워크에서 에너지 절약을 위해 필요한 송신전력을 제어하는 기법들이 많이 연구 되었다. 그러나 기존 연구들은 송신전력제어 과정에서 최적화된 송신전력 단계를 계산하기 위해 많은 패킷이 필요하다. 본 논문에서는 추가적인 제어 패킷을 발생시키지 않고 최단경로를 고려하는 송신전력제어기법을 제안한다. 그 기법은 네트워크 구성에 필요한 광고 메시지를 최대한 활용하여 제어 패킷을 사용하지 않으며 네트워크 구성 초기에 최대 송신전력 단계로 광고 메시지를 전달하여 구성된 최단경로를 기준으로 한다. 제안한 기법의 평가를 위해 TinyOS에서 제안한 기법을 적용하였다. 그리고 21개의 노드를 이용하여 네트워크를 구성하고 평균 전류 소모량, 평균 네트워크 깊이 등을 측정하였다. 측정한 결과 제안한 기법을 적용한 네트워크가 이전보다 송신 시 평균 전류량이 약 24.7%만큼 적으며 네트워크의 홉 수가 일반 네트워크 홉 수보다 약 41% 적었다.

Key Words : Wireless Sensor Networks; Transmission Power Control; Tree-based Routing

ABSTRACT

There are a number of studies that propose transmission power control algorithms in wireless sensor networks. However, these algorithms have a lot of overhead in the initialization phase since a number of packets have to be transmitted to determine the optimal transmission power level. This paper proposes the transmission power control technique considering the shortest-path to minimize the hop-count without the occurrence of any power control messages. We applied the proposed technique on tree-based network component implemented on TinyOS. And we evaluated the performance including transmission energy and average network depth with 21 motes. Compared to before, the proposed technique reduces about 24.7% of the average electric current on transmitting. As a result of considering the shortest-path, the hop-count considering the shortest-path was about 41% less than a normal network.

1. 서 론

무선 센서네트워크는 무선 센서 노드들이 데이터를 수집을 함과 동시에 RF를 통신 매개체로 삼아 서로

가 통신 중개 역할을 담당하는 형태로 구성되는 비정형적 통신 네트워크를 지칭한다. 이 때 센서 노드들은 충분하지 못한 전력 공급을 전제로 하여 제작되고 동작하기 때문에 비교적 내구성이 약할 뿐만

* 영남대학교 컴퓨터공학과 인공지능 및 지능정보시스템 연구실(amexist@ynu.ac.kr, park@yu.ac.kr),

** 영남이공대학교 컴퓨터정보계열 (skydream@ync.ac.kr) (○:교신저자)

논문번호 : KICS2009-01-025, 접수일자 : 2009년 01월 25일 최종논문접수일자:2009년 7월 10일

아니라, 이동이 요구되는 상황에 있어서 네트워크 구성이 항상 고정 되지 않기 때문에 이러한 외부환경 변화에 동작의 장애를 적게 받는 것이 요구된다. 이런 무선 센서네트워크의 노드에서 대부분의 전력을 소모하는 부분은 라디오 통신 부분이다. 따라서 라디오 통신 부분에서 에너지를 소모를 줄이는 것이 다른 부분을 제어하는 것보다 배터리의 에너지 소모량을 줄이는 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 라디오 송신에 필요한 전력을 최소화시키는 다양한 기법들이 제안되었지만 필요한 전력 단계를 도출하기 위한 계산식과 측정에 필요한 패킷 등이 요구됨에 따라 추가 비용이 많이 발생되는 단점을 보여주었다.

이러한 문제를 해결하기위해 본 논문에서는 트리 기반 네트워크에서 네트워크 구성에 필요한 광고 메시지의 이용을 극대화시켜 추가적인 제어 메시지를 발생시키지 않고 최단경로를 고려한 송신전력제어기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 관련 연구와 그 문제점을 지적하며, 3장에서 최단경로를 고려한 송신전력제어기법을 소개한다. 그리고 4장에서 제안된 송신전력제어기법의 에너지 효율성을 평가하며, 마지막으로 결론과 향후 과제를 5장에서 서술한다.

II. 관련연구

이 절에서는 제안하는 기법을 적용할 수 있는 트리 기반 경로 설정에 관하여 설명하며 아울러 송신 전력제어기법들에 대해서도 살펴본다.

2.1 트리 기반 경로 설정

트리 기반 경로 설정은 각 센서 노드의 데이터가 최종적으로 기지국으로 전달된다는 점에서 착안하여 각 노드가 부모를 가지는 트리구조 형태의 네트워크로 구성시킨다.

2.1.1 PEDAP

PEDAP(Power Efficient Data gathering and Aggregation Protocol)^[1]은 센서네트워크의 생명시간을 최대화시키기 위해 네트워크에 소속되어 있는 노드들의 전체 소비 전력을 줄여야 한다는 대 전체 하에 두 가지 방안을 제시하였다.

첫 번째 방안은 총 전송 거리를 단축하는 것으로, 기지국은 모든 노드의 위치를 알고 있으며 네트

워크 구성에 소비되는 추가 비용은 기지국이 담당하게 된다는 가정 하에서 각 노드간의 거리를 계산할 수 있다. 이 거리를 비용으로 하여 각 노드들을 연결 하는데 Kruskal 알고리즘을 활용하여 최소 신장 트리를 구성한다. 결과적으로 최 말단 노드에서 기지국까지의 총 전송거리를 줄일 수가 있다.

두 번째 방안은 다른 노드의 데이터를 수집 또는 조합하는 노드는 그렇지 않은 노드보다 전력 소비가 높기 때문에 그에 대한 비용을 분산시켜줘야 한다는 전제에서 착안되었다. 특정 라운드에서 특정 노드들은 배터리 잔존용량을 고려하여 데이터를 수집하는 것을 피해야 하며, 그것을 위해서 각 노드의 잔존 배터리 용량을 비용에다가 포함시켰다. 이를 통해 결과적으로 공평한 전력 소비를 구현시킬 수 있다.

2.2 송신전력제어기법

송신전력제어기법은 최대 송신전력으로 전송할 때 낭비되는 에너지를 필요한 송신전력 단계를 계산하고 사용하여 에너지 소모를 줄이는 기법이다. 송신전력제어기법은 다양한 방식으로 분류가 가능하며^[2] 무선 센서네트워크에서 관련된 연구들은 다음과 같다.

2.2.1 PCBL

PCBL(Power Control with Blacklisting)^[3]은 주위 노드에 각 송신전력 단계에 따라 패킷을 보내고 측정된 PRR(Packet Reception Rate)값을 참조한다. 그 값에 근거하여 기준 PRR값을 초과하는 송신전력 단계들 중에서 가장 작은 단계를 선택하여 필요한 송신전력 단계를 구하는 기법이다. PCBL은 RSSI(Receive Signal Strength Indicator)가 거리, 다중 경로, 간섭 등의 영향으로 변할 수 있기 때문에 PRR이 더 좋은 지표라고 설명하고 있다. 하지만 송신전력 단계를 계산하는 초기단계에서 주위의 모든 노드에게 각 송신전력 단계별로 여러 번의 패킷을 보내야 하기 때문에 시간이 많이 걸리며 측정을 위한 패킷도 많이 필요하다.

2.2.2 ATPC

ATPC(Adaptive Transmission Power Control)^[4]는 송신전력 단계를 결정하는 지표로써 RSSI와 LQI(Link Quality Indication)를 사용하며 네트워크 구성에 기본적으로 필요한 광고 메시지(beacon message)를 이용하여 송신전력 단계를 결정한다.

ATPC는 주차장, 잔디밭, 복도 등에서 RSSI, LQI, PRR을 측정하여 이용하였다. 그 결과 89dBm값 이상의 RSSI에서는 약 95%이상의 PRR이 기록되었다. ATPC는 이를 이용하여 기준이 되는 적당한 값을 선정하여 사용하였다. 그래서 다른 기법들보다 송신전력 단계 결정에 참고 되는 기준값의 선정 시간을 줄일 수 있었다. 그 기준값을 이용하여 각 노드로 수신된 패킷의 측정값이 기준값의 이하이면 통지 메시지를 전달하여 송신한 노드의 송신전력 단계를 조절하였다. 그리고 시간과 날씨에 영향을 받는 RSSI를 예측하기 위해 주위 노드의 측정값을 저장하고 최소 자승 근삿값을 사용하였다.

2.2.3 ODTPC

ODTPC(On-Demand Transmission Power Control)^[5]은 PCBL, ATPC기법은 여전히 송신전력제어 준비 단계에서 시간이 많이 소요되며 측정에 소요되는 패킷이 많다는 문제점을 지적하며 ACK 패킷을 이용한 송신전력제어기법을 제안하였다. ODTPC는 2가지의 단계를 가진다. 첫 번째로는 큰 규모의 송신전력제어이다. 초기에 측정된 값을 바탕으로 대략적으로 근사한 값을 송신전력 단계로 사용한다. 두 번째로는 작은 규모의 송신전력제어이다. 큰 규모의 송신전력제어 이후 패킷이 전달될 때 마다 측정된 값을 기준 값과 비교하여 고정된 작은 단계만큼 송신전력을 제어한다.

하지만 ODTPC의 송신전력제어는 메시지 전달 과정에서 이루어지기 때문에 메시지의 전달이 적은 네트워크에서는 송신전력의 단계를 결정하는 시간이 늦어지거나 지속적으로 이루어지지 않을 수 있다.

III. 최단경로를 고려한 송신전력제어기법

본 논문에서 제안하는 송신전력제어기법은 주위 노드의 정확한 통신 품질 측정값을 위해 'Closed Loop'를 사용하고 각 노드가 주체가 되어 지속적으로 송신전력을 제어한다. 그리고 멀티홉 통신에서 메시지 전달에 소요되는 패킷을 최소화하기 위해 최단경로를 고려하여 송신전력 단계를 제어하기 때문에 추가적인 메시지를 발생시키지 않게 한다.

송신전력제어기법의 전체적인 과정을 그림 1에 보이며, 세부 과정은 다음과 같다.

- 1) 트리 기반 네트워크가 구성된 이후 광고 메시지를 이용하여 자식과 부모 노드들의 LQI값

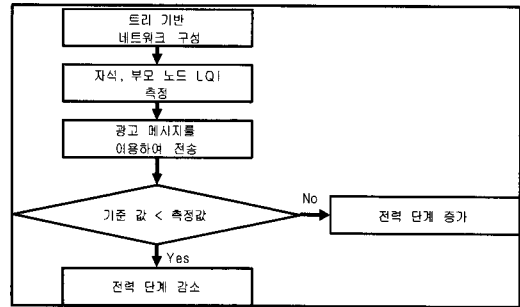


그림 1. 송신전력제어 과정

을 측정한다.

- 2) 측정값을 자신의 광고 메시지에 포함시켜 다른 노드들에게 전달한다.
- 3) 주위 노드들에게 수신된 광고 메시지에서 LQI의 값이 자신의 것이라 확인되면 그것을 기준값과 비교한다.
- 4) 비교 결과에 따라 기준값이 측정값보다 낮으면 전력 단계를 감소시키고 높으면 전력 단계를 높인다.

3.1 기준값 설정

Polastre 외 2명^[6]은 CC2420 라디오 칩을 사용하는 Telos 모트(Mote)에서 CER(Chip Error Rate)를 기반으로 하는 LQI가 RSSI보다 PRR을 예측하기 더 좋은 지표라고 실험을 통해 설명하였다.

실험에서는 LQI가 RSSI보다 PRR에 더 근사하다는 것을 보여주었으며 또한 RSSI는 간섭, 순간 잡음, 다중 경로에 따라 순간적으로 값이 증가되거나 감소될 수 있다고 설명하고 있다. 따라서 RSSI를 이용하여 송신전력 단계를 결정하는 과정에 있어서 잡음으로 인하여 실제 패킷 수신율은 떨어지게 되고 증가된 RSSI의 값으로 인하여 잘못된 송신전력 단계를 결정할 수도 있다.

Shan Lin 외 5명^[4]는 다양한 환경에서 PRR과 LQI의 관계에 대해서 실험을 하였다. 해당 실험에서는 PRR의 값이 작은 LQI의 값에 비례하며 증가하였다. 하지만 일정 이상의 LQI 값에서는 PRR의 값이 점점 소폭으로 증가하였다. LQI의 값이 90이상에서는 약 95% 이상의 PRR을 보여주고 있으며 그 후부터는 LQI의 증가에 따라 변화가 크기가 작기 때문에 송신전력 단계를 증가시켜 PRR의 값을 상승하게 하는 일의 효율성이 떨어졌다.

본 논문에서 제안하는 송신전력제어기법에서는 LQI를 측정값으로 사용하며 이 측정값을 이용하여

송신전력 단계의 증가 및 감소를 결정한다. 기준값의 선정은 네트워크 구성 후 다양한 피드백을 통해 선정할 수 있지만 선정과정에 필요한 측정시간과 계산에 대한 추가비용이 필요하다. 따라서 네트워크의 구성이전에 미리 기준값을 결정하여 사용한다. 기준값은 ATPC의 실험에서 나온 데이터를 바탕으로 95%이상의 PRR을 보여주는 90의 LQI 값을 사용하였다.

3.2 Closed Loop

Gang Zhou의 3명^[7]은 무선 센서네트워크에서 다양한 실험을 통하여 무선 전파의 불규칙성에 대해서 설명하였다. 방향에 따라 전파되는 범위가 달랐으며 그로 인해 같은 송신전력 단계를 가지는 노드들 간에 통신의 단절이 일어날 수 있다고 지적하였다. 하나의 예로 같은 송신전력 단계를 가지는 두 개의 노드 'A'와 'B'가 있고 'A'노드는 'B'에게 데이터를 보낼 수 있지만 무선 전파의 불규칙성으로 'B' 노드의 무선 전파가 'A'에 도달하지 않아 데이터를 보내지 못하는 경우가 생긴다.

이러한 이유로 송신전력 단계를 결정하는 'Open Loop'와 'Closed Loop'의 두 가지 통신 품질 측정 중에서 왕복 메시지를 이용하는 'Closed Loop'가 더 정확한 측정을 할 수 있다. 송신전력 단계 결정의 주체가 되는 노드가 다른 노드들로부터 한 방향으로 측정된 통신 품질만을 이용하는 'Open Loop'는 무선 전파의 불규칙성으로 데이터의 분실이 일어날 수 있다. 하지만 'Closed Loop'가 통신의 신뢰성을 증가시키는 반면에 통신 품질 측정에 소요되는 비용이 증가되는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 송신전력제어기법은 데이터 전달의 신뢰성을 위해 'Closed Loop'측정 기법을 사용하며 통신 품질 측정에 필요한 메시지로 광고 메시지를 활용한다. 따라서 측정값을 전달하기 위해 발생하는 추가적인 메시지가 없다.

트리기반 네트워크의 구조상 각 노드는 부모의 노드의 정보를 저장하고 있지만 자식 노드의 개수가 제한이 없어 자식 노드의 정보를 모두 저장할 수 없기 때문에 부모 노드의 측정값과 자식 노드들 중에서 최소 LQI값을 포함시킨다. 만약 자식 노드들의 정보를 저장하기 위해서는 고정적인 크기의 테이블이 필요하며 주소뿐만 아니라 측정값 등의 정보도 저장해야하기 때문에 밀집된 네트워크의 경우는 많은 메모리 공간이 필요할 수 있다.

또한 고정적인 크기의 테이블은 크기를 결정하기

위한 자식 노드의 개수를 예측하기가 어려우며 고정적인 크기의 테이블보다 많은 자식 노드가 존재하면 더 이상 자식 노드를 가지게 않게 하기 위해 다른 노드에게 할당해줘야 한다. 다른 노드에게 자식을 할당하게 되면 네트워크의 깊이가 커지는 단점이 생긴다. 결국 멀티홉 통신에서 메시지 전달에 참여하는 노드의 개수가 증가되어 네트워크 전체의 성능이 저하된다. 그래서 제안하는 송신전력제어기법은 테이블을 사용하지 않는 트리기반 네트워크에서 적용할 수 있도록 하였다. 트리기반 네트워크에서 광고 메시지에 측정값을 구성하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 각 노드는 부모 노드와 자식 노드들의 LQI값을 측정한다.
- 2) 자신의 광고 메시지에 부모 노드의 측정값, 자식 노드들의 측정값 중에서 가장 작은 값, 가장 작은 값을 가지는 주소를 포함시킨다.

이를 통해 부모 노드들은 자신에 대한 측정값을 자식 노드별로 얻을 수 있고 자식 노드들은 스스로 자신의 회선 품질이 나쁜지 판단할 수 있다.

그림 2은 광고 메시지에 포함되어야 할 측정값의 예를 보여주고 있다. 6번은 모든 자식 노드들에게서 자신의 광고 메시지에 대한 측정값을 수신하게 되고 부모 노드인 1번에게서 4번이 가장 작은 측정값을 가진다는 것을 알 수 있다. 또한 6번은 부모 노드인 1번의 광고 메시지에서 자신에 대한 정확한 측정값을 알 수는 없지만 최소한 85값 이상이라는 것을 판단할 수 있다. 기준값을 90로 잡는다면 4번의 측정값은 기준값 이하이기 때문에 전력 단계가 상승하게 된다. 이로 인해 만약 1번이 4번에 대한 측정값이 95로 높아지게 되면 최적값은 6번의 92값이 된다. 그리하여 6번은 1번으로부터 자신의 측정

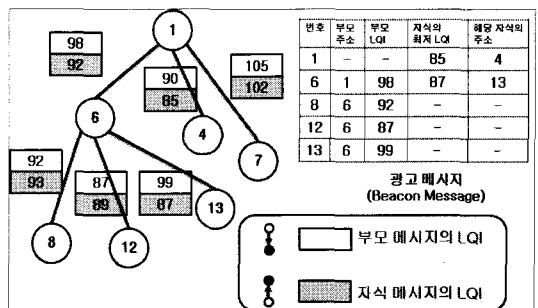


그림 2. 광고 메시지에 포함될 측정값의 예

값을 정확하게 알게 된다. 따라서 가장 통신 품질이 낮은 노드부터 정확한 값을 받게 되고 송신전력 단계를 조절할 수 있게 된다.

2.3 송신전력 단계 결정

송신전력제어는 전파의 범위를 작게 하기 때문에 전체 네트워크의 평균 깊이를 증가시킬 수 있다. 깊이의 증가는 메시지 전달에 필요한 노드의 개수를 증가시키며 최대 송신전력 단계를 사용해서 최소 깊이로 전송한 결과보다 더 많은 에너지를 소모시킬 수 있다. 그래서 높은 주파수 대역을 사용하는 일부 무선 통신 칩들은 최대 전력으로 한 번에 전달할 수 있는 메시지를 최소 전력으로 여러 번 전달하는 것이 더 많은 에너지를 소모하게 된다.^[8]

이런 문제를 방지하기 위해 트리기반 네트워크에서 최단경로를 고려하여 송신전력을 제어한다. 최대 전력 단계로 트리기반 네트워크가 구성된 이후의 경로 설정은 최선 품질에 의해 최단경로를 가지게 된다. 최단경로를 가지는 경로 설정을 유지하기 위해서는 각 노드의 광고 메시지가 부모와 자식 노드들에게 모두 전달되도록 전력 단계를 제어해야 한다. 즉, 전파의 범위가 통신하고자 하는 한 개의 노드만 포함하게 하는 것이 아니라 부모와 자식 노드를 모두 포함하게 송신전력 단계를 제어하는 것이다.

최단경로를 고려한 송신전력 단계의 결정은 다음 과정을 가진다.

- 1) 자식 노드들의 광고 메시지들에서 자신에 대한 측정값을 수집하고 최저 측정값을 계산한다.
- 2) 부모 노드의 광고 메시지에서 자식들의 최저 측정값을 수집한다.
- 3) 자식 노드들에게서 받은 최저측정값과 부모에게 받은 자식들에 대한 최저측정값을 비교한다.
- 4) 다음 조건 중에 한 개라도 만족하면 전력 단계를 증가한다.
 - (1) 1)단계의 값이 기준값 이하이다.
 - (2) 2)단계의 값이 자신에 대한 값이고 기준값 이하이다.
 - (3) 단절노드가 아니면서 부모에 대한 메시지 재전송이 3회 이상 발생한다.
- 5) 다음 조건을 만족하면 전력 단계를 감소한다.
 - (1) 1)단계와 2)단계의 값이 기준값 이상이다.

네트워크가 구성된 이후에 추가되는 노드들도 최

단경로를 가질 수 있다. 추가되는 노드들은 초기에 최대 송신전력 단계를 사용하여 광고 메시지를 보내고 주위 노드들의 광고 메시지를 수신하여 통신 품질이 높고 네트워크의 홉 수가 적은 노드를 부모로 선정한다. 그리고 자신의 광고 메시지에 선정된 부모의 주소를 포함시킨다. 그리하여 부모 노드는 자식노드가 새로 추가된 것을 알게 된다. 이렇게 추가된 노드는 네트워크에 참여하고 되고 그 후 송신전력 단계를 결정한다. 하지만 일부 노드들은 최대 송신전력 단계에서는 추가된 노드들에게 광고 메시지를 전달할 수 있지만 최적화된 송신전력 단계로 인하여 전파의 범위가 작아지게 되고 광고 메시지를 수신 못하는 경우가 생긴다. 그로 인해 경로 설정이 최단경로와는 다르게 구성될 수 있다. 이를 해결하기 위해 네트워크에 추가된 노드들은 주위 노드들에게 자신이 추가된 노드라는 정보를 메시지로 알린다. 해당 메시지를 수신한 노드들은 일정 시간 동안 최대 송신전력 단계로 광고 메시지를 전송하는 것이다. 추가된 노드는 최대 송신전력 단계로 전송한 광고 메시지를 수신하고 네트워크의 깊이와 최선 품질을 고려하여 부모를 설정하게 된다.

그림 3의 (a)는 새로이 추가된 4번 노드가 다른 노드들의 송신전력 단계 최적화로 인하여 잘못된 부모를 선택하는 경우를 나타내고 있다. 1번 노드의 송신전력 단계는 송신전력제어기법으로 인하여 0번과 9번 노드에게 필요한 송신전력 단계를 사용하고 있다. 따라서 4번 노드는 주위 노드들의 광고 메시지를 통하여 그들 중에 하나를 부모로 선택하

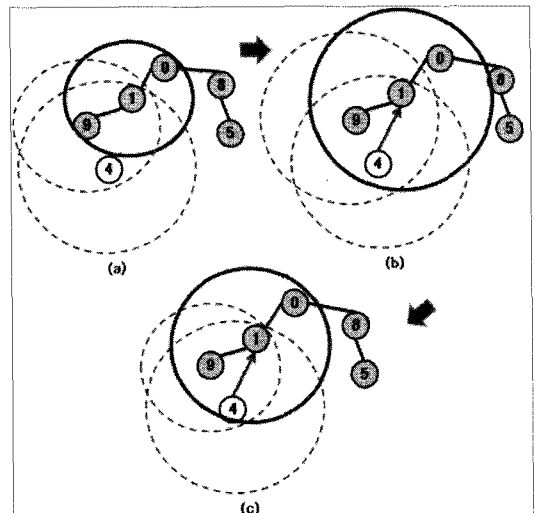


그림 3. 최단경로를 고려한 송신전력제어 과정

는데 9번의 광고 메시지만 수신할 수 있게 되고 1번 노드는 전파 범위가 작아 수신할 수 없게 됨으로 9번을 부모로 설정하게 된다. 그러나 최단경로를 유지하기 위해서는 4번 노드는 1번 노드를 부모로 설정해야 한다. (b)는 추가된 4번 노드의 광고 메시지를 수신하여 주위 노드들이 일정 시간 동안 최대 전송 전력 단계를 사용할 때 나타나는 전파 범위를 보이고 있다. 그리하여 4번이 1번을 부모로 설정하여 최단경로를 구성하게 된다. (c)는 최단경로를 구성하고 다시 송신전력제어를 적용한 모습이다.

IV. 시스템 구현 및 성능평가

4.1 시스템 구현

본 논문에서 제안하는 기법의 성능 평가를 위하여 무선 센서네트워크를 위한 공개 운영체제인 TinyOS 1.1에서 실험 환경을 구현한다.

실험 환경에서 사용된 노드들은 Telos 기반 플랫폼을 사용하는 Hybus사의 Hmote 17개와 Crossbow사의 MicaZ 4개로 총 21개의 노드들을 이용하여 네트워크를 구성하였다.

표 1은 실험에 사용한 센서 노드의 사양을 나타내고 있다. 2가지의 센서 노드는 전체적인 에너지 소비량이 서로 달라 배터리 잔존용량 측정에서는 Hmote 17개의 노드들만을 평가하였다.

TinyOS에서 트리거한 네트워크는 LQIMultihopRouter 컴포넌트에 구현되어 있다. LQIMultihopRouter 컴포넌트는 LQI를 비용으로 하여 부모를 설정

표 1. MicaZ와 Telos의 사양

Mote Type	MicaZ	Telos
Microcontroller		
Type	ATmega128	MSP430
Program memory(KB)	128	48
RAM(KB)	4	10
Radio		
Type	CC2420	
Data Rate(Kbps)	250	
Power Consumption		
Minimum Operation(V)	2.7	1.8
Total Active Power(mA) MCU + RF(RX)	23.3	21.8

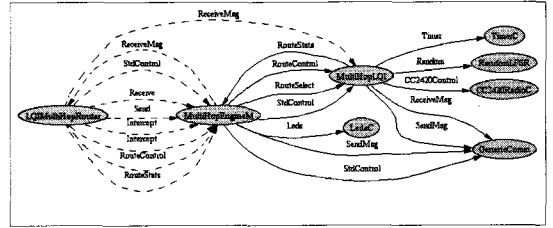


그림 4. LQIMultihopRouter 컴포넌트 그래프

한다. 그림 4에서 MultihopEngineM 컴포넌트는 경로 설정을 위해 부모의 주소를 가져오고 해당 주소로 메시지를 송신하거나 다른 노드의 메시지 멀티홉 전달에 참여하는 역할을 한다.

MultihopLQI 컴포넌트는 광고 메시지의 송·수신을 담당하며 각 노드의 광고 메시지를 수신하여 측정하고 그 측정값에 따라 부모를 설정하는 역할을 하고 있다.

본 논문에서 제안하는 기법을 적용하기 위해 MultihopLQI와 MultihopEngineM 컴포넌트를 수정하였다. 광고 메시지에는 트리거한 네트워크의 구성을 위해 기본적으로 부모의 주소, 비용, 홉 수 등의 정보를 포함하고 있다. 송신전력제어기법을 위해 광고 메시지에 일부 정보를 추가하였으며 추가된 정보는 표 2와 같다.

송신전력제어기법의 실험을 위해 사용되는 Hmote는 CC2420 라디오 칩을 사용하고 있다. TinyOS에서는 이 라디오 칩의 지원을 위해 송신전력 단계 조절 함수(SetRfPower)를 제공하고 있어 이를 사용하였다. 표 3은 CC2420에서 설정할 수 있는 전력 단계를 보여주고 있다. 3에서 31까지 설정할 수 있으면 8단계로 나누어져 있다.

네트워크를 2개의 건물에 연결되어 있는 옥상에 구성하였다. 그리고 'A', 'B', 'C', 'D'의 4가지로 구성하여 임의로 노드들을 배치하였다. 그림 5는 'A' 네트워크에 배치된 노드들을 나타내고 있다.

표 2. 광고 메시지에 추가된 정보

추가 정보	설명
powerLevel	자신의 전력 단계
minLqiChildNode	자식 노드 중 가장 적은 LQI 값을 가지는 노드
parentLqi	부모 노드의 LQI 값
minLqiChild	자식 노드 중 가장 적은 LQI 값
typeAdjustedPower	전력 세기 결정 단계

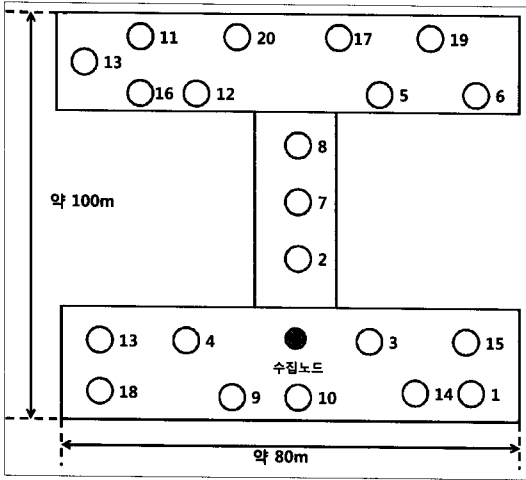


그림 5. 구성된 4개의 네트워크들 중에서 'A' 네트워크의 노드 배치 모습

4.2 시스템 성능평가

전류 소모량, 노드 배터리 잔존용량, 평균 PRR 등은 구성된 4개의 네트워크 중에서 'A' 네트워크에 대해서만 측정하였다. 그리고 평균 값이는 모든 네트워크들을 대상으로 측정하여 제안된 기법을 평가하였다.

제안된 기법을 평가하기에 앞서 송신전력 단계로 별로 노드 전체에 소모되는 평균 전류량을 측정하였다. 2개의 노드에 다른 송신전력 단계를 사용하여 지연시간 없이 연속적으로 패킷을 전송하였다. 그리고 멀티미터를 이용하여 노드에 소모되는 평균 전류량을 측정하였다. 측정결과 송신전력을 가장 낮은 단계로 사용한 노드와 가장 높은 단계를 사용한 노드의 평균 전류 소모가 크게 차이 나지 않았다. 그림 6의 송신전력 단계 3에서 소모하는 19.9mA와 표 3의 송신전력 단계 3에서 소모하는 8.5mA와 차이가 나는 이유는 송신 모드가 아닌 경우에는 자동

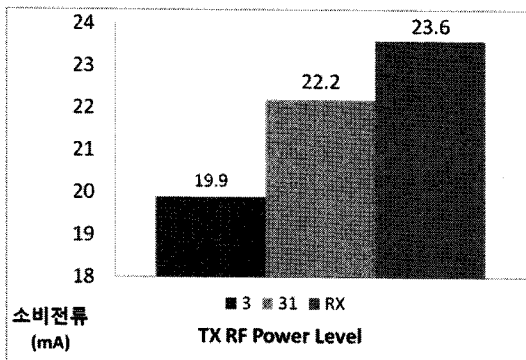


그림 6. TinyOS에서 연속적인 패킷 전달 시 평균 전류 소모

표 3. CC2420의 송신전력 단계

송신전력 단계	출력 파워(dBm)	소비 전류(mA)
31	0	17.4
27	-1	16.5
23	-3	15.2
19	-5	13.9
15	-7	12.5
11	-10	11.2
7	-15	9.9
3	-25	8.5

으로 수신 모드로 작동하기 때문에 패킷 처리시간 동안에 발생하는 간격이 수신 모드로 작동하여 나타난 결과로 판단된다.

결국 무선 센서네트워크에서 노드들이 주기적으로 저전력 모드로 전환하여 에너지 소비를 줄이는 'Sleep Scheduling'과 함께 적용되거나 메시지 전송률이 높은 네트워크에 송신전력제어기법을 적용해야 더 많은 효과를 볼 것으로 기대된다.

그림 7은 송신전력제어기법을 적용하기 전과 적용한 후로 나누어 송신에 소모되는 평균 전류량을 나타내고 있다. LQI값의 90을 기준값으로 설정하였으며 센서 노드의 메시지 전송주기를 2초로 설정하였다. 제안한 기법을 적용한 네트워크의 송신 시 평균 소모 전류량이 이전보다 약 24.7% 적었다.

그림 8은 일부 노드에서 측정한 배터리 잔존 용량의 차이를 송신전력제어기법을 적용하기 전과 적용한 후로 나누어 비교한 결과이다. 배터리 잔존용량을 최대 약 8% 절약하였다. 2번 노드가 6번 노드보다 배터리 소모량이 많이 절약 되었다. 그 이유는 2번 노드가 수집노드에 가까워 메시지 전달에 많이 참여하였기 때문이다. 일반적으로 메시지 전달이 많을수록 에너지 소비가 많으나 센서 노드는 RF

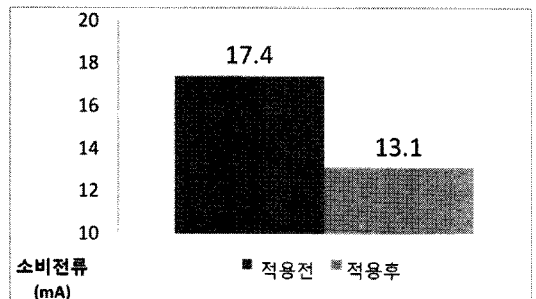


그림 7. 송신전력제어기법 적용 유무에 따른 송신 시 평균 전류소모량

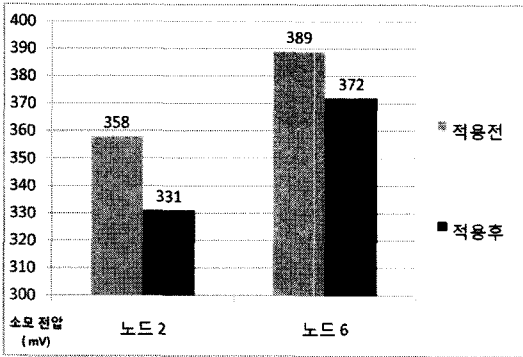


그림 8. 송신전력제어기법 적용 유무에 따른 노드의 배터리 잔존용량의 차이

신호의 송신 보다 수신에 에너지 소모량이 많아서 오히려 메시지 전달이 많은 노드가 배터리 소모량이 더 적었다. 그리고 송신전력제어기법의 효과가 가장 컸다.

그림 9는 네트워크의 깊이를 고려하지 않고 송신전력을 제어한 기법과 네트워크의 깊이를 고려하면서 송신전력을 제어한 기법의 평균 네트워크 깊이를 나타내고 있다. 깊이를 고려한 쪽이 일반보다 평

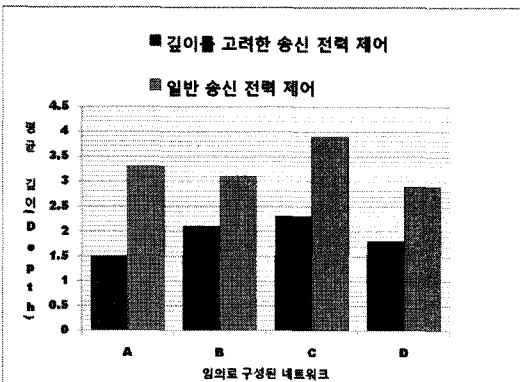


그림 9. 깊이를 고려한 송신전력제어기법의 평균 네트워크 깊이

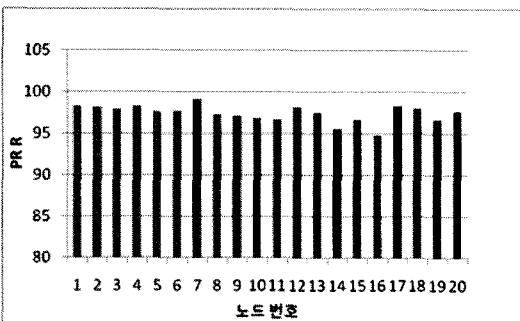


그림 10. 각 노드의 패킷 수신율

균 약 41%만큼 깊이가 작았다.

그림 10에서는 패킷 송신 주기를 2초로 설정하고 송신전력제어기법을 적용한 후 각 노드의 PRR을 약 1시간 동안 측정한 결과를 보인다. 측정 결과 네트워크의 전체 평균값은 약 96%의 PRR 값을 보였다.

V. 결론

본 논문에서는 추가적인 제어 패킷을 발생시키지 않고 최단경로를 고려하는 송신전력제어기법을 제안하였다. 제안된 기법은 광고 메시지를 최대한 이용함으로써 측정을 위해 발생하는 추가적인 제어 메시지를 없애고 'Closed Loop' 기법을 적용하였다. 또한 송신전력 단계의 기준이 되는 측정값을 미리 선정하여 그것을 계산하기 위해 소요되는 시간을 줄였다. 최단경로를 고려하기 위해 최대 송신전력 단계로 광고 메시지를 전달하여 초기에 구성된 경로 설정을 기준으로 하였다. 그 후 경로 설정이 변경되지 않는 선에서 송신전력 단계를 제어 하였다. 그리고 노드의 추가 시 잘못된 최단경로가 형성될 수 있는 문제를 해결하기 위해 일정 시간 동안 주위 노드의 광고 메시지를 최대 전력 제어 단계로 전송 되도록 하였다.

제안한 기법을 적용한 네트워크가 이전보다 송신시 소요되는 평균 전류량을 약 24.7%만큼 줄였으며, 설정된 경로의 깊이가 평균 약 41% 작았다. 본 논문의 향후 연구 방향으로 송신 제어 전력 기법에서 진동현상을 예방하고자 전력 단계를 예측하고 변화하는 네트워크의 환경을 위해 초기에 설정된 기준값을 동적으로 조절해 주는 기법 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] H.O Tan and I. Korpeoglu, "Power Efficient Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks", *ACM SIGMOD*, Vol 32, No. 4, pp. 66-71, Dec. 2003
- [2] Novakovic. D. and M. Dukic, "Evolution of the power control techniques for DS-CDMA toward 3G wireless communication systems" *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 3, No. 4, pp. 2-15, Sep. 2000
- [3] D. Son, B. Krishnamachari, and J. Heidemann.

"Experimental Study of the Effects of Transmission Power Control and Blacklisting in Wireless Sensor Networks." *IEEE SECON*, Vol. 1, pp. 289-298 Oct. 2004.

- [4] S. Lin, J. Zhang, L. Gu, T. He, and J. Stankovic. "ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks." *In Proceedings of SenSys*, pp. 223-236, Nov. 2006.
- [5] Kim, Junseok, Chang, Sookhyeon, Kwon, Younggoo. "ODTPC: On-demand Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks." *IEEE ICOIN*, pp. 1-5, Jan. 2008
- [6] J. Polastre, R. Szewczyk, and D. E. Culler. "Telos: enabling ultra- lowpower wireless research." *IPSN*, pp 364-369, Apr. 2005
- [7] Zhou, G., He, T., Krishnamurthy, S., and Stankovic, J. A. 2004. "Impact of Radio Irregularity on Wireless Sensor Networks." *ACM MobiSys* . pp. 125 - 138, Jun. 2004
- [8] 엄홍식, 김건욱, "전송전력 최적화를 통한 센서네트워크의 효율적인 에너지관리에 대한 연구" *전자공학회논문지 제 44 권 CI 편 제 3 호* 255-230, 2007년 5월

김 선 환 (Seon-Hwan Kim)

정회원



2006년 2월: 영남대학교 컴퓨터 공학 공학사
 2009년 2월: 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사
 2009년 3월~현재: 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 지능형 망관리 시스템, 무선 센서네트워크, 임베디드 운영체제

박 창 현 (Chang-Hyeon Park)

정회원

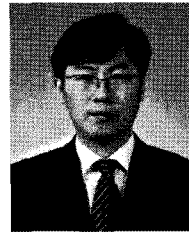


1986년: 경북대학교 전자공과 공학사
 1988년: 서울대학교 계산통계학과 전산학전공 이학석사
 1992년: 서울대학교 계산통계학과 전산학전공 이학박사
 1992년~1993년: 서울대학교 컴퓨터신기술공동연구소 특별연구원

1998년~1999년: University of Maryland, Institute of Advanced Computer Systems, Visiting Researcher
 1993~현재: 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> 인공지능, 데이터 마인닝, 에이전트, 지능형 망관리 시스템, 무선 센서네트워크

이 명 섭 (Myung-Sub Lee)

정회원



1998년 2월: 경일대학교 컴퓨터 공학 공학사
 2000년 2월: 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사
 2003년 8월: 영남대학교대학원 컴퓨터공학과 공학박사
 2001년~2003년: 경동정보대학 인터넷정보계열 전임강사

2003년~2008년: 영남대학교 전자정보공학부 객원교수
 2008년~현재: 영남이공대학 컴퓨터정보계열 교수
 <관심분야> 망관리 시스템, 데이터 마인닝, 에이전트, QoS(Quality of Service), 무선 센서네트워크