무선센서네트워크 환경에서 기대전송비용을 이용한 효율적인 포워딩 기법

배동주, 서재완, 추현승
성균관대학교 정보통신공학부
e-mail:{mirine27, todoll2, choo}@skku.edu

Efficient Forwarding Strategy with Expected Transmission Cost in Wireless Sensor Networks

Dongju Bae, Jaewan Seo, Hyunseung Choo
School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University

요 약

위치기반 라우팅 기법들은 소스에서 목적지노드로 데이터 패킷을 전송하기 위한 목적으로 널리 사용된다. 오리지널 그리디 포워딩 기법은 실제 무선링크의 신뢰성을 고려하지 않아 수많은 데이터 패킷 재전송이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 PRR × Distance 기법이 제안되었지만 실제 무선링크의 비대칭성을 고려하지 않아 여전히 많은 재전송이 발생한다. 제안기법은 포워딩할 데이터 패킷을 가진 현재 노드의 전송 반경 내에서 전송 가능한 1-hop과 2-hop 라우팅 경로를 찾는다. 이들 라우팅 경로들 중 기대전송비용이 최소가 되는 경로를 선택하여 데이터와 ACK 패킷을 전송한다. 시뮬레이션을 결과를 통해 제안기법이 기존 기법들보다 높은 신뢰성과 에너지 효율을 가짐을 보인다.

1. 서론

위치기반 라우팅의 대표적인 기법인 오리지널 그리디 포워딩은 목적지노드에 가장 가까운 이웃노드에게 패킷을 전송한다. 하지만 이웃노드 선정 시 링크 퀄러티를 고려하지 않아 데이터 전송 성공률과 에너지 효율이 떨어지는 문제를 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 링크 퀄러티(PRR: Packet Reception Rate)와 목적지와 이웃노드 사이의 거리를 모두 고려한 PRR × Distance 기법이 제안되었다.[1] 하지만 PRR × Distance 기법은 실제 환경의 비대칭성을 고려하지 않아 수많은 데이터 패킷 재전송이 발생하고 이로 인해 에너지 효율과 데이터 전송 성공률이 떨어지는 문제를 가진다.

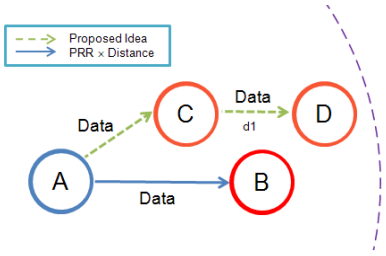
본 논문에서는 실제 무선링크의 비신뢰성과 비대칭성을 모두 고려하여 센서 노드의 제한된 자원을 효율적으로 사용한다. 제안기법은 전송반경 내의 이웃노드 정보만을 이용하여 기대전송비용이 최소가 되는 라우팅 경로를 선택한다. 기대전송비용(ETC: Expected Transmission Cost)은 데이터와 ACK 패킷 전송 방향의 PRR 값을 모두 고려한 총 소비 에너지양을 나타낸다. 이러한 방법을 통해 제안기법은 데이터와 ACK 패킷의 총 전송 횟수를 줄이고 에너지 효율과 데이터 전송 성공률 향상을 가진다.

2. 관련 연구

PRR × Distance 기법은 이웃노드들 중 PRR × Distance 값이 가장 큰 노드를 다음 포워딩 노드로 선정함으로써 무선링크의 신뢰성 문제를 해결한다. 하지만 해당 기법은 데이터 패킷을 포워딩 할 때 실제 무선 링크의 비대칭성을 고려하지 않는다. 이로 인해 역방향 링크의 PRR 값이 떨어질 경우 ACK 패킷 전송 실패로 인해 데이터 재전송이 다수 발생하고 심할 경우 delivery failure이 발생한다.

3. 제안기법

실제 무선센서네트워크 환경에서 링크는 비신뢰성과 비대칭성을 가진다[2]. 따라서 신뢰성을 보장하면서 에너지 효율적인 라우팅을 위해서는 데이터와 ACK 전송 방향 PRR 값을 모두 고려하여야한다. 하지만 PRR × Distance 기법은 데이터 패킷을 포워딩할 때 역방향 링크의 PRR 값을 고려하지 않는다. 이로 인해 ACK 패킷 전송 방향의 PRR 값이 떨어질 경우 ACK 패킷 전송 실패로 인해 수많은 데이터 패킷 재전송이 일어난다. 따라서 본 논문에서는 실제 무선링크의 비신뢰성과 비대칭성을 모두 고려한 기법을 제안한다.



(그림 1) 제안기법과 PRR × Distance 기법 비교

제안기법은 전송반경 내에서 양방향 링크의 PRR 값들을 고려한 기대전송비용이 최소가 되는 경로를 이용한다. 그림 1와 같이 2-hop 라우팅 경로는 한 이웃노드와 해당 이웃노드로 부터 Connected Region에 있는 다른 이웃노드로 구성된다. $d_1 \le d_{connected}$ 이며 노드 C와 D 사이의 PRR 값은 양방향 모두 1의 값을 가진다. $d_{connected}$는 Connected Region의 최대 거리를, d_1은 노드 C와 D 사이의 거리를 나타낸다. 제안기법에서는 이러한 라우팅 경로를 이용하여 데이터와 ACK 패킷을 전송한다.

$$ETC = Energy_Cost \times Expected_Hops \quad (1)$$

$$Energy_Cost = Size_{Data} \times T_{Data} + Size_{ACK} \times T_{ACK} \quad (2)$$

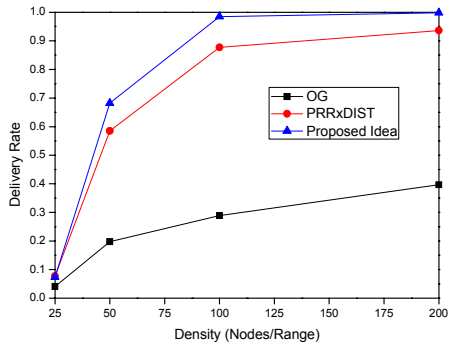
$$Expected_Hops = \frac{d_2}{d_1} \quad (3)$$

$$T_{Data} = \frac{1}{PRR_{Data} \times PRR_{ACK}} \qquad T_{ACK} = \frac{1}{PRR_{ACK}} \quad (4)$$

기대전송비용은 선택한 경로를 통해 데이터와 ACK 패킷 전송 시 예상되는 총 에너지 비용을 나타낸다. 기대전송비용은 수식 1과 같이 선택된 경로에서의 데이터와 ACK 패킷 전송 시 필요한 에너지(Energy_Cost)와 선택한 경로를 이용해 목적지노드까지 데이터를 전송하기 위해 필요한 홉 수(Expected_Hops)의 곱이다. 수식 2에서 $Size_{Data}$와 $Size_{ACK}$는 각각 데이터와 ACK 패킷의 크기를 의미하며 T_{Data}와 T_{ACK}는 각각 데이터 기대 전송횟수와 ACK 기대 전송 횟수를 나타낸다. 각각은 수식 4와 같이 데이터 전송 방향 링크의 PRR 값과 ACK 전송 방향 PRR 값을 이용하여 구한다. 수식 3에서 d_1은 패킷을 포워딩하는 현재노드와 이웃노드 사이의 거리를, d_2는 현재노드와 목적지노드사이의 거리를 나타낸다.

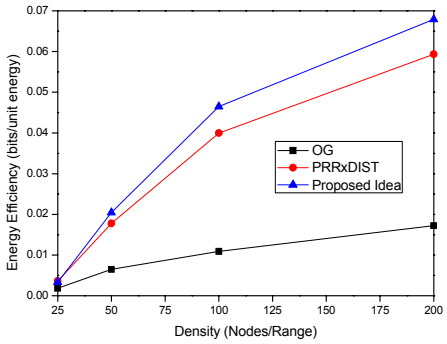
4. 성능평가

본 논문에서 제안하는 라우팅 기법의 성능을 평가하기 위해 우리는 C++를 시뮬레이터로 사용하였다. 제안기법의 성능을 비교하기 위해 오리지널 그리디 포워딩, PRR × Distance 기법을 같이 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 파라미터는 다음과 같다. ARQ(Automatic Repeat reQuest)는 10, 노드 수는 1000개, 전송반경은 40m이다.



(그림 2) 노드 밀도에 따른 데이터 전송 성공률

그림 2는 노드 밀도 25, 50, 100, 200일 때 오리지널 그리디 포워딩, PRR × Distance, 제안기법의 데이터 전송 성공률을 보여준다. 세 기법 모두 노드 밀도가 증가할수록 성능향상을 보이며 제안기법이 가장 높은 데이터 전송 성공률을 가진다. 그림 3은 그림 2와 같이 노드 밀도 변화에 따른 에너지 효율을 나타낸다. 노드 밀도가 높을수록 에너지 효율이 높으며 제안기법이 가장 높은 에너지 효율을 가짐을 알 수 있다. 이는 제안기법이 기대전송비용이 작은 즉 재전송을 포함한 총 재전송 횟수가 작은 라우팅 경로를 이용하여 데이터와 ACK 패킷의 전송 성공률과 에너지 효율을 향상시키기 때문이다.



(그림 3) 노드 밀도 변화에 따른 에너지 효율

5. 결론

본 논문에서는 에너지 효율적인 데이터 패킷 전송을 위해 기대전송비용을 정의하고 전송반경 내에서 기대전송비용이 최소가 되는 라우팅 경로를 찾는다. 이를 통해 제안기법은 기존 위치기반 라우팅 기법들이 실제 무선링크의 비신뢰성과 비대칭성을 고려하지 못해 발생한 문제점들을 해결하고 성능향상을 얻는다. 성능평가를 통해 제안기법이 기존의 위치기반 라우팅 기법들보다 데이터 전송 성공률과 에너지 효율이 높다는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 과제(결과물)는 교육과학기술부 • 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.
책임저자 : 추현승

참 고 문 헌

[1] M. Z. Zamalloa, K. Seada, B. Krishnamchari, and A. Helmy, "Efficient Geographic Routing over Lossy Links in Wireless Sensor Networks", ACM Transactions on Sensor Networks, vol. 4, issue. 3, no. 12, 2008.

[2] M. Zuniga and B. Krishnamachari, "An Anaysis of Unreliability and Asymmetry in Low-Power Wireless Links", ACM Transactions on Sensor Networks, vol. 3, issue. 2, no. 7, 2007.