

# 현실적인 무선센서네트워크 환경에서의 바이패스 위치기반 라우팅

배동주, 안민준, 추현승  
성균관대학교 정보통신공학부  
e-mail:mirine27@skku.edu, triplen21c@gmail.com, choo@skku.edu

## Bi-path Geographic Routing in Realistic Wireless Sensor Networks

Dongju Bae, Minjoon Ahn, Hyunseung Choo  
School of Information and Communication Engineering  
Sungkyunkwan University

### 요 약

실제 무선센서네트워크 환경에서 무선링크는 일반적으로 발생하는 간섭, 감쇠, 멀티패스 등으로 인해 비신뢰성과 비대칭성을 가진다. 기존에 제안된 위치기반라우팅기법들은 이러한 무선링크의 특성을 고려하지 않아, 데이터 전송 성공률과 에너지 효율이 떨어지는 문제를 가진다. 본 논문에서는 무선링크의 비신뢰성과 비대칭성 그리고 거리 값을 고려한 기대전송비용(EC)을 정의하고, 데이터와 ACK 패킷 각각에 대해 예상전송비용이 최소인 경로를 찾아 에너지 효율적인 전송을 한다. 이러한 방법을 통해 센서노드의 제한된 배터리 자원을 효율적으로 사용하고, 네트워크 라이프타임을 증가시킨다.

### 1. 서론

위치기반 라우팅은 무선센서네트워크 환경에서 위치정보를 기반으로 소스 노드에서 목적지 노드로 패킷을 포워딩하기 위해 사용되는 대표적인 라우팅 기법이다. 위치기반 라우팅은 전송반경 내의 로컬정보만을 이용하여 상태 정보 유지가 거의 필요 없으며 확장성(scalability)이 좋다는 장점을 갖는다. 탐욕 포워딩 기법[1]은 위치기반 라우팅의 대표적인 기법으로 각 노드는 목적지에 가장 가까운 이웃 노드를 다음 포워딩 노드로 선정하고 패킷을 포워딩한다. 해당 기법은 거리를 고려함으로써 목적지 노드까지의 홉 수를 줄인다.

하지만 탐욕 포워딩 기법은 거리 값만을 고려하여 패킷을 포워딩하여, fading, attenuation, interference 등이 일반적으로 발생하는 무선센서네트워크 환경에서 데이터 패킷이 손실될 확률이 매우 높다[2, 3]. 따라서 데이터 패킷 전송의 신뢰성을 보장하기 위해 기존 라우팅 기법들은 데이터 패킷을 재전송하는 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 사용한다. 데이터 패킷 손실(loss) 시 ARQ를 고려하지 않을 경우 데이터 전송 성공률이 크게 감소하며, 반대로 ARQ를 고려할 경우 수많은 재전송이 발생하여 센서 노드의 한정된 자원의 낭비로 네트워크의 수명이 크게 감소한다.

무선링크가 가지는 비신뢰성으로 인해 발생하는 문제점들을 해결하기 위해 여러 기법들이 제안되었다. 대표적으로 Seada et al.은 신뢰성을 보장하기 위해 목적지까지의 거리뿐만 아니라 PRR(Packet Reception Rate)을 동시

에 고려하여 패킷을 전송한다[4, 5]. 하지만 실제 무선센서네트워크 환경에서 일반적으로 발생하는 링크의 비대칭성을 고려하지 않아, ACK 패킷을 전송하는 방향의 PRR이 떨어질 경우 데이터 전송 성공률과 에너지 효율이 크게 떨어지는 문제를 갖는다[8, 9].

따라서, 본 논문에서는 실제환경에서 무선링크가 가지는 비신뢰성과 비대칭성을 고려하여 BGR (Bi-path Geographic Routing) 기법을 제안한다. BGR은 실제 무선환경에서 효율적인 패킷 전송을 위해 데이터와 ACK 패킷 각각에 대한 예상전송비용(EC)을 계산하고, EC가 최소인 경로를 통해 패킷을 전송한다. 이를 통해 재전송 비용을 줄이고 센서 노드의 제한된 배터리 자원을 효율적으로 사용한다[8].

### 2. 관련연구

탐욕 포워딩 기법은 대표적인 위치기반 라우팅 기법으로, 각 노드는 자신과 이웃 노드들의 위치정보와 목적지 노드의 위치정보를 안다. 이를 바탕으로 초기에 제안된 위치기반 라우팅은 이웃 노드들 중 목적지 노드에 가장 가까운 노드를 다음 포워딩 노드로 선택하여 데이터를 전송한다[1]. 탐욕 포워딩 기법은 노드의 위치 정보만을 이용하여 상태 정보 유지가 불필요하다는 장점을 갖는다. 하지만 실제 환경에서 무선 링크의 신뢰성이 크게 떨어져 데이터 전송 성공률이 감소하는 문제를 갖는다. 이를 해결하기 위해 재전송을 고려할 경우, 데이터 전송 성공률은 증가시킬 수 있지만, PRR이 낮은 링크를 통해 데이터와

ACK 패킷을 송수신하기 때문에 수많은 패킷 재전송으로 인한 에너지 낭비문제가 발생한다.

Seada et al.은 거리에 따른 패킷 손실을 고려하여 에너지 효율적인 라우팅을 제안한다[4, 5]. 논문에서 제안한  $PRR \times Distance$  그리디 포워딩 기법은  $PRR$ 과 목적지 노드까지 거리가 얼마나 가까워졌는지를 나타내는  $Distance$ 의 곱이 가장 큰 이웃 노드를 다음 포워딩 노드로 선정한다. 해당 기법은 거리와  $PRR$  값을 곱함으로써 목적지 노드부터 거리가 멀지만 높은  $PRR$ 을 가진 링크와 목적지 노드에 가깝지만  $PRR$ 이 낮은 링크 사이의 균형을 맞춘다. 또한 symmetry 링크 환경에서  $PRR \times Distance$  값이 클수록 에너지 효율이 높다는 것을 보인다.

### 3. BGR(Bi-path Geographic Routing)

#### 3.1 오버뷰

BGR은 실제 무선센서네트워크 환경에서 링크가 가지는 비신뢰성과 비대칭성으로 인해 기존 그리디 포워딩 기법들이 가지는 데이터 전송 성공률과 에너지 효율 저하 문제를 개선한다. 특히, ACK 패킷 전송 방향 링크의 신뢰성이 크게 떨어질 경우의 불필요한 데이터 패킷 재전송을 줄임으로써, 센서 노드의 제한된 자원을 효율적으로 사용하고 네트워크의 수명을 증가시킨다. BGR은 신뢰성과 효율성을 보장하는 패킷 전송을 위해, 데이터와 ACK 패킷 각각에 대해 예상되는 소비 에너지를 나타내는 EC (Expected Cost)가 최소인 경로를 찾는다. 이를 통해 BGR은  $PRR$ 이 낮은 링크의 사용을 피하고, 데이터 및 ACK 패킷 재전송 비용을 줄인다.

#### 3.2 EC(Expected Cost)

BGR은 소스에서 목적지까지 데이터 패킷 전송 시 소비되는 총 에너지를 최소화하기 위해 EC를 사용한다. EC는 전송반경 내에서 패킷 전송 시 발생 가능한 총 에너지 비용으로  $PRR$ 과 거리 값 사이의 균형을 맞춘다. 수식 (1)에서  $ECP$ (Expected Cost with Probability)는 해당 라우팅 경로를 통해 패킷 전송 시 기대되는 평균 전송횟수를,  $EHD$ (Expected Hops using Distance)는 선택한 라우팅 경로를 이용해서 목적지 노드까지 데이터를 전송하기 위해 필요한 홉 수를 나타낸다.

$$EC = ECP \times EHD \quad (1)$$

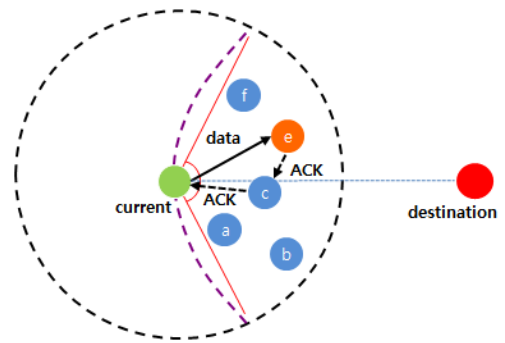
기대 평균 패킷 전송횟수를 나타내는  $ECP$ 은 패킷을 송신하는 노드(sender)와 수신하는 노드(receiver) 사이의  $PRR$  값을 이용하여 수식 (2)와 같이 계산된다. 기대 전송홉 수를 나타내는  $EHD$ 는 패킷 송신 노드에서 목적지까지의 거리  $d(current, destination)$ 과 송신 노드에서 목적지 노드로 가까워진 정도를 나타내는  $d(current, neighbor)$ 를 이용하여 수식 (3)과 같이 나타내진다.

$$ECP = \frac{1}{PRR_{sender \rightarrow receiver}} \quad (2)$$

$$EHD = \frac{d(sender, destination)}{d(sender, receiver)} \quad (3)$$

#### 3.3 BGR의 동작 과정

BGR은 실제 무선환경에서 링크가 가지는 비신뢰성과 비대칭성 그리고 거리 값을 고려한 EC를 계산하고, EC가 최소인 경로를 통해 데이터와 ACK 패킷을 전송한다. 이를 통해 신뢰성이 낮은 링크의 사용을 피한다. 데이터와 ACK 패킷 각각에 대해 최적의 경로를 찾기 때문에, 그림 1과 같이 데이터와 ACK 패킷 전송 시 다른 경로가 사용될 수 있다. 즉, 한 번의 데이터 패킷 전송에 대해 ACK 패킷 전송 홉 수가 1이상일 수 있다.



(그림 1) BGR의 데이터와 ACK 패킷 전송

그림 1에서와 같이 데이터 패킷을 송신할 노드는 자신의 이웃노드들(a, b, c, e, f)에 대한 EC를 계산하고, EC가 최소인 e 노드로 데이터 패킷을 전송한다. 데이터 패킷을 수신한 e 노드는 데이터를 송신한 current 노드를 임시 목적지 노드로 선정하고, 자신의 이웃 노드들에 대한 EC 값을 계산한다. 노드 e는 EC 값이 최소인 c 노드로 ACK 패킷을 송신하고, 이를 수신한 c 노드는 e 노드와 동일한 방법을 통해 EC가 최소인 current 노드로 ACK 패킷을 송신한다. 이 과정은 데이터 패킷이 목적지 노드(destination)에 도달할 때까지 반복된다.

(표 1) 선정된 패킷 전송 경로의 EC

전송 경로	EC
$data_{current \rightarrow e}$	$\frac{1}{PRR_{current \rightarrow e}} \times \frac{d(current, destination)}{d(current, e)}$
$ACK_{e \rightarrow c}$	$\frac{1}{PRR_{e \rightarrow c}} \times \frac{d(e, current)}{d(e, c)}$
$ACK_{c \rightarrow current}$	$\frac{1}{PRR_{c \rightarrow current}} \times \frac{d(c, current)}{d(c, current)}$

그림 1에서 데이터 패킷과 ACK 패킷 전송 시 사용된 경로의 EC 값은 표 1과 같다. 표 1에서  $data_{current \rightarrow e}$ 는 current 노드에서 e 노드로 데이터 패킷 전송 경로,  $ACK_{e \rightarrow c}$ 는 e 노드에서 c 노드로 ACK 패킷 전송 경로,  $ACK_{e \rightarrow current}$ 는 e 노드에서 current로의 ACK 패킷 전송 경로를 나타낸다.

#### 4. 결론

본 논문에서 우리는 제한된 배터리 자원을 가진 무선 센서네트워크에서 신뢰성 있으면서도 에너지 효율적인 BGR 기법을 제안하였다. BGR은 실제 무선센서네트워크 환경에서 무선링크가 가지는 비신뢰성과 비대칭성 그리고 목적지 노드까지의 홉 수를 고려한 EC를 계산하고, EC가 가장 낮은 노드로 패킷을 전송한다. 이러한 방법을 통해 BGR은 신뢰성이 떨어지는 링크의 사용을 피해, 기존 그리디 포워딩 기법들 대비 높은 데이터 전송 성공률과 에너지 효율을 가진다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 지식경제부(정보통신산업진흥원) 대학ITRC, 교육과학기술부(한국연구재단) 중점연구소지원사업, 교육과학기술부(한국연구재단) WCU사업의 일부지원으로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1021-0008), 2010-0020210, No. R31-2008-000-10062-0). 책임저자: 추현승

#### 참고문헌

- [1] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," In Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 243-254, 2000.
- [2] J. Zhao and R. Govindan, "Understanding Packet Delivery Performance in Dense Wireless Sensor Networks," In Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 1-13, 2003.
- [3] D. Ganesan, B. Krishnamachari, A. Woo, D. Culler, D. Estrin, and S. Wicker, "Complex Behavior at Scale: An Experimental Study of Low-Power Wireless Sensor Networks," International Workshop on Distributed Event-based Systems, 2002.
- [4] M. Z. Zamalloa, K. Seada, B. Krishnamachari, 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.
- [5] K. Seada, M. Zuniga, A. Helmy, and B. Krishnamachari, "Energy-Efficient Forwarding Strategies for Geographic Routing in Lossy Wireless Sensor Networks," In Proceedings of the 1st

International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 108-121, 2004.

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

[7] J. Du, W. Shi, and K. Sha, "Asymmetry-aware link quality services in wireless sensor networks," Journal of Embedded Computing, vol. 3, issue. 2, pp. 141-154, 2009.

[8] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, vol. 40, issue. 8, pp. 102-116, 2002.

[9] D. S. J. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, and R. Morris, "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing," Wireless Networks, vol. 11, issue. 4, pp. 419-434, 2005.