

로우듀티사이클 환경을 고려한 무선센서네트워크에서 데이터 전송지연을 향상한 그리디 포워딩

최준성*, Huu Nghia Le*, 손민한*, 추현승*
*성균관대학교 정보통신대학
e-mail: {cjscmj, lhnghia, minari95, choo}@skku.edu

Delay Improvement Greedy Forwarding in Low-Duty-Cycle Wireless Sensor Networks

Junseong Choe*, Huu Nghia Le*, Minhan Shon*, and Hyunseung Choo
*College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

본 논문에서는 로우듀티사이클 환경을 고려하여 목적지까지 데이터 전송의 신뢰성뿐만 아니라 낮은 데이터 지연도 보장하는 DIGF (Delay Improvement Greedy Forwarding) 기법을 제안한다. 초기에 제안된 그리디 포워딩 기법들은 무선링크가 갖는 비신뢰성 및 비대칭성의 문제점을 해결하기 위해 데이터 전송 성공률과 에너지 효율을 높이는 기법이 제안되었다. 하지만 많은 그리디 포워딩 기법들은 노드들이 데이터를 송수신하기 위해 대기하고 있는 수신대기상태로 인한 많은 에너지 소모를 고려하지 않아 네트워크 라이프타임을 감소시킨다. 이러한 문제점을 해결하고자 제안기법인 DIGF는 무선링크의 비신뢰성과 비대칭성을 고려할 뿐만 아니라 로우듀티사이클 환경을 고려한다. 또한 로우듀티사이클 환경을 고려할 때 발생하는 높은 수면지연성 (Sleep latency) 을 해결하기 위한 알고리즘을 제안하여 낮은 전송지연과 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장한다.

1. 서론

무선센서네트워크의 사용성 증대를 위해서 자원적 제약 중 특히 에너지 측면의 문제를 고려하여 네트워크 라이프타임을 증가시키는 것이 중요하다. 여러 에너지 소비 요인 중, 특히 패킷 전송으로 인한 에너지 소비가 가장 중요하다. 따라서 신뢰성 있으면서도 에너지 효율적인 패킷 전송이 매우 필수적이다. 실제 무선센서네트워크 환경에서는 일반적으로 발생하는 페이딩, 감쇠, 간섭 등으로 인해 이상적인 모델과 달리 데이터 패킷 전송에 있어 많은 무선링크의 신뢰성이 떨어진다[1]. 따라서 무선링크가 갖는 비신뢰성으로 발생하는 문제점을 해결하기 위해 여러 기법들 [2, 3, 4]이 제안되었으며, 기존의 신뢰성을 보장하는 라우팅 기법들은 실제 무선링크가 일반적으로 갖는 비대칭성을 고려하지 않아 ACK 패킷을 전송하는 방향을 고려한 기법[5]이 제안되었다.

최근 많은 데이터 포워딩 기법들은 데이터 송수신하기 위해 대기하고 있는 수신대기상태로 인해 많은 에너지 소모를 갖는다. 수신대기상태는 수신노드가 송신 노드로부터 데이터를 수신하기 위해 대기하고 있는 상태를 의미한다. 각 노드의 수신대기상태로 인해 소모되는 많은 에너지를 고려하지 않아 네트워크 라이프타임을 감소시킨다. 최근에 많은 연구가 진행 중인 로우듀티사이클 환경을 고려하여 라이프타임의 연장이 가능하다. 하지만 데이터 포워딩 기법에 로우

듀티사이클 환경을 고려해도 높은 수면지연성 (Sleep latency) 의 결과로 데이터 전송 기법의 성능 (e.g, delay) 을 저하시키는 문제점을 갖는다.

본 논문에서 제안하는 DIGF (Delay Improvement Greedy Forwarding) 기법은 듀티사이클 환경을 고려한 기존 그리디 포워딩 기법들과 달리 수면지연성을 고려하여 빠른 데이터 분산이 가능하며 양방향 링크 퀄리티로 인한 데이터 전송 신뢰성을 보장할 수 있다.

2. 관련연구

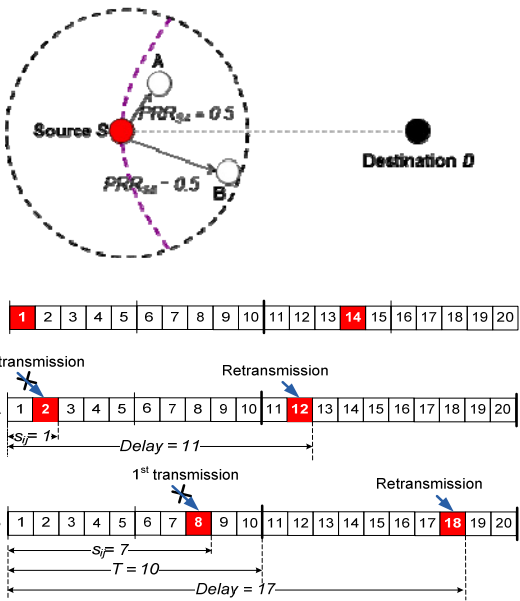
오리지널 그리디 포워딩 기법은 대표적인 위치기반 라우팅 기법이다. 오리지널 그리디 포워딩 기법에서 각 노드는 자신의 위치정보와 전송반경 내에 위치한 이웃 노드들의 위치정보를 알며, 소스 노드는 목적지 노드의 위치를 안다. 이러한 위치정보를 바탕으로 초기에 제안된 위치기반 라우팅은 이웃 노드들 중 목적지 노드에 가장 가까운 노드를 다음 포워딩 노드로 선택하여 데이터를 전송한다. 오리지널 그리디 포워딩 기법은 포워딩할 패킷을 가진 노드의 이웃 노드들에 대한 위치 정보만을 이용하여 상태 정보 유지가 불필요하다는 장점을 갖는다. 하지만 무선링크의 비신뢰성 및 비대칭성을 고려하지 않아 데이터 전송 성공률이 감소하는 문제점을 갖는다[6]. 또한 적은 에너지 소모를 위한 로우듀티사이클 환경을 고려할 경우 노드간의 높은 수면지연성의 결과로 긴 전송 대기를

찾는다.

Seada et al. 은 무선환경에서의 거리에 따른 패킷 손실을 고려하여 에너지 효율적인 라우팅을 제안한다 [7]. 논문에서 제안한 PRR (Packet Reception Rate) x D (improved Distance) 그리디 포워딩 기법은 PRR 과 목적지 노드까지 거리의 곱이 가장 큰 이웃 노드를 다음 포워딩 노드로 선정한다. D는 목적지 노드까지 얼마나 가까워졌는지를 나타낸다. PRR 과 D를 곱함으로써 목적지 노드로부터 거리가 멀지만 높은 PRR 을 가진 링크와 목적지 노드에 가깝지만 PRR 이 낮은 링크 사이의 균형을 맞춰, 무선 링크의 비신뢰성 문제를 해결한다. 하지만 해당 기법은 로우듀티사이클 환경을 고려할 경우 노드간의 수면지연성을 고려하지 않아, 송신 노드가 수신 노드에게 데이터를 전송할 경우 높은 전송 대기로 인해 많은 에너지를 소모한다

3. 제안기법

많은 데이터 포워딩 기법들은 데이터를 송수신하기 위해 대기하고 있는 수신대기상태로 인해 많은 에너지를 소모한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 적은 에너지의 소모가 가능한 로우듀티사이클 환경을 고려한다. 하지만 로우듀티사이클 환경을 고려한 데이터 포워딩 기법들은 높은 수면 지연성을 갖는다. 이로 인해 데이터 경로 설정 후 시작 노드에서 도착지 노드까지 높은 데이터 전송지연을 갖는다. 그림 1의 (a) 에서 노드 A 와 노드 B 는 노드 S 로부터 0.5 의 같은 링크궤리티를 갖는다고 가정한다. 0.5 의 링크궤리티는 확률적으로 2 번의 기대전송횟수를 갖는다. 노드 B 는 노드 A 보다 목적지까지의 거리가 가까워 빠른 데이터 전송이 가능하다. 하지만 그림 1의 (b) 에서 노드 A 는 링크궤리티를 기반으로 노드 S 로부터 11 의 수면지연성에 비해 노드 B 는 17 의 수면지연성을 가져 더 높은 데이터 전송지연을 갖는다.



(그림 1) 수면 지연성

본 논문은 로우듀티사이클에서 갖는 수면지연성의 문제점을 해결할 뿐만 아니라 에너지 효율적인 패킷 전송을 위해 w(가중치)가 높은 전송 경로를 통해 데이터와 ACK 패킷을 전송한다. 제안 기법은 패킷 전송경로 설정 시 데이터와 ACK 패킷 경로에 대해 sleep latency, 노드 간의 링크궤리티 그리고 목적지 노드까지의 거리를 고려하여 가장 높은 w 를 갖는 이웃 노드를 통해 효율적인 데이터를 전송한다.

$$w = \left(\alpha \times \frac{1}{ED} \right) + (\beta \times PRR \times AD) \quad (1)$$

식 1에서 α 는 수면지연성에 기반한 계수 값이며, β 는 링크궤리티와 거리를 고려한 계수 값이다. PRR 은 성공적인 패킷 송수신확률을 나타낸다:

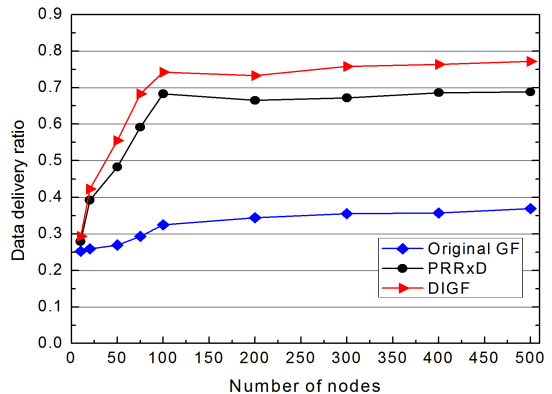
$PRR = PRR_{forwarding} \times PRR_{ACK}$. AD 는 목적지와 의 거리가 짧을수록 더 높은 값을 갖는다. ED 는 두 노드의 예상되는 데이터 전송 지연을 나타낸다.

본 논문에서 제안하는 DIGF 는 많은 데이터 포워딩 기법이 로우듀티사이클 환경에서 갖는 수면지연성 문제점을 해결한다. 또한 실제 무선링크가 일반적으로 갖는 비대칭성을 고려한 양방향 링크궤리티 뿐만 아니라 목적지 노드까지와의 거리도 고려하여 데이터 전송을 한다.

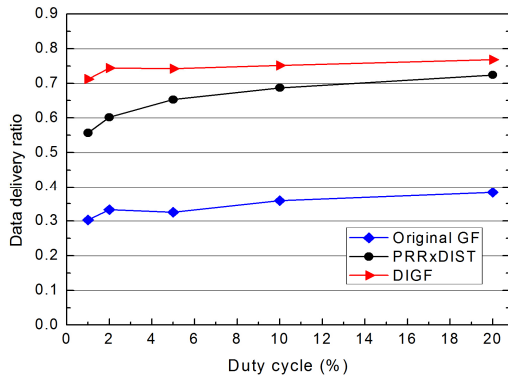
4. 성능평가

로우듀티사이클 환경을 적용한 Origin GF, PRRxDIST, 그리고 제안기법인 DIGF 의 성능을 평가하기 위해 본 논문은 노드 밀도 변화와 듀티 변화에 따른 데이터 전송 성공률과 전송지연 측면을 비교하였다.

그림 2 는 노드 밀도가 20 일 경우, 세 가지 기법 모두 이웃 노드의 수가 적기 때문에 소스 노드에서 보낸 패킷 수와 목적지 노드에 도착한 패킷 수의 비율이 매우 적다. 하지만 노드의 밀도가 20 이상일 경우 DIGF 기법은 수면지연성을 고려할 뿐만 아니라 양방향 링크궤리티가 더 높은 이웃 노드를 선택하여 더 많은 숫자의 패킷이 목적지 노드에 도착함으로써 데이터 전송 성공률 향상을 갖는다.



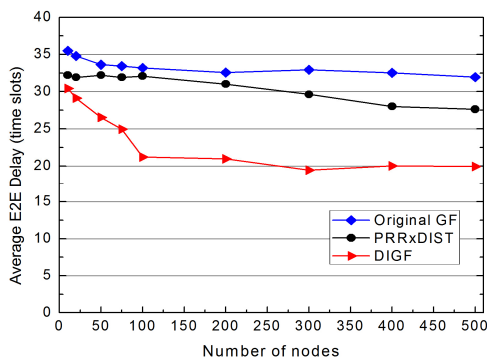
(그림 2) 전송 성공률



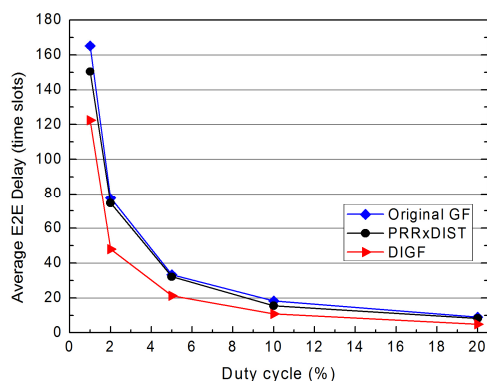
(그림 3) 전송 성공률

그림 3에서 제안기법이 양방향 링크질리티를 고려하여 다른 기존 포워딩 기법들에 비해 더 높은 전송 성공률을 갖는 것을 보인다.

그림 4에서 적은 노드의 개수로 실험한 경우 제안 기법은 데이터를 수신받을 수 있는 노드의 숫자가 적은 이유로 기존기법들에 비해 큰 성능향상을 보이지 않는다. 하지만 노드의 밀도가 높을 경우 제안기법은 높은 수면성을 갖는 기존기법들에 비해 낮은 전송 지연의 결과를 보인다.



(그림 4) 전송 지연



(그림 5) 전송 지연

그림 5에서 낮은 듀티를 사용한 경우 기존기법들은 제안기법보다 높은 수면지연성을 갖는다. 제안 기법은 로우듀티사이클 환경에서 갖는 수면지연성의 문제점을 해결하여 기존기법들에 비해 전송 지연 측면에서 높은 성능향상을 갖는다.

5. 결론 및 향후연구과제

본 논문에서는 듀티사이클을 고려한 현실적인 무선 센서네트워크 환경에서 신뢰성 있으면서 에너지 효율적인 전송기법을 제안한다. DIGF에서 각 노드는 전송반경 내 이웃노드 정보를 기반으로 로우듀티사이클의 단점인 수면지연성을 고려하여 데이터 전송을 위한 효율적인 다음 홉 노드를 선정 후 도착지 노드까지 데이터 전송을 한다. 전송경로 설정을 위해 노드간의 수면지연성과 링크의 비신뢰성, 비대칭성 그리고 목적지 노드와의 거리를 고려한 높은 w 를 계산하고, w 가 최대인 경로를 선택한다. 이러한 방법을 통해 로우듀티사이클 환경을 고려한 기존 기법들이 갖는 문제점인 높은 수면지연성을 해결하여 낮은 전송지연과 신뢰성있는 데이터 전송을 보장한다. 향후, 로우듀티사이클을 고려한 많은 데이터 포워딩 기법들을 통해 더 효율적인 스케줄링에 대한 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원사업 및 교육과학기술부(한국연구재단) 중점연구소지원사업의 일부지원으로 수행되었음(NIPA-2012-(H0301-12-3001), 2011-0018397)

참고문헌

- [1] 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.
- [2] Seo, J., Kim, M., Hur, I., Choi, W., and Choo, H., "DRDT: Distributed and Reliable Data Transmission with Cooperative Nodes for Lossy Wireless Sensor Networks," Sensors, no. 4, pp. 2793-2911, 2010.
- [3] 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.
- [4] J. Seo, M. Kim, I. Hur, W. Choi, and H. Choo, "DRDT: Distributed and Reliable Data Transmission with Cooperative Nodes for Lossy Wireless Sensor Networks," Sensors, no. 4, pp. 2793-2911, 2010.
- [5] Dongju Bae, Wook Choi, and H. Choo, "Multihop ACK-based greedy forwarding using expected transmission cost in wireless sensor networks", ICUIMC '11 Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, no. 119, 2011
- [6] 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," Technical Report UCLA/CSD-TR 02-0013, 2002.
- [7] 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.