

무선 센서네트워크에서 링크품질 기반의 부하 균등 분산을 통한 라이프타임 연장 방법

안민준, 홍정의, 추현승
성균관대학교 정보통신공학부
e-mail: {ahn.m.j, junguye, choo}@skku.edu

Link Quality Based Load Balancing Method for Prolonging Lifetime in Wireless Sensor Networks

Minjoon Ahn, Junguye Hong, Hyunseung Choo
School of Information and Communication Engineering,
Sungkyunkwan University

요 약

센서네트워크에서 가장 기본적이고 중요한 기능 중 하나는 주변정보를 수집하고 수집한 정보를 취합하는 것이다. 하지만 정보 취합 과정에서 특정 경로를 자주 이용하게 되면, 해당 경로상의 노드들에게 에너지 소비가 집중되어 네트워크가 일찍 단절 될 수 있다. 따라서 다양한 라우팅 경로를 갖고, 모든 노드의 부하를 균등하게 분산하여 네트워크 라이프타임을 늘리는 것이 중요하다. 그간, 여러 논문에서 리니어프로그래밍을 통해 각 노드의 부하를 균등하게 분산하기 위한 연구들이 활발히 이루어 졌다. 하지만 기존 연구들에서는 무선환경에서의 충돌, 감쇄 등으로 인한 전송 실패와 재전송에 드는 에너지 측면을 제대로 반영하지 못하였다. 본 논문에서는 이러한 무선 네트워크 환경에서, 노드 간 링크질리티를 반영하여 재전송에 드는 비용까지 고려된, 정교한 부하 균등 분산 기법을 소개한다. 링크질리티를 고려하였을 때, 그렇지 않았을 때에 비해 에너지 측면과 전송 지연 측면에서 최대 100%를 상회하는 성능향상 결과를 보인다.

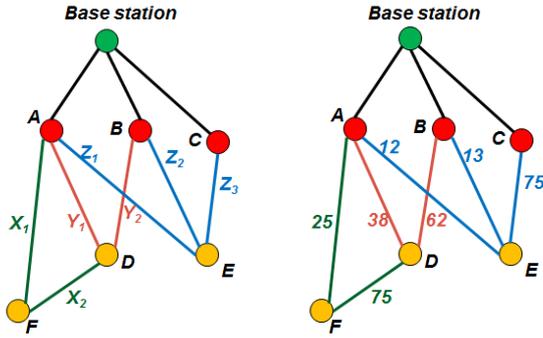
1. 서론 및 관련연구

무선 센서네트워크 환경에서 가장 기본적인 기능은 주변 정보를 센싱하여 수집 시스템에게 안정적으로 전달하는 것이다. 각 센서 노드는 주변의 환경 정보(즉, 온도, 습도, 적외선) 들을 주기적으로 센싱하고, 센싱한 정보를 싱크노드까지 멀티 홉으로 전송한다. 각 센서 노드들은 소형의 배터리로 동작하고 사람이 접근하기 힘든 환경에 배치되는 경우가 많아, 일단 배치된 후에는 센서 노드들의 관리가 어려운 특징이 있다. 따라서, 무선 센서네트워크 환경에서는 라이프타임을 오래 지속하는 것이 중요하고, 이를 위해 모든 센서노드들의 부하를 균등하게 분산하여 에너지를 골고루 사용하는 것이 중요하다.

센서네트워크에서 센서들의 에너지 효율적인 동작을 위해 많은 연구가 진행되었다. [1, 2]에서는 주기적인 duty cycle 환경에서의 효율적인 전송을 위한 기법을 제안하였다. 하지만 duty cycle 환경에서는 슬립으로 인한 전송 지연이 발생할 수 있고, 자신의 업무가 없을 경우에도 불필요한 전송슬롯의 낭비가 있다는 단점이 있다. [3, 4]에서는 클러스터

의 헤더가 정보를 취합하고, 번갈아가며 헤더 역할을 수행하여 부하분산을 꾀하는 클러스터링 방법을 소개하였다. 하지만 클러스터의 헤더의 변경에 따라 데이터 수집을 위한 토폴로지가 변경되는데, 이 때 드는 오버헤드는 고려되지 않아 정교한 부하 분산이 이루어지지 못하는 문제가 있다.

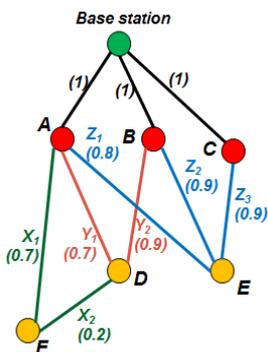
[5]에서는 보다 정교한 라이프타임의 연장을 위해 리니어프로그래밍을 이용한 흐름의 균등 분배 기법을 제안하였다. [6]에서는 [5]의 아이디어를 정제하여 구체적인 부하 분산 기법을 제안하였다. [6]에서는 수집된 데이터가 각 노드에서 병합된다고 가정하고, 주기적으로 정보를 수집하는 환경에서 센싱 횟수와 데이터 전송횟수는 모든 노드가 동일하므로, 자식노드로부터의 데이터 수신횟수를 균등하게 분배하는 것이, 균등한 부하 분산을 위해 중요하다고 주장하였다. [6]에서는 리니어프로그래밍을 사용하여 모든 노드의 수신 횟수를 균등하게 분배하였고, 흐름량에 따라 다양한 전송 경로를 사용하여 부하를 분산하였다.



a. 네트워크 토폴로지 b. 흐름 분배 결과
(그림 1) [6] 에서의 흐름분배

(그림 1) 은 [6] 에서의 수신횟수 조절을 위한 흐름 분배를 나타낸다. (그림 1. a) 처럼 네트워크가 구성 되었을때, (그림 1. b) 의 흐름량 (링크 아래 수치) 처럼 수신횟수를 분배하면, 자식노드를 가진 노드 A, B, C, D는 75의 균등한 수신량을 갖게된다. 이때, 수신량은 100회 전송에 따른 수신횟수를 의미하며, 노드 F의 경우 D로 75번, A로 25번 전송한다.

하지만 [6]에서는 무선환경에서의 링크품질 (링크의 신뢰성)를 고려하지 않아 재전송 과정에의 송수신에 따른 에너지가 반영되지 않았다. (그림 2)와 같이 링크품질이 알려진 네트워크에서, (괄호 안의 숫자는 링크 품질을 나타낸다) (그림 1. b)의 흐름분배를 그대로 적용한다면, 노드 F는 링크 품질이 고작 0.2인 D로의 링크를 100번 중 75번이나 전송경로로 이용하여, 많은 재전송을 수반한다. 따라서, 노드 F와 D는 다른 노드들에 비해 에너지 소비가 집중되어 일찍 방전될 것이다. 제안기법에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 두 노드사이의 링크 품질에 따라 가중치를 두어 리니어프로그래밍을 수행함으로써, 보다 정교한 부하배런싱을 이루었다. 실험결과 제안기법에서 최대 100% 이상의 성능향상을 확인하였다.



(그림 2) 링크품질 고려의 필요성

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 연구와 기법의 동작에 대한 주된 내용을 설명하고, 3장에서는 제안기법의 성능을 평가하였고, 4장에서는 결론을 맺는다.

2. 제안기법

2.1 동기 및 가정사항

기존의 리니어프로그래밍을 이용한 부하 분산 기법에서는 링크품질을 고려하지 않아, 한 번의 송수신에 드는 부하만을 균등하게 분산하였다. 하지만, 무선 환경의 특성 상 전송의 신뢰성이 낮기 때문에, 재전송은 필수적이다. 따라서, 재전송에 드는 비용이 고려되지 않은 기존의 기법은 실제 무선 환경에 적합하지 않다. 제안기법에서는 링크품질에 따라 가중치를 적용한 리니어프로그래밍을 수행하여, 보다 정교한 부하 분배를 통해 현저한 라이프타임의 증가를 이루었다. 링크품질은 piggybacking을 이용하여 매우 낮은 비용으로 측정 가능하기 때문에 실제로 적용 가능한 현실적인 요소이다 [7].

제안기법에서는 다음과 같은 가정을 하고 있다.

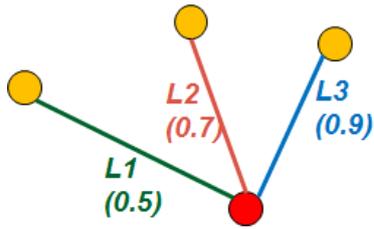
- ✓ 베이스스테이션은 컴퓨팅이 가능하고, 전원이 연결되어 있다.
- ✓ 네트워크 토폴로지는 베이스스테이션에게 알려져 있다.
- ✓ 노드의 스케줄은 중앙 집적 방식으로 계산되고 시간 동기화 되어 있다 [8].
- ✓ 데이터는 각 노드에서 병합된다.

2.2 링크품질에 기반한 부하 분산 기법

제안기법에서는 부모노드로의 경로 중 상대적으로 우수한 링크품질에 높은 가중치를 두어 더욱 빈번하게 이용하도록 흐름을 유도한다. 링크품질이 좋은 링크는 상대적으로 자주 이용되지만, 전송 성공률이 상대적으로 높아 재전송 횟수가 줄어들게 되어 결국, 모든 노드의 부하가 균등하게 분산되게 되어 전송 딜레이 또한 줄일 수 있다. 링크품질에 대한 상대적인 가중치를 구하기 위해 w_{ij} 를 정의한다. 자식노드 i 와 부모노드 j 사이의 가중치 w_{ij} 는 (식 1)과 같이 구할 수 있다.

$$w_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{p \in P_i} \lambda_{ip}}$$

(식 1) 자식노드 i 와 부모노드 j 사이의 상대적 가중치 λ_{ij} 는 i 와 j 사이의 링크 품질을 뜻하고 P_i 는 노드 i 의 부모노드 집합을 의미한다. 즉, (그림 3)과 같이



(그림 3) 상대적인 가중치 산출 예시

링크 L1, L2, L3이 있을 때, L1에 대한 상대적인 가중치 w_{L1} 는 $0.5/(0.5+0.7+0.9)$ 이다.

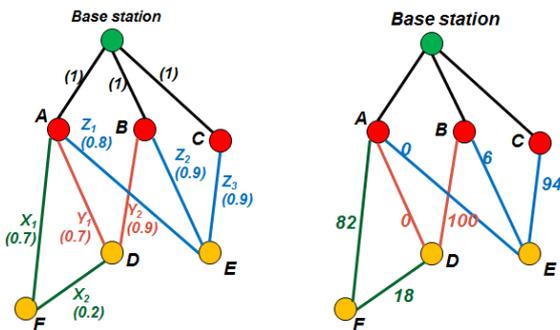
(식 2) 는 링크퀄리티 기반의 부하 분산을 위한 리니어프로그래밍을 위한 식을 나타낸다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && wf_{\max} \\ & \text{subject to} && \sum_{c \in C_n} \left(\frac{f_{cn}}{w_{cn}} \right) \leq wf_{\max} \quad \forall n, \\ & && \sum_{p \in P_n} f_{np} = 1, \quad \forall n, \\ & && f_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned}$$

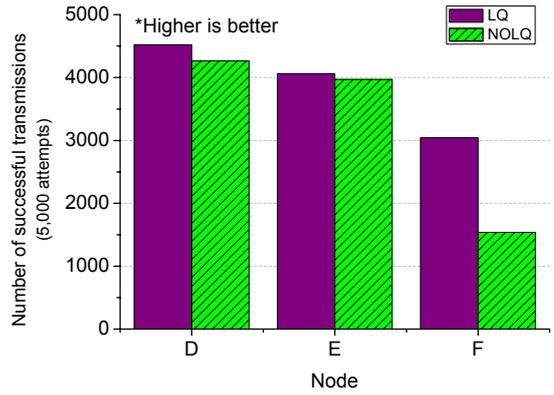
(식 2) 링크퀄리티 기반의 부하분산기법

wf_{\max} 는 특정 노드로의 가중치가 적용된 흐름양 중 최대값을 의미하는데, 이 값을 최소화 하면 모든 노드의 흐름을 균등하게 분배할 수 있다. C_n 과 P_n 은 각각 노드 n 의 자식노드들의 집합과 부모노드들의 집합을 의미하고, f_{cn} 은 특정 자식노드로부터 노드 n 까지의 흐름양을 의미한다. f_{np} 는 노드 n 에서 특정 부모노드 p 로의 흐름량을 의미하는데, 흐름의 총 합은 1로 일정하다. 이는 가정사항에서의 데이터가 병합된다는 내용과 부합한다.

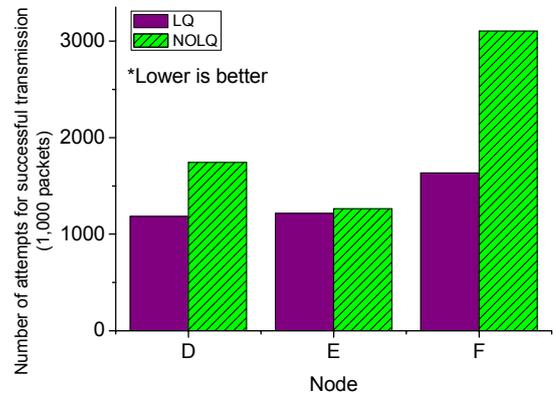
(식 2) 와 같이 링크퀄리티에 대한 가중치를 반영하여 (그림 4. a) 토폴로지에 대해 흐름 분배를 한 결과는 (그림 4. b) 와 같다. 기존 기법, (그림 1. b) 와 흐름을 비교했을 때, 특히, 노드 F에서 D로의 링크는 상대적으로 낮은 가중치로 인해, 흐름이 75에서 18로 대폭 줄어든 모습을 볼 수 있다.



a. 토폴로지 예시 b. 링크퀄리티 반영
(그림 4) 링크퀄리티 반영에 따른 흐름량 비교



(그림 5) 한 번 전송에 따른 전송 성공 횟수 (패킷 5,000개 전송)



(그림 6) 전송 성공을 위한 총 시도 횟수 (총 1,000개의 패킷 전송 시도)

3. 성능평가

제안기법은 [6] 에서의 부하분산을 위한 리니어프로그래밍기법의 약점을 보완하기 위해, 링크퀄리티에 대한 가중치를 두어, 재전송에 드는 비용까지 고려한 정교한 흐름 분배를 달성하였다. 제안기법의 성능평가를 위해 두 가지 실험을 수행하였다. 하나는, 재전송을 고려하지 않은 환경에서, 베이스스테이션까지의 패킷 전송 성공률을 측정하였고, 다른 하나는, 패킷이 베이스스테이션에 성공적으로 전달될 때까지 반복적으로 재전송을 시도하여, 총 전송 시도 횟수를 측정하였다. 시뮬레이터는 C 언어를 이용하여 구현하였고, (그림 4. a) 의 토폴로지를 기준으로 하였다. 모든 실험 결과는 100회 반복에 따른 평균값을 나타냈다.

(그림 5) 에서는 리니어프로그래밍을 통해 산출된 흐름량에 따라 각 노드에서 패킷 5,000개를 전송하고, 한 번 전송에 따른 전송 성공 횟수를 나타낸다. 링크퀄리티를 고려한 제안기법인 LQ에서는 기존 기법인 NOLQ에 비해 향상된 전송성공률을 보이며,

특히 노드 F에서의 전송은 100% 이상의 성능향상을 보여주었다. 이러한 결과는 링크품질에 대한 가중치를 반영하는 과정에서, 링크품질이 낮은 노드 F에서 D로의 흐름을 현저히 줄였기 때문이다.

(그림 6)에서는 각 노드에서 총 1,000개의 패킷을 베이스스테이션까지 성공적으로 전송하기 위해 시도한 총 횟수를 보인다. 결과 값이 클수록 재전송 횟수가 많아, 에너지 소비가 많고 전송 지연이 심하다. LQ는 NOLQ에 비해 재전송 횟수가 현저히 적음을 확인 할 수 있는데, 이는 송수신시 소비되는 에너지가 적고 멀티 홉 전송에 따른 지연이 적다는 것을 의미한다. 특히, 노드 F에서는 LQ기법이 NOLQ기법보다 2배 이상 재전송 횟수를 줄여 100% 이상의 성능향상을 보임을 확인할 수 있다.

4. 결론

센서네트워크에서 가장 중요한 이슈 중 하나는 라이프타임의 연장이다. 라이프타임을 연장하기 위해 부하 분산을 수행하는 많은 연구가 있었지만, 특정 환경에서 에너지 분배가 제대로 이루어지지 않거나, 오버헤드가 고려되지 않아 네트워크를 오래 유지하지 못하는 문제점이 있었다. 제안기법에서는 링크품질에 기반하여, 재전송에 따른 송, 수신 비용을 가중치로 두어 리니어프로그래밍을 수행하여 정교한 흐름 분배를 수행하였다. 이러한 제안기법을 적용한 결과, 특정 환경에서 기존 기법에 비해 에너지, 전송 딜레이 측면 모두에서 최대 100%를 상회하는 성능향상을 보였다.

ACKNOWLEDGEMENT

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

참고문헌

- [1] Wang, F. and Liu, J. "Duty-cycle-aware Broadcast in Wireless Sensor Networks," IEEE Infocom 2009.
- [2] Gu, Y. and He, T. "Data Forwarding in Extremely Low Duty-Cycle Sensor Networks with Unreliable Communication Links," ACM SenSys 2007.
- [3] Younis, O. and Fahmy, S. "Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach," IEEE Infocom 2004, pp. 629 - 640.
- [4] Hashmi, S. U., Mouftah, H. T., and Georganas, N. D. "Achieving reliability over cluster-based wireless sensor networks using backup cluster heads," IEEE Global 2007, pp. 1149 - 1153.
- [5] Chang, J.-H. and Tassiulas, L. "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions on Networking 2004, vol. 12, pp. 609 - 619.
- [6] Lee, H. and Keshavarzian, A. "Toward energy-optimal collision-free scheduling for reliable data collection in wireless sensor networks," IEEE Infocom 2008, pp. 2029 - 2037.
- [7] Guo, S., Gu, Y., Jiang, B., and He T. "Opportunistic Flooding in Low-Duty-Cycle Wireless Sensor Networks with Unreliable Links," ACM MobiCom 2009.
- [8] Maroti, M., Kusy, B., and Ledeczi, A. "The Flooding Time Synchronization Protocol," ACM SenSys 2004.