

실제 환경에서 센서네트워크를 위한 SINR 기반 전송 파워 제어 알고리즘

SINR-based Power Control for Sensor-nets in Real Environments

김준석
(Junseok, Kim)

권영구
(Younggoo, Kwon)

요약

본 논문에서는 실제 센서네트워크 적용시 발생하는 다양한 간섭 문제를 완화할 수 있는 전송파워제어 알고리즘을 제안하고 있다. 제안한 알고리즘은 SINR 기반의 이론적 모델과 폐루프 제어방식을 이용하여 간섭 영향에 대하여 전송파워를 능동적으로 조절한다. 따라서 다양한 간섭의 영향 아래에서도 높은 전송률을 유지하면서, 동시에 에너지 소모를 크게 줄이도록 한다. 제안된 알고리즘은 실제 실험을 통하여 검증되었으며, 기존의 알고리즘에 비해서 높은 전송율과 에너지 효율을 보이고 있다.

Key Words : Wireless Sensor Network, Transmission Power Control

1. 서론

무선 센서 노드들은 일반적으로 건전지로 동작하며, 수천 개 노드의 건전지를 수시로 교체하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 에너지 효율성은 무선 센서 네트워크 프로토콜 디자인의 가장 중요한 요구조건 중 하나이다. 전송파워제어 (transmission power control)는 목적지 노드로 데이터 전송 시 필요한 최소의 파워를 사용하여 에너지 소모를 줄이는 기법이다. 초기에 전송파워제어는 log-distance path loss model과 같은 이론적 모델을 이용하여 노드간 거리에 따라서 전송파워를 결정하였다. 최근의 연구들은 라디오 신호세기 (signal strength)가 주변 환경의 영향을 크게 받으며, 따라서 이론적 모델에 기반을 둔 전송파워제어 방식은 실제 상황에서 적용할 수 없음을 보이고 있다 [4][6]. Son 연구팀은 패킷 전송율 (PRR: packet reception rate)에 기반을 둔 전송파워제어 기법을 제안하였다 [4]. 이는 우선 각 전송파워레벨 상에서 다량의 컨트롤 패킷들을 송수신하고, 특정 패킷전송율 (예를 들어 90%)을 만족하는 최소 전송파워를 선택한다. 최근, 실험기반의 연구들은 RSS (received signal strength)가 특정 임계값 (threshold)를 넘으면 전송률이 100%에 가깝게 됨을 보여주고 있다 [5][6]. 이에 Lin 연구팀은 feedback 방식을 사용하여 RSS 값이 지속적으로 임계값 이상을 유지하도록 하는 알고리즘을 제안하였다 [6].

하지만 이전의 연구는 실제 상황에서 발생하는 다양한 간섭 (interference) 문제를 고려하지 않고 있다. 일반적으로 라디오 신호 세기는 콘크리트 또는 철 구조물에 의해서 크게 감쇄가 된다. 또한 최근에는 블루투스, 무선랜 등, 다양한 무선기기들이 사용됨으로서, 무선기기간의 간섭문제가 더 커지고 있다. 특히 노트북과 IP폰과 같은 와이파이 (WiFi) 제품들은 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여 다량의 전파 간섭을 발생시킨다. 따라서 기존의 무선기기간의 간섭을 고려하지 않은 전송파워제어 기법들은 실제 환경의 성능이 크게 저하

될 수 있다. 우리는 지난 연구에서 RSS 임계값이 무선랜의 간섭에 크게 양향 반응을 실험을 통하여 보이고 간섭에 따라서 RSS 임계값을 능동적으로 조정하는 알고리즘을 제안하였다 [7].

본 논문에서는 SINR (signal to interference plus noise ratio) 기반의 이론적 모델과 폐루프 (closed-loop) 제어방식을 이용한 전송파워제어 알고리즘을 제안하고 있다. SINR은 받고자하는 신호의 세기와 원하지 않은 신호의 세기의 비율로서, 전송성공율과 밀접한 관계가 있다. 하지만 기존의 연구들에서는 IEEE 802.15.4 [1] 기반의 radio들을 통해서 간섭신호의 세기를 얻을 수 없기 때문에, SINR 값을 얻을 수 없다고 판단하고 있다. 이러한 의견과는 다르게, 본 논문에서는 일반적인 IEEE 802.15.4기반 radio인 CC2420 [2]을 통하여 SINR 값을 얻는 기법을 제공한다. 제안된 알고리즘은 실험을 통하여 검증되었으며, 기존의 알고리즘에 비해서 높은 전송율과 에너지 효율을 보이고 있다.

II. 제안된 알고리즘

앞서 언급하였듯이, RSS 값이 특정 임계값을 넘을 때 전송률이 100%에 가깝게 된다. 특정 RSS 임계값을 알고 있다면 최소 전송파워, P_{TX} ,를 아래와 같이 쉽게 구할 수 있다 [8]:

$$P_{TX} = P_{TX}^{old} + (P_{RX}^{TH} - P_{RX}) \quad (1)$$

P_{TX}^{old} 는 이전의 전송파워 값이며, P_{RX}^{TH} 와 P_{RX} 는 RSS 임계값과 이전의 전송파워에 대한 RSS 값을 의미한다. 여기서 RSS 임계값은 다음의 SINR, ζ , 관계식으로부터 구할 수 있다:

$$\zeta = 10 \log \frac{10^{P_{RX}/100} - 10^{P_N/10}}{10^{P_I/10}} \quad (2)$$

P_N 과 P_I 는 노이즈 (noise) 세기와 간섭 세기를 의미한다. 식 (2)를 다음과 같이 재정렬 할 수 있다:

$$P_{RX}^{TH} = 10 \log (10^{P_I/10} \cdot 10^{\zeta/10} + 10^{P_N/10}) \quad (3)$$

IEEE 802.15.4 표준에 의하면, BER (bit error rate), P_B ,는 SINR에 의해서 결정된다 [1]:

$$P_B = \frac{8}{15} \cdot \frac{1}{16} \cdot \sum_{k=2}^{16} -1^k \binom{16}{k} e^{20 \cdot \zeta \cdot (1/k-1)} \quad (4)$$

이는 역으로, 특정 BER를 만족시키는 SINR를 결정할 수 있다는 것을 의미한다. IEEE 802.15.4 표준에서 요구하는 20 바이트 패킷의 99% 전송률을 보장하기 위해서는 SINR 값을 다음과 같이 설정할 수 있다: $\zeta \approx 0.4021dBm$. 따라서 수신노드 (receiver)의 현재 노이즈, 간섭 세기를 알면 식 (3)을 이용하여 필요한 RSS 임계값을 구할 수 있다.

앞서 언급하였듯이, CC2420과 같은 IEEE 802.15.4 표준의 radio들은 SINR 값을 측정해 주지 않는다. 대신 사용자 명령에 의해서, 8 bit의 해당하는 시간동안의 신호세기를 측정할 수 있다. 신호세기를 측정할 때, SFD (start frame delimiter) pin을 통하여 현재 수신하는 신호가 간섭에 의한 것인지 아닌지 알 수 있다. SFD pin이 high이면 IEEE 802.15.4 표준의 데이터를 수신 받고 있음을 의미한다 [2]. 우리는 실험을 통하여, 와이파이의 간섭이 때때로 예상치 못하게 급격히 변동하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 설명한 이론적 모델에 기반을 둔 전송파워제어는 실제 환경에서 이상적으로 동작하지 않을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 우리는 CDMA 시스템의 페루프 기반의 전송파워제어를 다음과 같이 차용하였다 [3]:

전송실패시: $P_{RX}^{TH} += \Delta$;

전송성공시: $P_{RX}^{TH} -= \Delta/K$ until $A P_{RX}^{TH}$. (5)

$A P_{RX}^{TH}$ 는 식 (3)을 이용하여 이론적으로 구한 RSS 임계값이다. 즉, 전송실패시, RSS 임계값이 Δ 만큼 크게 증가한다. 이후, 전송성공할 때 마다 증가된 RSS 임계값이 서서히 감소하게 된다.

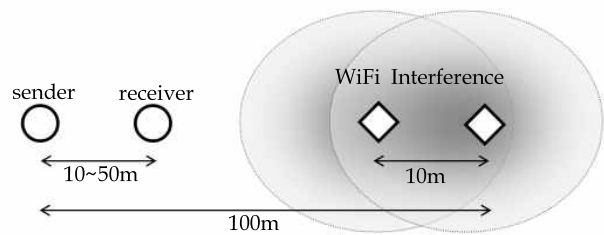
이제 제안된 알고리즘의 동작을 예를 들어서 설명을 하겠다. 각 노드는 주기적으로 간섭신호의 세기를 측정하여 식 (3)을 이용하여 자신에게 필요한 RSS 임계값을 계산한다. 송신노드 (sender)가 처음으로 특정 수신노드 (receiver)에게 데이터 전송하려고 할 때, 데이터를 최대 전송파워, 0dBm,로 전송한다. 데이터를 수신한 노드는 RSS를 측정한다. 그다음 RSS값과 RSS 임계값을 ACK에 실어서 송신노드에게 전달한다. 이후에 송신노드는 식 (1)을 사용하여 최소 전송파워를 계산한다. 예를 들어서 수신노드의 RSS 임계값이 -95dBm이고 RSS가 -85dBm으로 측정되었다면, 이는 이전에 사용한 전송파워가 최소파워 보다 10dB 정도 크다는 것을 의미한다. 따라서 다음 전송시, 0dBm에서 10dB를 뺀 -10dBm을 전송하게 된다.

III. 실험 결과

우리는 제안된 알고리즘을 실제 환경에서 기존의 알고리즘들과 비교 검증하였다. 실험에서는 센서네트워크 제품으로 MAXFOR사의 MTM3100을, 와이파이 제품으로 IPTIME사의 N200UA을 사용하였다. 그림 2.에서 볼 수 있듯이 송신노드는 수신노드에게 매초 50 바이트 데이터를 전송하며, 0.1m/s의 속도로 수신노드를 와이파이 간섭지역으로 이동시켰다. 동시

에 와이파이 제품들은 FTP를 통하여 연속적으로 데이터를 송수신하였다. 또한 센서네트워크 노드들과 와이파이 노드들은 서로 중첩되는 주파수 채널을 사용하였다.

표 1의 결과에서 PCBL이 가장 낮은 성능을 보임을 확인할 수 있다. 앞서 언급하였듯이 PCBL은 전송파워를 선택하기 위해서 다량의 패킷을 교환해야 하기 때문에, 빠르게 환경변화에 적응할 수 없다. ATPC는 feedback 알고리즘을 사용하여 환경변화에 대응하기 때문에 보다 나은 성능을 보이고 있다. 하지만 feedback 방식은 환경변화에 천천히 적응하기 때문에 간섭과 이동의 영향에 빠르게 적응할 수 없다. 반면에 제안한 알고리즘은 최대 전송파워로 전송 할 때와 거의 비슷한 전송률을 보여주며, 에너지 소모는 42% 가량 절감하고 있다. 이는 SINR 기반의 이론적 모델과 페루프 제어방식이 간섭의 영향을 빠르게 적응하도록 하기 때문이다.



<그림 1> 실험 시나리오

<표 1> 최대파워로 전송할 때에 대해 normalized된 성능 표

	Proposed Algorithm	ATPC [6]	PCBL [4]
PRR	0.99	0.81	0.28
Energy	0.58	1.32	3.72

IV. 결론

본 논문에서는 실제 센서네트워크 적용시 발생하는 다양한 간섭 문제를 완화할 수 있는 전송파워제어 알고리즘을 제안하고 있다. 제안한 알고리즘에서는 SINR기반의 이론적 모델에 기반하여 최소의 전송파워를 설정한다. 또한 페루프 제어 방식을 사용하여 불규칙적인 간섭 세기에 대해, 보다 빠르게 대응하도록 하고 있다. 제안된 알고리즘은 실제 실험을 통하여 검증되었으며, 기존의 알고리즘에 비해서 높은 전송율과 에너지 효율을 보이고 있다.

Acknowledgment

이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2008-000-20109-0). 이 논문은 서울시 산학연 협력사업 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 11064).

참고문헌

- [1] IEEE Std 802.15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," <http://standards.ieee.org/wireless>, Oct. 2003.
- [2] CC2420, "2.4GHz IEEE 802.15.4 / Zigbee RF Transceiver," <http://www.chipcon.com>, Nov. 2003.
- [3] A. Sampath, P. Kumar, and J. Holtzman, "On Setting Reverse Link Target SIR in a CDMA System," Proc. VTC, pp.929-933,

May. 1997.

- [4] D. Son, B. Krishnamachari, and J. Heidemann, "Experimental Study of The Effect of Transmission Power Control and Blacklisting in Wireless Sensor Networks," Proc. SECON, pp.289-298, Oct. 2004.
- [5] K. Srinivasan and P. Levis, "RSSI is under appreciated," Proc. EmNets, May 2006.
- [6] S. Lin, J. Zhang, L. Gu, T. He, and J. Stankovic, "ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks," Proc. SenSys, pp.223-236, Nov. 2006.
- [7] J. Kim and Y. Kwon, "Interference-aware Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks," IEICE Special Section on Emerging Technologies for Practical Ubiquitous and Sensor Networks, vol.E91-B, no.11, Nov. 2008.
- [8] S. Doshi and Y. Brown, "Minimum Energy Routing Schemes for a Wireless Ad Hoc Network," Proc. INFOCOM, Jul. 2002.