

무선 센서네트워크에서 협업전송을 위한 노드선택 알고리즘

논문

58-6-27

Node Selection Algorithm for Cooperative Transmission in the Wireless Sensor Networks

고 상* · 박 형근†

(Gao Xiang · Hyung-Kun Park)

Abstract - In the wireless sensor network, cooperative transmission is an effective technique to combat multi-path fading and reduce transmitted power. Relay selection and power allocation are important technical issues to determine the performance of cooperative transmission. In this paper, we proposed a new multi-relay selection and power allocation algorithm to increase network lifetime. The proposed relay selection scheme minimizes the transmitted power and increase the network lifetime by considering residual power as well as channel conditions. Simulation results show that proposed algorithm obtains much longer network lifetime than the conventional algorithm.

Key Words : Network Lifetime, Cooperative Transmission, Wireless Sensor Network, Relay Node Selection

1. 서 론

협력 다이버시티 기법은 다중경로 페이딩 환경을 효과적으로 극복할 수 있는 통신 기술이다[1]. 이 기술을 에너지 제한된 무선 센서 네트워크에 적용하기 위해서는 릴레이 선택과 전력 할당방법 등이 중요하게 고려하여야 한다. 참여 릴레이노드의 수가 증가하면 처음에는 다이버시티 이득이 증가할 수 있으나 많은 수의 노드가 전송에 참여하게 되면 전체적인 전력효율이 감소할 수 있다. ad-hoc 네트워크에서의 릴레이선택 방법으로서[2]에서는 802.11b와 유사한 MAC 프로토콜 기반에서 opportunistic relaying(OR)이라고 하는 간단한 형태의 distributed 릴레이 선택 알고리즘을 제안하였다. 전력할당에 있어서는 논문 [3] 에서 소스와 릴레이의 전력이 수신단에서의 SNR을 최대화 하도록 할당하는 방식을 제안하였다. 이 방법은 순시채널상태가 가장 좋은 노드를 릴레이노드로 선택하고 수신성능을 극대화하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 방법들은 peer-to-peer 링크성능의 향상이 주요 논점이며 전력효율 및 에너지 소모의 측면을 고려하고 있지 않으며 참여노드의 수도 제한되어 있다.

센서 네트워크에서는 센서노드들이 협력을 해서 데이터를 싱크 노드까지 전송하기 때문에 각 센서 노드의 수명이 센서 네트워크의 통신망 자체의 수명을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 따라서 센서네트워크에 협업 다이버시티를 적용하기 위해서는 릴레이노드를 선택할 때 노드의 잔여전력과 요구 송신전력을 고려하여 네트워크 수명을 극대화 할 수 있

도록 릴레이노드를 선택하고 송신 전력을 할당할 수 있는 cooperation 프로토콜이 필요하다. 논문[4]에서는 노드의 잔여전력을 고려하여 네트워크 수명을 증가시키도록 릴레이노드를 선택하고 전력을 할당하는 방식을 제안하고 있으나 릴레이노드의 수를 한 개로 제한함으로써 계산의 복잡도를 단순화하였다. 그러나 채널환경에 따라서는 1개 이상의 릴레이노드를 선택하여 다이버시티 이득을 높이는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 센서네트워크의 수명을 증가시키기 위해 채널환경에 따른 다중 릴레이노드를 선택하고 송신전력을 할당할 수 있는 알고리즘을 설계하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

2. 채널상태를 고려한 1단계 릴레이 선택

본 논문에서는 소스 노드와 목적 노드 사이에 여러 개의 릴레이 노드가 병렬로 배치된 2홉 네트워크 모델을 가정하였다. 모든 잠재적 릴레이 노드 가운데 통신에 참여할 릴레이 노드를 선택하게 되는데 릴레이 노드를 선택하지 않으면 소스노드와 목적노드간의 직접 통신이 이루어지게 된다. 본 논문에서 제안하는 릴레이선택 및 전력할당알고리즘은 2단계로 이루어져 있다. 먼저 노드간의 채널정보를 바탕으로하여 협업통신에 참여할 릴레이노드 후보군을 선별한다. 1차적으로 압축된 후보군을 대상으로 하여 각 노드의 잔여전력을 파악하고 수신 SNR을 만족시키기 위한 송신전력을 계산하고 최종적인 릴레이노드를 선택하게 된다.

먼저 전송할 데이터를 갖고 있는 소스노드는 RTS 패킷을 전송하고 RTS 패킷을 수신 받은 목적 노드는 CTS 패킷을 전송함으로써 패킷전송을 시작한다. 소스 노드에서는 잔여전력 정보를 포함한 수정된 RTS 패킷을 송신한다. RTS 패킷을 수신한 노드들은 소스노드의 잔여전력 뿐만 아니라 소스 노드와 릴레이 노드 i 사이의 채널상태 $h_{sr,i}$ 추정치가

† 교신저자, 정희원 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부
조교수 · 공박

E-mail : hkpark@kut.ac.kr

* 비 회 원 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 박사과정
접수일자 : 2009년 3월 13일
최종완료 : 2009년 4월 21일

능해지고, 목적노드에서는 소스 노드와 목적노드 사이의 무선채널 상태 h_{sd} 추정이 가능해진다. RTS 패킷을 수신한 목적노드는 CTS 패킷을 송신하는데 이를 통해 릴레이 노드들은 릴레이 노드 i 와 목적 노드간의 채널 상태 $h_{rd,i}$ 를 추정할 수 있게 된다. RTS와 CTS 패킷 전송 후에 각 릴레이 노드들은 채널상태정보만을 가지고 타이머 값을 설정한다. 릴레이 노드 i 에 대한파라미터 h_i 를 식(1)와 같이 정의한다.

$$h_i = \min\{|h_{sr,i}|^2, |h_{rd,i}|^2\} \quad (1)$$

함수 h_i 의 값이 큰 릴레이 노드일수록 더 나은 end-to-end 경로를 가지게 되며 이러한 채널 상태 값 h_i 에 반비례하게 타이머값 $T_i = \lambda/h_i$ 을 설정한다. λ 는 채널 상태 값을 시간 단위로 변환시키기 위한 상수 값이다. 모든 후보 노드들은 다른 후보노드들의 채널상태 혹은 타이머값을 알지 못한다. 따라서 분산적 방식을 통해 릴레이노드를 선택해야한다. 처음에 타이머 값이 0에 도달한 순서대로 릴레이 노드들은 다른 릴레이 노드들에 플래그 패킷을 송신한다. 다른 릴레이 노드들은 소스 노드로부터 플래그 패킷을 수신할 때 즉, 소스 노드의 타이머 값이 0이 됐음을 알게 됐을 때 타이머를 리셋하고 플래그의 전송을 중지한다. 즉, 소스의 타이머값 TOS(Timer value Of Source) 보다 작은 타이머 값을 갖는 노드들이 첫번째 릴레이 선택 과정에서 릴레이 후보군으로 선택될 수 있도록 하였다.

3. 전력할당과 잔여전력을 통한 2단계 릴레이 선택

이 단계에서는 노드들의 잔여전력을 고려하고 수신 SNR을 만족시키도록 후보 릴레이 노드들에게 송신전력을 할당하고 최종적으로 협업통신에 참여할 릴레이노드를 선택한다. 시간 k 에 릴레이와 목적 노드에서 수신한 수신 신호를 각각 $y_{sr,i}(k)$, $y_{sd}(k)$ 으로 표시하였다.

$$y_{sr,i}(k) = h_{sr,i}s(k) + n_{sr,i}(k) \quad (2)$$

$$y_{sd}(k) = h_{sd}(k)s(k) + n_{sd}(k) \quad (3)$$

이때 $n_{sr,i}$ 와 n_{sd} 는 가우시안잡음을 의미한다. 소스노드로부터 데이터를 수신받은 릴레이노드 i 는 이를 다시 목적노드에 전송한다. 목적노드는 각 소스 노드 및 릴레이노드들이 송신한 신호를 수신하게 되는데, 이때 가중치를 부여하여 식(4)과 같은 수신신호를 얻게 된다.

$$\begin{aligned} & \omega_1 y_{sd}(k-\tau) + \sum_{i=1}^n \omega_{r,i} y_{rd,i}(k) \\ &= \omega_1 (h_{sd}s(k-\tau) + n_{sd}(k-\tau)) + \sum_{i=1}^n \omega_{r,i} (h_{rd,i}x_{r,i}(k) + n_{rd,i}(k)) \end{aligned} \quad (4)$$

이때 ω_1 와 $\omega_{r,i}$ 는 결합계수이고 $x_{r,i}(k)$ 는 릴레이 노드 i 의 송신신호이다. AF 릴레이 방식에서는, 릴레이 노드 i 는 수신신호를 μ_i 배만큼 증폭하여 송신하게 된다. 따라서 소스 노드의 송신 전력 P_s 는 i 번째 릴레이 노드의 송신전력 $P_{r,i}$

와 아래와 같은 관계를 가진다.

$$\mu_i^2 (|h_{sr,i}|^2 P_s + \sigma_N^2) = P_{r,i} \quad (5)$$

이를 통해 증폭계수 μ_i^2 를 식(6)과 같이 표현할 수 있고, AF 모델에 의한 목적 노드에서의 SNR은 최종적으로 식(7)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu_i^2 &= \frac{P_{r,i}}{|h_{sr,i}|^2 P_s + \sigma_N^2} \quad (6) \\ SNR &= \frac{P_s |h_{sd}\omega_1 + \sum_{i=1}^n \mu_i h_{sr,i} h_{rd,i} \omega_{r,i}|^2}{\left(|\omega_1|^2 + \sum_{i=1}^n |\omega_{r,i}|^2 (|\mu_i h_{rd,i}|^2 + 1)\right) \sigma_N^2} \quad (7) \end{aligned}$$

이때 ω_1 와 $\omega_{r,i}$ 는 MRC(maximal ratio combing)을 이용하여 아래와 같은 계산할 수 있다.[5]

$$\omega_1 = \frac{\sqrt{P_s} h_{sd}^*}{\sigma_N^2} \quad \omega_{r,i} = \frac{\mu_i \sqrt{P_s} h_{rd,i}^* h_{sr,i}^*}{\left(\mu_i^2 |h_{rd,i}|^2 + 1\right) \sigma_N^2} \quad (8)$$

식(6)과 식(8)를 식(7)에 대입하면 목적노드에서의 SNR을 구할 수 있다.

$$SNR = \left(|h_{sd}|^2 + \sum_{i=1}^n \frac{|h_{sr,i} h_{rd,i}|^2 P_{r,i}}{|h_{rd,i}|^2 P_{r,i} + |h_{sr,i}|^2 P_s + \sigma_N^2} \right) \frac{P_s}{\sigma_N^2} \quad (9)$$

위의 SNR값은 수신성능을 위한 최소 요구 SNR을 충족할 뿐 아니라, 전송 시 소스 노드 및 릴레이 노드들의 전체 송신 전력을 최소화하여야한다. 총 송신전력을 최소화하기 위한 소스와 릴레이노드의 송신전력을 구하기위해 라그랑지 승수법을 사용하면 아래와 같다.

$$\min_{P_s, P_{r,i}} \left(P_s + \sum_{i=1}^n P_{r,i} \right) \quad (10)$$

$$\begin{cases} f(P_s, P_{r,i}) = P_s + \sum_{i=1}^n P_{r,i} \\ g(P_s, P_{r,i}) = |h_{sd}|^2 P_s + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sqrt{|h_{sr,i}|^2 |h_{rd,i}|^2 P_s P_{r,i}} - \sigma_N^2 SNR_{req} \end{cases} \quad (11)$$

이때, $f(x)$ 를 최대화 하고 $g(x)=0$ 을 조건으로 한다. 소스노드와 릴레이노드의 송신전력을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} P_s = \frac{-4a^2 \pm a \sqrt{16a^2 + 4 \sum bc}}{\sum bc + 4a^2 \mp a \sqrt{16a^2 + 4 \sum bc}} \\ P_{r,i} = 2bc \frac{\left(-4a \pm \sqrt{16a^2 + 4 \sum bc}\right)^2}{\sum bc \left(\sum bc + 4a^2 \mp a \sqrt{16a^2 + 4 \sum bc}\right)} \end{cases} \quad (12)$$

이때 $a = |h_{sd}|^2, b = |h_{sr,i}|^2, c = |h_{rd,i}|^2$ 이다. 이 과정을 통하여 잠재적 릴레이 노드 i 는 각 소스 노드 및 릴레이 i 자신에게 필요한 송신 전력 값 P_s 및 $P_{r,i}$ 를 얻게 된다. 두 번째 릴레이 선택 과정에서는 소스 노드 및 릴레이 노드들의 잔여전력을 고려한다. 이 과정에서 소스 노드는 자신의 필요 송신 전력 값 및 현재 잔여 전력 값을 이용하여 타이머를 설정한다. 식(12)를 통해 전력 할당 정보를 얻은 후, 1차적으로 선택되었던 모든 릴레이 노드들은 아래 식(13)에 따라 잔여전력 값을 고려하여 타이머 값을 설정한다. 설정된 타이머 값을 이용하여 최종적인 릴레이노드를 선택하는데 그 방식은 1차 릴레이노드 선택방식에서의 타이머 이용한 노드 선택방식과 동일하다.

$$\begin{cases} T_i = \frac{\lambda}{\min\{P_{rs} - P_s, P_{rr,i} - P_{r,i}\}} & T_s = \frac{\lambda}{(P_{rs} - P_{sd})} \\ T_i = \lambda \cdot \max\left\{\frac{P_s}{P_{rs}}, \frac{P_{r,i}}{P_{rr,i}}\right\} & T_s = \lambda \cdot \frac{P_{sd}}{P_{rs}} \end{cases} \quad (13)$$

이때, $P_{rs,i}$ 는 소스노드의 잔여전력을 나타내며 $P_{rr,i}$ 는 릴레이노드 i 의 잔여전력을 나타낸다.

4. 성능분석 및 결과

시뮬레이션을 통해 제안된 전력할당 및 릴레이노드 선택 알고리즘에 대한 성능을 분석하고 기존의 방식과 비교하였다. 우리는 일정한 영역에 노드들이 균일하게 분포되어 있고, 모든 노드들은 협력 릴레이 노드들을 통해 데이터 송수신이 가능한 네트워크를 가정했다. 네트워크 수명은 최대 총 전 전력의 10%미만의 잔여전력을 가진 노드가 네트워크 상에 하나 이상 존재할 때까지의 기간으로 규정하고, 전체 데이터 송신 시간 구간으로 나타내었다. 시뮬레이션을 위해서 무선센서 nRF905 싱글 칩 라디오 송수신기를 선택하였다.

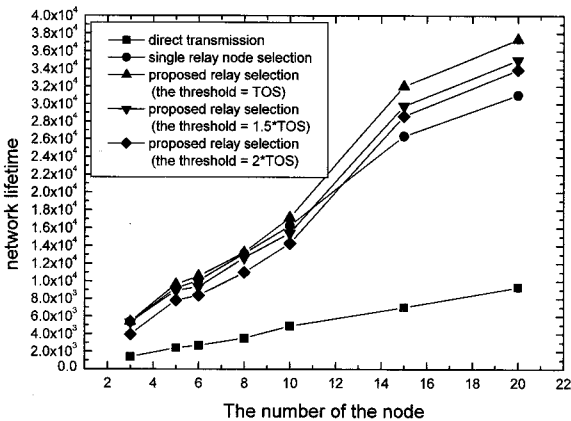


그림 1 릴레이 선택알고리즘의 노드 개수 및 임계값 변동에 따른 네트워크 수명

Fig. 1 Network lifetime of relay selection according to the number of nodes and threshold

그림 1은 노드 수와 TOS를 기반으로 한 임계값의 변화에 따른 네트워크 수명을 보여주고 있다. 그래프에서 직접 전송방식은 협업통신을 사용하지 않는 방식이며 단일노드 선택방식은 채널상태만을 고려하여 단일 노드를 릴레이로 선택하는 기존의 방식을 의미한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 경우 기존의 방식과 달리 채널 상태뿐 아니라 잔여전력이 함께 고려되었는데, 이는 송신 전력이 효율적으로 할당되게 함으로써 평균 네트워크 수명에 있어서 직접 전송방식과 단일 릴레이선택 방식에 비해 우수한 성능을 보인다. 그림에서 노드의 수가 작을 때 single 릴레이 노드 선택이 오히려 제안한 방식보다 약간의 좋은 성능을 보인다. 그 이유는 임계값을 TOS 이상으로 높이면 소스-목적간 채널상태보다 더 나쁜 무선 채널을 갖는 릴레이 노드가 선택되어 필요이상의 노드를 통신에 참여시킴으로써 전력소모를 증가시키고 결국 네트워크 수명을 오히려 감소시키게 되기 때문이다.

5. 결 론

본 논문에서는 노드의 잔여전력과 채널환경을 고려하여 네트워크 수명을 극대화 할 수 있는 릴레이 선택 및 전력 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 센서네트워크에 적용할 수 있는 분산방식으로 설계되었다. 릴레이노드 선택을 채널상태만을 고려한 1차 릴레이노드 선택과 잔여전력 및 송신전력할당을 고려한 2차 릴레이 선택으로 나누어 처리함으로써 그 동안 개별적으로 다루어졌던 릴레이노드 선택과 전력할당의 문제를 동시에 처리함으로써 센서네트워크의 수명을 크게 증가시킬 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술 연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-331-D00343)

참 고 문 헌

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity part I and II," IEEE trans. Commun., vol. 51, no.11 Nov. 2003, pp.1927-1948
- [2] A. Bletas, A. Khisti, D. P. Reed, A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," IEEE JSAC, vol.24, pp.659-672, Mar. 2006.
- [3] Yonghui Li, Branka Vucetic, and Mischa Dohler, "distributed adaptive power allocation for wireless relay networks,"IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 3, pp. 948-958, Mar 2007.
- [4] Yan Chen, Guanding Yu, Peiliang Qiu and Zhaoyang Zhang, "Power-aware cooperative relay selection strategies in wireless ad hoc networks", IEEE PIMRC '06, pp.1-5, Sept. 2006.
- [5] J. N. Laneman and G. W. Wornell, "Energy-efficient antenna sharing and relaying for wireless networks," in Proc. IEEE WCNC, 2000, pp.7-12