

논문 2012-49TC-5-11

무선 센서네트워크에서 비 위상동기 협동 릴레이 특성의 비교분석

(Performance Comparison and Analysis of Non-Coherent Cooperative Relays for Wireless Sensor Networks)

권은미*, 김정호**

(EunMi Kwon and Jeong-Ho Kim)

요약

이동성이 있는 센서 노드로 구성된 센서 네트워크를 효율적으로 사용하기 위하여 고려해야 할 사항 중 중요한 것이 자원의 효율적인 사용과 신호를 빠르고 정확하게 보내는 것이다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 내에서 SNR(Signal to Noise Ratio)과 릴레이 노드의 신호 증폭률 그리고 노드와 노드 간 직접적으로 통신하는 경우 경로의 이득의 변화에 따른 무선 센서 네트워크의 특성에 대하여 분석하고 다수의 협동 릴레이 노드가 존재할 때 선택기준을 제시하고 이에 따른 영향을 정량적으로 평가하였다.

Abstract

In this paper, the capacity criteria have been proposed in order to select a cooperative relay node in WSNs, under the environment where direct path has a poor link gain. This process may ensure the efficiency improvement of signal transfer between source and destination and reduction of energy consumption as well. Two criteria are incorporated to select a cooperative relay node. Firstly, calculate the energy gain ratio between the relay path and the direct path. Secondly, investigate the effects of relay node's usage in WSNs through the simulation in terms of energy consumption. In the simulation, the relationship between relay energy consumption and direct path gain, uniformly generated in the certain range and its positive effects have been identified.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Non-Coherent, Cooperative Relays, Capacity, Throughput

I. 서론

최근 이루어진 많은 연구에서 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks) 내에서 릴레이 노드(Relay Node)를 사용에 따른 소비전력 감소 효과와 실생활에 적용될 수 있는 여러 환경에 적절한 릴레이 노

드 배치에 대한 연구가 이루어지고 있다. 센서 네트워크는 저전력, 저가격, 소형 근거리 무선통신이 가능한 다기능 노드를 사용하여, 데이터 프로세싱, 통신을 할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다^[1~2]. 센서 노드의 이동성이 큰 단 대 단 통신에서 단말기의 활발한 이동성과 이에 따른 토폴로지를 고려한 릴레이 노드를 이용한 라우팅 방법과, 효율적인 에너지 사용의 측면에서 효율적인 릴레이 노드 배치에 대한 연구의 중요성이 대두되고 있다.

본 논문에서 제시하는 릴레이 노드 설정은 라우팅의 일환으로서 여러 가지 라우팅에 응용될 수 있다. 라우팅은 노드와 노드간 연결이 단말 또는 노드의 이동성으

* 학생회원, ** 평생회원, 이화여자대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering, Ewha Womans University)

※ 이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(2010-0008916)

접수일자: 2012년2월21일 수정완료일: 2012년5월18일

로 인해 실패할 경우 대체할 경로를 선택하여 최대의 안정성을 제공할 수 있다. 또한 최소 비용의 경로 설정으로 실제 발원지(Source)와 도착지 (Destination)간 최소한의 노드를 거쳐 갈 수 있게 하여 최소한 거리의 경로 설정이 가능하게 한다. 또한 모든 노드에게 시간에 대하여 최소 거리의 시간과 최대 효율에 대한 응답을 제공한다. 또한 라우팅은 분산된 장소에서 고려된다. 동적인 네트워크와 작은 네트워크에서는 한 장소에서 집중된 라우팅이 불가능하기 때문이다. 특히 각 릴레이 노드의 데이터 전송 에너지에 대한 정확한 정보를 네트워크에 보관한다는 점과 이동성이 큰 센서 노드에 적용될 수 있다는 점에서 하이브리드(Hybrid) 라우팅과 밀접한 관계를 가지고 있다^[3~4].

본 논문에서는 위의 여러 가지 방법들이 제시한 문제를 최소화하면서 에너지 소비에 있어서 이득을 얻을 수 있는 비 위상동기식 결합 방식(Non-Coherent Combining)의 통신환경을 고려하였으며 이유는 DF (Decode-and-Forward) 방식^[5]과 달리 릴레이 노드에서 Decoding과 복잡한 Signal Processing이 필요하지 않기 때문에 DF방식에 비해 낮은 연산능력과 저 에너지 소모로 전달이 가능하고 속도가 빨라 소규모 네트워크 구성에 유리하다^[6].

II. 제안하는 시스템의 구성

사용자의 이동성이 큰 무선 센터 네트워크 환경에서 릴레이 노드를 사용하여 신호전송하는 과정을 모델링하기 위해서 노드 i 에서 노드 $i+1$ 을 거쳐서 가는 직접 경로(Direct Path)와 노드 i 에서 여러 후보 릴레이 노드 중 하나인 c 노드를 선택하는 방법에 대한 기준의 설정이 필요한데 이에 대한 방안을 제안하고 수치적 모델의 도출에 대해 설명하려고 한다. 무선 센서 네트워크에서 릴레이 노드를 사용함으로써 기대되는 이득은 같은 시간동안 더 나은 신호전송용량과 동시에 신호전송에너지의 감소이다. 이 때 신호전송용량을 판단하는 식은 다음과 같이 표현된다.

$$C = W \cdot \log_2(1 + g \cdot SNR) \quad (1)$$

여기서 C (Capacity)는 신호전송용량, W 는 대역폭, g (gain)는 링크의 이득, SNR (Signal to Noise Ratio)은 신호 대 잡음 비율이다. 즉, 신호전송용량은 전송 링크의 대역폭, 링크의 이득, 그리고 신호대잡음비의 영향

을 받음을 식(1)을 통하여 알 수 있으며 노드 사이의 전력이득이 노드간의 전송용량을 결정하는 중요한 요소이다. 또한 단대단(end-to-end)간의 에너지 효율적이며 QoS (quality of service)를 확보하기 위해서 무선 센서 네트워크에서의 용량은 발원지에서 도착지간 연결 링크 중 가장 용량이 적은 링크가 전체 시스템의 단대단 간의 용량을 결정하며 이는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$C = \min \arg_i C_{i,i+1}^C \quad (2)$$

이 때 각 링크별 용량에 대하여 좀 더 자세히 살펴보면 무선 센서 네트워크에서 사용하는 직접 경로와 릴레이 경로(Relay Path)의 관계를 식 (1)에서와 같이 링크의 용량의 값에 따라 효율이 큰 부분을 알 수 있다. 직접 경로와 릴레이 경로 각각의 경우의 신호전송용량 식은 다음과 같다. 먼저 신호를 발원지에서 도착지까지 전송할 때 직접 경로인 경우 노드 i 와 노드 $i+1$ 을 거쳐 가는 경우로 식은 다음과 같다.

$$C_{i,i+1}^D = W \cdot \log_2(1 + g_{i,i+1} \cdot SNR) \quad (3)$$

릴레이 노드 c 를 사용하는 경우는 신호가 발원지에서 출발하여 노드 i 를 거쳐 릴레이 노드 c 를 거치고 노드 $i+1$ 을 지나 도착지로 전송되는 경우로 수신된 신호가 비 위상 동기식 결합(non-coherent combining)이 이루어지는 경우의 신호전송용량을 표현한 식은 다음과 같다.

$$C_{i,i+1}^C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{(g_{i,i+1} + \beta \cdot g_{c,i+1} \cdot g_{i,c}) \cdot P_i}{(\beta \cdot g_{c,i+1} + 2)N_0 W} \right) \quad (4)$$

두 가지 경우 모두 다음 세 가지 조건을 충족시키는 경우이다.

$$1 < \beta, 0 < g_{i,i+1} < 1, SNR = \frac{P_i}{N_0 W}$$

증폭률 β 는 릴레이 노드에서 노드 i 의 신호를 전달 받았을 때 신호를 증폭하는 증폭률이며 항상 1보다 큰 값을 갖는다. $g_{i,i+1}$ 는 직접 경로의 이득으로 0과 1사이의 값을 가지며 0에 가까울수록 좀 더 낮은 이득으로 $g_{i,i+1}$ 값이 작을수록 릴레이 노드의 필요성이 커질 것이다. SNR 은 신호대 잡음 비율로 여기서의 N_0 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$N_0 = kT = (1.38 \times 10^{-23}) \times (273^\circ + 17^\circ) \quad (5)$$

이때 k 는 Boltzmann 상수이다. 실온에서 신호가 전송되는 환경을 실온으로 가정하여 실온에 가까운 17° 로 T 값을 설정하여 N_0 를 정의하였다. 여기서 1bit 정보 전송에 소모되는 에너지 값을 E_b 라고 한다. E_b 값은 직접 경로와 릴레이 경로의 신호전송전력을 비교하여 판단할 수 있도록 하는 신호전송 시 소모되는 에너지 (Joule) 값이다. 다음으로 효율적인 에너지 사용을 위한 무선 센서 네트워크의 릴레이 노드의 선택 기준에 대하여 설명한다. 릴레이 노드의 선택 기준은 다음과 같다. 전송용량 측면에서 일정량($\delta = \log_2(\delta')$) 이상의 이득이 발생하는 경우에만 협동 릴레이 노드를 선택하여 경로를 구성하는 것이다.

$$C = W \cdot \log_2(1 + g \cdot SNR) \quad (6)$$

$$(C/W)_D = \log_2(1 + g_{i,i-1} \cdot SNR) \quad (7)$$

$$(C/W)_C = \log_2 \left(1 + \frac{(g_{i,i+1} + \beta \cdot g_{c,i+1} \cdot g_{i,c})}{\beta \cdot g_{c,i+1} + 2} \cdot SNR \right) \quad (8)$$

$$(C/W)_C > (C/W)_D + \delta \quad (9)$$

단, 여기서 $\delta = \log_2(\delta')$ 이다.

$$\begin{aligned} & \log_2(\delta' (1 + g \cdot SNR)) \\ & \geq \log_2 \left(1 + \frac{g + (g_{i,c} g_{c,i+1}) \cdot \beta}{\beta \cdot g_{c,i+1} + 2} \cdot SNR \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$g_{i,i+1} \leq \left\{ \frac{\delta' - 1 - \frac{\beta \cdot g_{c,i+1} \cdot g_{i,c}}{\beta \cdot g_{c,i+1} + 2} \cdot SNR}{\left(\frac{1}{\beta \cdot g_{c,i+1} + 2} - \delta' \right) \cdot SNR} \right\} \equiv g' \quad (11)$$

여기서 g' 값은 직접 경로와 릴레이 경로의 신호전송비율을 나타낸 문턱 값(Threshold value)으로서 이 비율이 직접 경로 이득보다 크거나 같을 때 릴레이 노드를 사용하게 된다.

IV. 수치적 시뮬레이션 및 분석 토론

본 절에서는 앞서 제시하였던 효율적인 에너지 사용을 위한 무선 센서 네트워크에서 직접 경로에서 릴레이

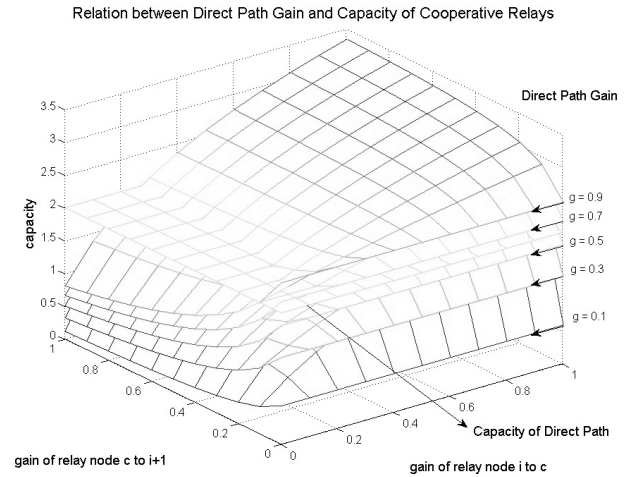


그림 1. 협동 릴레이와 직접 경로 이득과의 관계
Fig. 1. Relation between Direct Path Gain and Capacity of Cooperative Relay System.

노드의 사용에 따라 변화하는 데이터 전송 용량을 관찰하고, 직접 경로 이득 값이 1에서 0.01로 감소함에 따라 릴레이 노드 사용의 효율이 무선 센서 네트워크의 데이터 전송 용량과 에너지 절약 측면에서 미치는 영향 대하여 시뮬레이션으로 분석 및 평가하였다.

효율적인 에너지 사용을 위한 무선 센서 네트워크에서 직접 경로 이득이 무선 센서 네트워크의 데이터 전송 용량에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 그림 1은 $SNR=10$, $W=1Hz$, $\beta=10$ 일 때 릴레이 노드 이득을 0에서 1까지 0.1 씩 증가시키는 환경에서 직접 경로 이득이 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 점차 증가함에 따라 전체적인 용량이 높아지는 것으로 직접 경로 이득이 효율적인 에너지 사용을 위한 무선 센서 네트워크의 용량에 미치는 영향을 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 릴레이 경로 이득이 높을 경우에(0.4이상) 릴레이 경로의 이득이 증가함에 따라 데이터 전송 용량 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그래프의 평면부분에 해당하는 것은 $\beta=0$ 일 경우로서 직접 경로의 이득이 0가 되어 용량 또한 변화가 없음을 관찰할 수 있다. 이는 $\beta=0$ 인 부분을 기준으로 상위 부분은 직접 경로 이득이 좋지 않을 때(0.5 이하) 릴레이 노드를 사용하면 효율적으로 신호전송이 이루어지는 효과가 기대되는 릴레이 경로 이득의 범위이다.

그림 2에서는 협동 릴레이 노드의 증폭도 β 값이 달라짐에 따라 변화하는 용량을 나타내는 그래프이다. 다시 정리하자면 협동 릴레이의 에너지를 사용함으로써 노드간의 전송용량이 낮은 링크의 용량을 개선할 수 있음을 나타내며 또한 이를 통해서 단위 비트를 전송하는

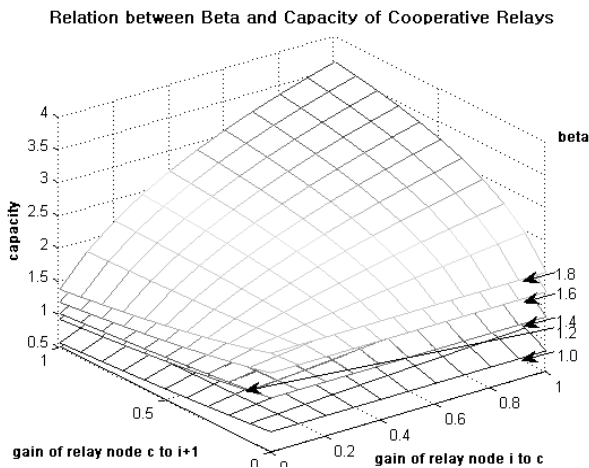


그림 2. β 와 협동 릴레이 시스템 용량간의 관계
Fig. 2. Relation between beta and Capacity of Cooperative Relay System.

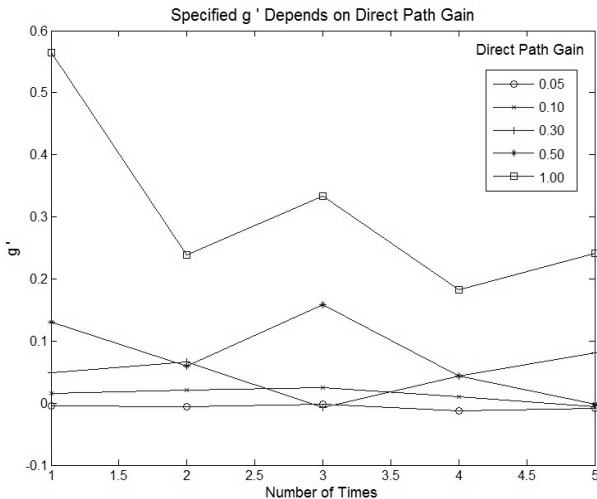


그림 3. 협동 릴레이 적용이 이득을 갖게 되는 직접 경로이득의 문턱값
Fig. 3. g' specifies the threshold value of direct path gain.

데 소모되는 에너지를 줄일 수 있어서 센서 네트워크의 생명 시간을 증대시킬 수 있다. 여기서는 직접 경로 이득=0.3, $W=1\text{Hz}$, $\text{SNR}=10\text{dB}$ 일 때 효율적인 에너지 사용을 위한 무선 센서 네트워크에서 β 값을 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8로 증가함에 따라 데이터 전송 용량이 증가함을 확인할 수 있다. 결과에서 관찰할 수 있는 바와 같이 협동 릴레이 노드의 이득이 일정한 값 이상을 갖는 영역에서만 전송용량의 이득을 기대할 수 있으며 이와 더불어 단위 비트를 전송하는데 소모되는 에너지를 줄일 수 있게 된다. 이의 적절한 확인을 위해 센서 노드의 전력 이득 값에 따른 영향을 살펴보는 것이 필요하다. 그림 3은 직접 경로 이득의 문턱 값을 나타내는 것으로

0.05(o), 0.10(x), 0.30(+), 0.50(*), 1.00(□)으로 증가됨을 5개의 임의의 링크 이득 파라미터에 대해서 얻은 값의 평균값을 나타내고 있다.

위 그림에 나타난 바와 같이 직접 경로 이득값은 때때로 문턱 값보다 작은 값을 갖게 될 수 있고 그럴 경우에는 비록 협동 릴레이 노드를 결합하여 사용한다 하더라도 용량 이득이나 정보전송에 있어서 에너지의 이득이 발생하지 않음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 릴레이 노드를 선택하는 방식에 따른 영향을 분석하였다. 일반적으로 협동 릴레이를 사용하면 용량의 증가가 기대되지만 특정한 경우에는 오히려 용량의 감소를 초래할 수 있다. 이러한 협동 릴레이를 사용하는 경우를 비교평가하기 위해, 직접 경로이득 대비 협동 릴레이를 사용할 경우 이득이 발생하는 경우로 나누어 각 경우 용량의 변화를 비교분석하였다. 이를 위해 무선 센서 네트워크의 용량과 릴레이 노드의 증폭률, 직접 경로 이득, 그리고 SNR과의 관계를 살펴본 결과 무선 센서 네트워크의 용량에 가장 큰 영향을 미치는 직접 경로 이득과 릴레이 노드를 포함한 링크의 이득을 고려할 때 직접 경로 이득이 줄어들수록 릴레이 노드를 사용하는 것이 무선 센서 네트워크에서 용량개선측면에서 효율적인 통신이 이루어 질 수 있다는 것을 확인하였다. 이와 같은 맥락에서 직접 경로 이득 값이 감소함에 따라 릴레이 노드를 채용하는 경우에 단위 비트당의 데이터 전송 에너지가 감소하여 전송에너지 측면에서 이득이 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 관찰하였다. 특히 직접 경로 이득이 0.05보다 작을 경우 릴레이 경로의 릴레이 노드를 사용하는 것이 전체 경로를 재설정하여 E2E간에 데이터 전송경로를 확보하는 것보다 효율적임을 확인하였고, 무선 센서 네트워크에서 통신의 용량의 QoS와 에너지 효율개선이 가능하다 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Dejun Yang, Misra, S., Xi Fang, Guoliang Xue, Junshan Zhang, "Two-Tiered Constrained Relay Node Placement in Wireless Sensor Networks: Efficient Approximations" IEEE Communications

- Society Conference, vol.7, pp. 1-9, June 2010.
- [2] Dharma Prakash Agrawal, Qingan Zeng, "Wireless and Mobile Systems" Thomson, 2003, pp.279-295
- [3] Chakrapani, A. Malaney, R. Jinhong Yuan, "Energy Efficient Cooperative Communications using Location based Relaying" Communications Theory Workshop, pp. 105-109, 2009.
- [4] Xiaofeng Han, Xiang Cao, Lloyd, E.L., Chien-Chung Shen, "Fault-Tolerant Relay Node Placement in Heterogeneous Wireless Sensor Networks" IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 9, issue 5, pp. 643-656, 2010.
- [5] Chakrapani, A. Malaney, R. Jinhong Yuan, "Energy Efficient Cooperative Communications using Location based Relaying" Communications Theory Workshop, pp. 105-109, 2009.
- [6] Azim, A., Islam, M.M., "Hybrid LEACH: A relay node based low energy adaptive clustering hierarchy for wireless sensor networks" IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications, pp. 911-916, Dec. 2009.

 저 자 소 개



권 은 미(학생회원)
 2010년 충북대학교 정보통신학과
 학사 졸업
 2012년 이화여자대학교
 전자공학과 석사 졸업
 2012년 (주) MS Korea 인턴쉽

<주관심분야 : 무선통신, 이동통신, Green Computing>



김 정 호(평생회원)
 1991년 한국 과학기술원 전기 및
 전자공학과 학사
 1993년 한국 과학기술원 전기 및
 전자공학과 석사
 1999년 한국 과학기술원 전기 및
 전자공학과 박사

1995년 LG전자 멀티미디어 연구소
 1999년~2000년 LG정보통신 중앙연구소
 선임연구원
 2000년, 2009년 Virginia Tech. MPRG (Mobile
 Radio Research Group) Visiting
 Scholar and Visiting Professor
 2001년~2002년 8월 LG전자 UMTS시스템
 연구소 책임연구원
 2002년 9월~현재 이화여자대학교 공과대학
 전자공학과 부교수
 <주관심분야 : 인지 네트워킹, 인지 라디오 네트
 워크, 인지기반 QoS제어, SDR Hardware 플랫폼
 설계>