

무선 센서네트워크상에서 간섭영향을 고려한 위치정보 기반 멀티캐스트 라우팅 알고리즘

준회원 차재영*, 정회원 공영배**, 최증원***, 고종환***, 권영구**

Location-based Multicast Routing Algorithms for Wireless Sensor Networks in Presence of Interferences

Jae-young Cha* *Associate Member*, Young-bae Kong**, Jeung-won Choi***, Jong-hwan Ko***,
Young-goo Kwon** *Regular Members*

요약

무선 센서 네트워크에서 위치기반 멀티캐스트 라우팅은 중복되어 전송되는 메시지 전송 횟수를 줄임으로써 무선 센서 네트워크망의 채널 용량과 수명을 증가시킬 수 있다. 하지만 기존의 위치기반 멀티캐스트 알고리즘들은 센서 노드의 위치만을 고려하여 패킷을 전송하기 때문에 장애물이나 다른 무선기기의 간섭영향이 존재하는 실제 환경에서는 네트워크 성능이 저하될 수 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 간섭의 영향을 고려한 위치기반 멀티캐스트 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에서 각 센서 노드는 간섭영향을 고려하여 각 링크에 패킷 전송 시 소모되는 에너지를 계산하고 이를 바탕으로 간섭영향이 가장 적은 링크를 통해 멀티캐스트 패킷을 전송한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 알고리즘은 기존 연구들에 비하여 패킷전송률과 에너지 소비 측면에서 향상된 성능을 보였다.

Key Words : Interference, Location-based multicast routing, Wireless sensor network

ABSTRACT

In wireless sensor networks (WSNs), location-based multicast routing (LMR) technique can increase the network life time and the channel capacity by reducing the number of duplicated data transmissions and control messages. However, previous LMR techniques can suffer from significant performance degradation due to concrete walls or other interfering objects deployed in the real environment, since they transmit the packets by using only the locations of the sensor nodes. To solve this problem, we propose an interference-aware location based multicast algorithm for WSNs. In the proposed algorithm, each node adjusts the energy cost for each link adaptively considering the interference effect and uses it for multicast decision in order to minimize the interference impact. Experimental results show that the proposed algorithm improves the delivery and energy performance when the network is affected by interference.

※ 이 논문은 2012학년도 건국대학교의 연구년 교원 지원에 의하여 연구되었음

* 건국대학교 전자공학과 ({chaj00, ygkwon}@konkuk.ac.kr), (° : 교신저자) ** 한국원자력 연구소(ybkong224@gmail.com),

*** 국방 과학 연구소 ({jwchoi, jhko06}@add.re.kr)

논문번호 : KICS2011-09-389 , 접수일자 : 2011년 9월 6일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 3일

I. 서 론

무선 센서 네트워크에는 화재 감시, 환경 모니터링, 보안 모니터링, 전술적 상황 등 다양한 응용 서비스가 존재한다. 이러한 응용서비스에서는 많은 수의 센서 노드가 사용되는데, 다수의 특정 센서 노드에 메시지를 보내어 정보 업데이트 및 다른 임무 수행 등 특정 다수의 센서 노드를 제어하기 위해 동일한 데이터를 전송하여야 하는 경우 멀티캐스트 라우팅은 매우 효과적인 라우팅 방식이다.^[10,11] 멀티캐스트 라우팅은 전송 노드가 한 번의 패킷 전송으로 목적지 그룹에 속한 다수의 센서 노드들에게 패킷을 동시에 전달하는 라우팅 방식을 말한다. 멀티캐스트 라우팅은 네트워크상에 중복 전달되는 데이터 메시지의 양을 줄일 수 있기 때문에 효율적인 채널 사용을 가능하게 하며 네트워크의 수명을 연장할 수 있게 한다.

MAODV^[7], ODMRP^[8], ADMR^[9] 등 기존의 플러딩 (flooding) 기반 멀티캐스트 라우팅은 목적지 노드들을 찾기 위해 네트워크 전반에 걸쳐 RREQ (route request) 메시지를 플러드 (flood) 하기 때문에 메시지 오버헤드가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위하여 센서 노드의 위치 정보를 이용하는 위치정보기반 멀티캐스트 알고리즘이 제안 되었다.^[4-6] 위치 정보기반 멀티캐스트 알고리즘은 목적지 노드들을 찾기 위한 메시지 오버헤드를 효과적으로 줄일 수 있기 때문에 플러딩 기반의 멀티캐스팅 알고리즘에 비하여 효율적인 라우팅을 수행할 수 있다.

위치 정보기반 멀티캐스트 알고리즘은 위치 정보를 이용하여 센서 노드들 간에 멀티캐스트 트리를 형성하고 목적지 노드에 가장 가까운 이웃 노드에게 패킷을 전달하는 greedy-forwarding을 이용하여 멀티캐스트 트리를 따라 패킷을 전달한다. 위치정보기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 중에서, GMR^[10]은 패킷 전송 효율성을 향상시키기 위해 제안되었다. GMR은 전송횟수를 줄이기 위해 이웃 노드들과 목적지 노드들 간의 거리에 따라 목적지 노드들을 서브그룹으로 나눈 뒤 각 서브그룹에 가장 가까운 이웃 노드에게 멀티캐스트 메시지를 전달한다. 그리고 노드들 간의 거리뿐만 아니라 소모되는 에너지 비용을 고려하여 멀티캐스트 메시지를 전달하는 GMREE^[11] 알고리즘을 제안하여 에너지 성능을 향상 시켰다.

최근 들어 많은 다른 2.4GHz 무선기기들 (WLAN, Bluetooth)은 동일한 ISM 밴드 주파수를

사용하는 센서 네트워크 무선기기들에 간섭 (Interference) 영향을 줄 수 있다.^[12] 기존의 위치정보 기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 다른 무선 기기의 간섭영향에 상관없이 목적지 노드에 가장 가까운 이웃 노드에게 메시지를 전송하기 때문에 간섭의 영향으로 인하여 패킷전송률이 낮아질 수 있다. GMR과 GMREE도 간섭영향 때문에 상당히 심각한 성능저하가 나타날 수 있다. 멀티캐스트 라우팅에서는 하나의 패킷이 중복되는 경로까지 전송 되기 때문에 멀티캐스트 메시지가 경로 중간에서 손실이 발생하면, 목적지 노드 그룹에 속한 목적지 노드들 모두 메시지를 받지 못하게 된다. 위치정보 기반 멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 간섭영향을 고려하여 설계 되어야 한다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크상에서 간섭영향을 고려한 에너지 효율적인 위치정보기반 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에서 전송 노드는 간섭영향을 고려하여 각 이웃 노드에 전송 시 소모되는 에너지를 예측한다. 그리고 멀티캐스트 메시지를 릴레이 할 때, 각각의 이웃 노드에 전송 시 소모되는 에너지와 그 이웃 노드가 얼마나 목적지 노드에 가까우지에 대한 비율을 이용하여 멀티캐스트 메시지를 전송한다. 시뮬레이션 결과, 제안된 알고리즘은 간섭영향이 존재하는 상황에서 GMR과 GMREE에 비해 패킷전송률과 에너지 소모 측면에서 크게 향상된 성능을 보여준다.

II. 제안한 알고리즘

멀티캐스트 라우팅에서 실제 환경에서 발생하는 간섭영향을 해결하기 위해 우리는 에너지 효율적인 위치정보기반 멀티캐스트 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 먼저 간섭영향을 고려하여 최소 전송파워와 소모에너지를 계산한다. 이를 바탕으로 각 전송 노드는 위치 정보기반 멀티캐스트 알고리즘을 수행한다.

2.1. 간섭영향을 고려한 최소 전송파워와 소모에너지 추정

간섭영향 등에 의해 채널상태가 좋지 않을 경우 노드가 안정적으로 패킷을 수신 할 수 있는 수신 파워 임계값 (the received power threshold value) 이 높아지기 때문에, 송신 노드는 수신 노드의 수신 파워 임계값의 변화에 맞추어 전송파워를 조절해야 노드 간 link를 안정적으로 유지 하고 에너지를 절

약 할 수 있다.^[2] 제안한 알고리즘은 이를 이용하여 멀티캐스트 패킷 경로를 설정 할 때, 간섭영향을 최소화 하는 이웃 노드로 패킷을 전달하기 위하여 간섭영향의 세기를 고려하여 수신 파워 임계값의 변화에 따라 최소전송파워 세기를 계산한다. 만약 노드의 패킷 수신에 성공할 수신 파워 임계값 P_{RX}^{TH} 를 안다면, 최소전송파워 P_{TX}^{min} 는 다음과 같이 결정 될 수 있다.

$$P_{TX}^{min} (dBm) = P_{RX}^{TH} (dBm) + PL (dB) + \sigma \quad (1)$$

PL 은 거리와 장애물 등에 의한 소스 노드와 목적지 노드 사이에 경로손실을 나타내고, σ 는 페이딩 채널에서 경로손실의 편차를 나타낸다. 수신 파워 임계값은 SINR (signal-to-interference-plus-noise ratio) 모델에 의해 다음과 같이 계산 될 수 있다.^[2]

$$P_{RX}^{TH} = SINR_{TH} + 10 \log(10^{P_N/10} + 10^{P_I/10}) \quad (2)$$

P_N 과 P_I 는 dBm 단위의 노이즈 파워와 간섭신호 파워를 나타내고, $SINR_{TH}$ 는 dB단위의 성공적인 패킷 수신을 위한 SINR 임계값을 나타낸다. $SINR_{TH}$ 는 BER (bit error rate) 모델에서 계산되어진다. IEEE 802.15.4 표준에서 BER P_B 는 다음 수식과 같다^[1].

$$P_B = \frac{8}{15} \times \frac{1}{16} \times \sum_{k=2}^{16} -1^k \binom{16}{k} e^{\left(20 \times SINR \times \left(\frac{1}{k} - 1\right)\right)} \quad (3)$$

식 (3)에서 패킷 전송 시 99% 패킷 수신율을 만족하는 SINR 임계값은 다음과 같이 계산 될 수 있다.

$$SINR_{TH} \approx 1.1071 (dB) \quad (4)$$

간섭신호 파워가 커지게 되면 위의 SINR 임계값을 만족하기 위하여 송신 신호 파워가 더 커져야 하기 때문에 간섭신호의 크기에 따라 최소 전송파워 값이 변하게 된다.

전송 파워세기에 따라 소모되는 에너지는 비례

한다 ($E_{TX} \propto c \cdot P_{TX}^{min}$). C 는 하드웨어 특성에 따라 정해지며, E_{TX} 는 송신 모드 에서 소모되는 에너지를 나타낸다. 노드가 패킷을 전송할 때 소모되는 에너지 E 는 다음 수식에 의해 계산되어진다.

$$E = E_{TX} \times T_{DATA} + E_{RX} \times (T_{LIFS} + T_{BO} + T_{ACK} + T_{SIFS}) \quad (5)$$

E_{RX} 는 수신모드에서 소모되는 에너지를 나타낸다. T_{DATA} , T_{ACK} , T_{LIFS} , T_{SIFS} , T_{BO} 는 각각 데이터 패킷 전송시간, ACK 패킷 전송시간, long inter-frame 시간, short inter-frame 시간, 백오프 시간을 나타낸다. 제안한 알고리즘에서 멀티캐스트 패킷 수신 신뢰도(reliability)를 향상시키기 위해 윌콕스 노드간 송신 노드가 패킷 전송 후 수신 노드는 ACK 패킷을 전송하는 것으로 가정한다.^[15-17]

2.2. 간섭영향을 고려한 위치정보기반 멀티 캐스팅 알고리즘

제안한 알고리즘에서, 모든 센서 노드는 주기적으로 간섭 파워를 측정하고 식 (2)를 이용하여 수신 파워 임계값을 결정한다. 센서노드가 주변에 간섭 영향을 발견하게 되면, 그 센서 노드는 수신 파워 임계값을 업데이트 한 비콘 메시지를 최대 파워, P_{TX}^{max} 로 주기적으로 브로드캐스트한다. 센서노드가 비콘 메시지를 수신할 때, 그 센서노드는 수신파워 P_{RX} 를 측정하고 경로손실을 아래와 같이 계산한다.

$$PL (dB) = P_{TX}^{max} (dBm) - P_{RX} (dBm) \quad (6)$$

비콘 메시지를 수신한 노드는 식 (1)을 이용하여 최소 전송파워를 결정하고 이웃노드 테이블에 값을 저장한다. 소스 노드가 목적지 노드 그룹 $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_k\}$ 에 멀티캐스트 메시지를 전송할 때, 송신 노드는 전송하려는 패킷 사이즈와 식 (5)를 이용하여 각 이웃노드에 패킷 전송 시 소모되는 에너지를 추정한다. 송신 노드는 이웃노드 테이블에 모든 이웃노드의 최소 전송 파워 값을 체크한다. $N = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_k\}$ 을 이웃 노드 테이블이라고 하자. 만약 이웃노드 u_k 의 계산된 최소 전송파워가 최대 전송파워보다 크다면, 이웃노드

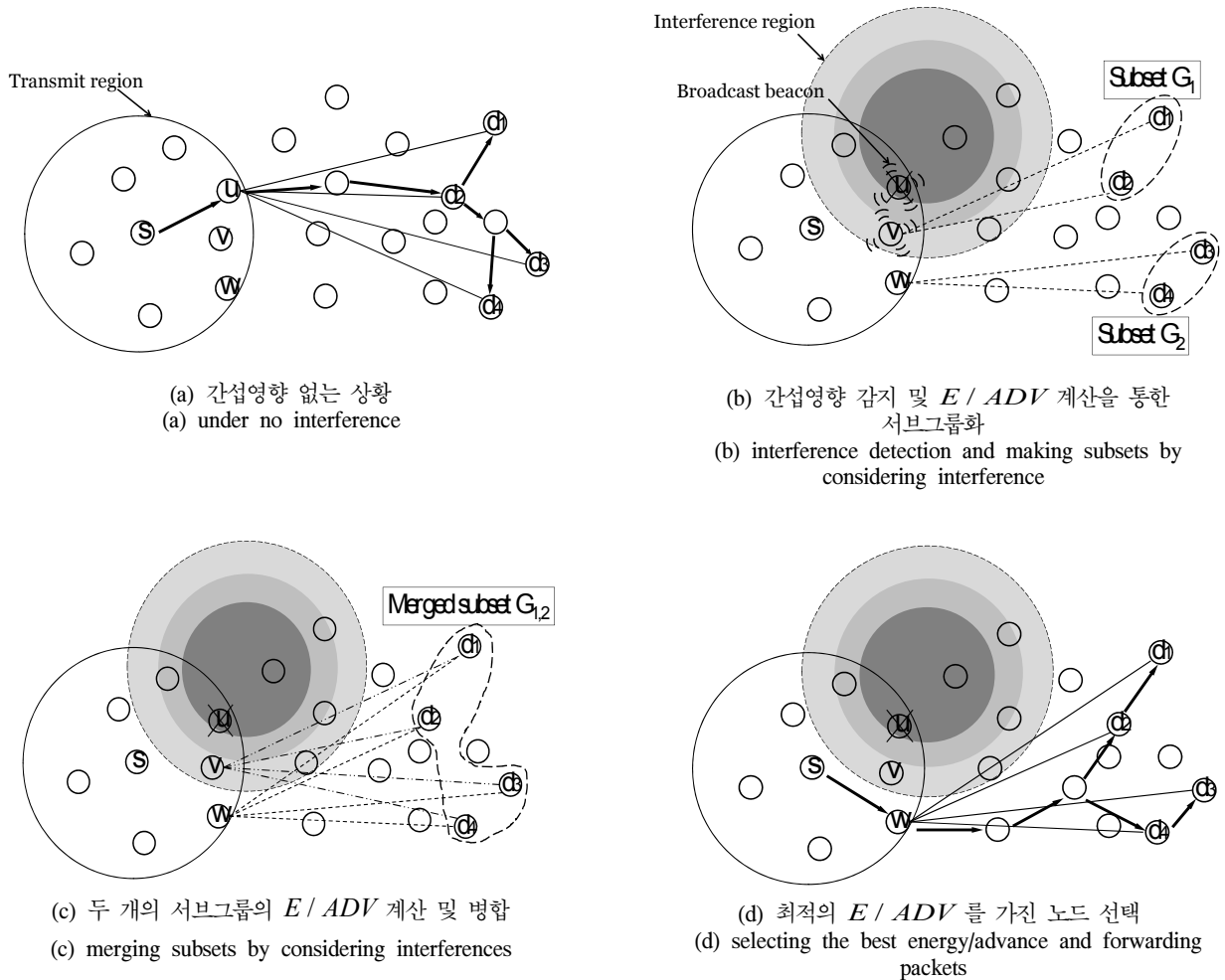


그림 1. 간섭영향이 존재 하는 상황에서 제안한 알고리즘 동작 예제
Fig. 1. Examples of the proposed algorithm in presence of interference

u_k 는 이웃노드 테이블 N 에서 제거된다. 왜냐하면 이웃노드 u_k 는 간섭영향을 많이 받아 최대전송 파워로 패킷을 보내어도 수신 할 성공률이 낮기 때문이다. 안정적으로 패킷 수신이 불가능한 이웃노드를 제거함으로써 서브그룹을 나누는 과정의 연산이 간단해 질 수 있다.

새로운 이웃노드 테이블 N 을 바탕으로, 소스 노드는 가장 낮은 E/ADV 값을 가지는 이웃노드를 찾기 위해 목적지 노드들을 서브 그룹으로 나눈다. ADV 는 전송하려는 패킷이 목적지노드에 가깝게 이동한 전진거리를 나타낸다. 예를 들어, 소스 노드 S 가 목적지 노드 그룹 $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_k\}$ 에 패킷을 전송할 경우 이웃노드 u_k 에 대한 ADV_{u_k} 는 다음과 같다.

$$ADV_{u_k} = [d(s, d_1) + d(s, d_2) + \dots + d(s, d_k)] - [d(u_k, d_1) + d(u_k, d_2) + \dots + d(u_k, d_k)] \quad (7)$$

$d(s, d_1)$ 는 노드 S 와 노드 d_1 사이의 거리를 나타낸다. 간섭영향이 강해질수록 소모되는 에너지는 증가하기 때문에 제안된 알고리즘은 간섭영향이 심한 지역에 있는 이웃 노드들을 회피하여 패킷을 전송할 수 있다.

초기 서브 그룹을 $G = \{G_1, G_2, G_3, \dots, G_k\}$ 라 하자. 멀티캐스트 메시지의 전송횟수를 줄이기 위해 송신 노드는 두 개의 서브 그룹의 조합 (G_i, G_j)을 하나의 서브그룹 $G_{i,j}$ 로 병합할 수 있는지 확인한다. 예를 들면, 두 개의 서브그룹 G_1 과 G_2 의 모든 목적지노드들에 대해서 가장 낮은 E/ADV 값을 제공하는 이웃노드가 존재 한다면 서브그룹 G_1 과

G_2 는 하나의 서브그룹 $G_{1,2}$ 로 병합되고 소스노드는 $G_{1,2}$ 로 패킷을 전송한다. 이러한 과정은 패킷이 목적지 노드에 도달할 때까지 반복된다.

그림 1은 제안한 알고리즘 동작 과정을 보여준다. 그림 1-(a)에서 보듯이 만약 간섭 영향이 존재하지 않는다면 소스 노드 S 는 목적지 노드 그룹에 가장 가까운 이웃 노드 u 에게 패킷을 전달한다. 그림 1-(b)에서와 같이 간섭영향이 발생되어 노드 u, v 가 간섭영향을 받게 된다면, 두 노드는 수신 파워 임계값을 조정하고 비콘 메시지에 담아 브로드 캐스트 한다. 비콘 메시지를 수신한 노드 S 는 노드 u 와 v 에 대한 간섭영향이 고려된 최소 전송파워를 계산한다. 만약 노드 u 의 최소 전송파워가 노드의 최대 전송파워 보다 크다면, 노드 u 는 노드 S 의 이웃 노드 테이블에서 제거된다. 다음으로 노드 S 는 새로운 이웃 노드 테이블을 이용하여 목적지 노드들을 서브 그룹화 한다. 그림 1-(b)에서 노드 v 는 목적지 노드 d_1 과 d_2 에 대해 가장 낮은 E/ADV 값을 가지고, 노드 w 는 d_3 와 d_4 에 대해 가장 낮은 E/ADV 를 가진다. d_1 과 d_2 의 서브그룹을 G_1 , d_3 와 d_4 의 서브그룹을 G_2 라 하자. 서브그룹화 한 후, 소스노드 S 는 두 개의 서브그룹을 병합한 경우에 병합 하지 않은 경우보다 낮은 E/ADV 값을 제공하는 이웃노드가 존재 하는지 확인하고 존재하는 경우 그림 1-(c)처럼 두 개의 서브그룹을 병합한다. 다음으로 그림 1-(d)와 같이 병합된 서브그룹 $G_{1,2}$ 는 서브그룹 G_1 과 G_2 의 E/ADV 값 보다 더 낮은 E/ADV 값을 제공하기 때문에 노드 S 는 w 에게 패킷을 전달한다.

III. 성능분석

우리는 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 대규모 네트워크 상황에서 제안한 알고리즘을 GMR과 GMREE의 성능과 비교하였다. 시뮬레이션에서 경로손실 모델은 log distance path loss 모델을 사용하였다. 거리 d 에서 경로손실 PL 은 다음과 같다.

$$PL(d) = PL_0 + 10\eta \log(d / d_0) + X_\sigma \quad (8)$$

PL_0 는 기준 거리 d_0 에서의 경로손실, η 는 경로

손실 지수, X_σ 는 표준편차 σ 와 평균 0인 가우시안 분포를 가지는 랜덤변수를 나타낸다.

시뮬레이션에서 우리는 1000개의 센서노드를 $1000 \times 1000m^2$ 영역에 임의로 배치하고 2 개의 802.11g 노드를 (500,500)위치에 배치하였다. 두 개의 802.11g 노드는 [3]에 기반 하여 800바이트 패킷사이즈와 56kbps 전송속도를 이용하는 Poisson 트래픽 모델 이용하여 파일을 주고받으면서 간섭영향을 발생시킨다. 우리는 -5dBm, 0dBm, 5dBm 10dBm 과 20dBm 6개의 간섭 파워 레벨을 고려하였다. 센서 노드들 중에서 소스노드 1개와 15, 20, 25, 30개의 다양한 멀티캐스트 목적지 노드를 임의로 선택하고, 소스 노드가 목적지 노드 그룹에 패킷을 전송하게 하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameter Values

Parameter	Value	Parameter	Value
d_0	1m	T_{ACK}	24us
PL_0	40dBm	T_{LIFS}	8us
η	2.7	T_{SIFS}	32us
σ	2dB	E_{TX}	$\leq 52.2mW$
Data Rate	250kbps	E_{RX}	59.1mW
P_{TX}^{max}	0 dBm	P_N	95 dBm
P_{TX}^{min}	-33 dBm		

그림 2은 간섭 파워레벨에 따른 패킷전송률, 전송횟수, 소모된 에너지 등의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 2-(a)에서 보면 GMR과 GMREE는 제안한 알고리즘 보다 낮은 패킷 전송 성공률을 보여준다. GMR과 GMREE는 간섭영향을 고려하지 않고 거리와 소모에너지에 의해 패킷을 전송하여 간섭영향 지역을 통과하여 패킷을 전송하려고 하기 때문에 많은 패킷 손실이 발생한다. 한 소스 노드에서 생성된 멀티캐스트 메시지는 여러 목적지 노드에 전달되어야 하기 때문에 경로 중간에 패킷 손실이 발생할 경우 다수의 목적지 노드가 패킷을 수신하지 못하여 낮은 패킷 전송률을 보여준다. 간섭영향 지역에 위치한 이웃노드에게 패킷을 전송하기 위해서는 더 큰 전송파워로 메시지를 보내야 한다. 제안한 알고리즘은 간섭영향에 의해 최대 파워로

전송을 해도 패킷 수신율이 낮은 이웃노드를 추정하여 이웃노드 테이블에서 제거한다. 제안한 알고리즘은 간섭영향을 덜 받는 이웃노드에게 패킷을 전달하여 더 높은 패킷 수신 성능을 보여주었다.

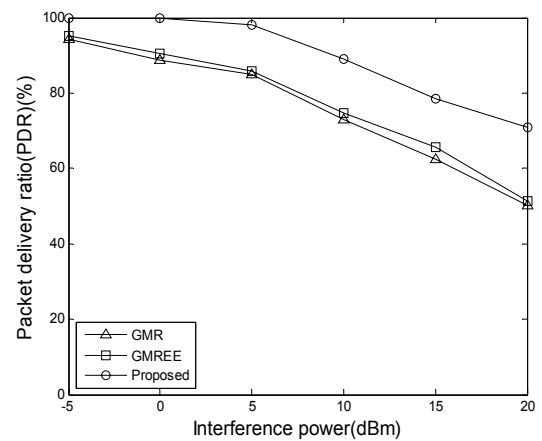
멀티캐스트는 중복 경로에 보내지는 패킷수를 줄이기 위한 것이 목적이므로 적은 전송 횟수로 모든 목적지 노드가 패킷을 수신할수록 좋은 성능을 나타낸다. 우리는 모든 목적지 노드가 30개 또는 그 이상 패킷을 받을 때 까지 소스노드가 주기적으로 패킷을 보내도록 하고 모든 노드가 패킷을 전송한 횟수를 측정하였다. 그림 2-(b)을 보면, GMR과 GMREE의 전송횟수는 제안한 알고리즘보다 더 많다. 제안한 알고리즘은 강한 간섭영향 지역을 감지하고 그 지역에 위치한 이웃 노드를 피해 패킷을 전송하기 때문에 패킷 전송 실패에 의한 재전송 횟수가 적다. 하지만 GMR과 GMREE는 간섭영향을 고려하지 않았기 때문에 강한 간섭 영향을 뚫고 패킷을 전송하기 때문에 패킷 전송 실패 횟수도 많고 그에 따른 재전송 횟수가 많다.

그림 2-(c)는 다양한 간섭 파워 레벨에 따른 소모 에너지를 보여준다. GMREE는 GMR보다 더 좋은 에너지 성능을 보여준다. GMREE는 에너지 비용을 고려하여 에너지 최소화하는 이웃노드에 전송하기 때문이다. 하지만 GMREE는 제안한 알고리즘보다 낮은 에너지 성능을 보여준다. 전송모드에서 에너지 소모는 전송파위에 비례하기 때문에, 제안한 알고리즘은 간섭영향을 고려하여 최소전송파위를 계산하여 이웃노드에 패킷전달시 최소전송파위로 전달하여 소모에너지를 적게 할 수 있다. 그리고 제안한 알고리즘은 간섭영향을 적게 받는 이웃노드를 선택하기 때문에 재전송에 따른 에너지 소모를 적게 할 수 있다.

IV. 결 론

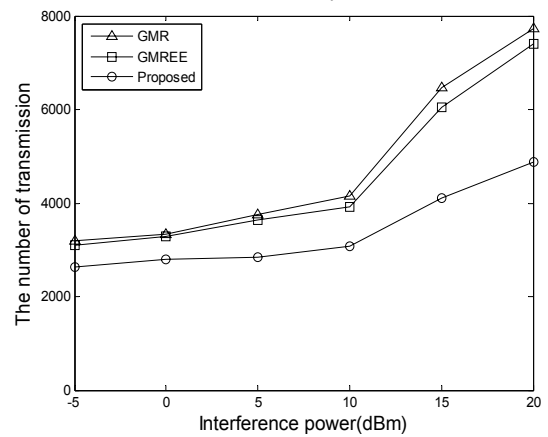
위치정보기반 멀티캐스트 알고리즘은 네트워크상에 중복 전달되는 데이터 메시지의 양을 줄이면서도 목적지 노드를 찾기 위한 메시지 오버헤드를 효과적으로 줄일 수 있기 때문에 무선 센서네트워크에서 효율적인 라우팅을 가능하게 한다.

하지만, 무선센서네트워크와 동일한 2.4GHz를 사용하는 무선기기에 의한 간섭영향으로 위치정보기반 멀티캐스트 라우팅은 심각한 성능 저하가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 간섭영향에 의해 변하는 수신 파워 임계값을 계산하여



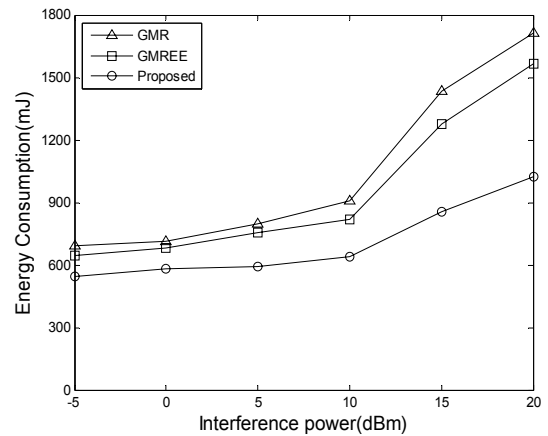
(a) 패킷전송률

(a) Packet delivery ratio(PDR)



(b) 전송횟수

(b) The number of transmission



(c) 소모 에너지

(c) Energy Consumption

그림 2. 다양한 간섭파위에 따른 30개 목적지 노드의 시뮬레이션결과

Fig. 2. Simulation results for 30 destinations by the various interference

간섭영향을 최대한 회피할 수 있는 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다.

제안한 알고리즘은 간섭영향을 고려하여 최소 전

송파위를 계산하고 강한 간섭영향 지역에 있는 이웃노드를 제거한다.

그리고 목적지 노드들을 서브그룹으로 나누고 간섭영향을 회피하여 가장 에너지가 적게 소모되는 이웃노드를 찾아 패킷을 전송한다. 시뮬레이션을 통한 성능 검증 결과, 제안한 알고리즘은 패킷 전송률, 패킷 전송 횟수, 에너지 소모 측면에서 기존의 알고리즘보다 더 나은 성능을 보여준다.

참 고 문 헌

- [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>, Sep. 2006.
- [2] J. Kim and Y. Kwon, Interference-aware topology control for low-rate wireless personal area networks, *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol.55, no.1, pp.97-104, Feb., 2009.
- [3] B. Kim, S. Kim, Y. Fang, and T. Wong, Two-step multipolling mac protocol for wireless lans, *IEEE J. Sel. AreComm.*, vol. 23, no. 6, pp.1276-1286, Jun., 2005.
- [4] S. Basagni, I. Chlamtac, and V. R. Syrotiuk. Location aware, dependable multicast for mobile ad hoc networks, *Computer Networks*, 36(5.6):659.670, August 2001.
- [5] K. Chen and K. Nahrstedt, Effective Location-Guided Tree Construction Algorithms for Small Group Multicast in MANET, *Proc. INFOCOM* pp.1192-1201, 2002
- [6] M. Mauve, H. F'uer, J. Widmer, and T. Lang. Position-Based Multicast Routing for Mobile Ad-Hoc Networks, *Technical Report TR-03-004, Department of Computer Science, University of Mannheim*, March, 2003.
- [7] E.M Royer, P.M. Melliar-smith, and L. Moser. An analysis of the optimum node density for ad hoc mobile networks, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2001.
- [8] S. J. Lee, M. Gerla and C.-C. Chiang, On-demand multicast routing protocol, *In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC '99*, pagesr 1298.1304, September 1999.
- [9] J. G. Jetcheva, D.B. Johnson, Adaptive Demand-Driven Multicast Routing in MultiHop Wireless Ad Hoc Networks, *Proceedings of ACM MobiHoc'01*, Long Beach, CA, October, pp.33-44, 2001
- [10] J. A. Sanchez, P. M. Ruiz, and I. Stojmenovic. GMR: Geographic multicast routing for wireless sensor networks, *In Proceedings of the 3rd Annual IEEE Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON)*, volume1, pages 20.29, 2006.
- [11] J. A. Sanchez, P. M. Ruiz, and I. Stojmenovic. Energy Efficient Geographic Multicast Routing for Sensor and Actuator Networks, *Computer Communications*, 30(13), 2519-2531, Jun 2007.
- [12] S. Shin, H. Park, S. Choi, and W. Kwon, Packet error rate analysis of zigbee under wlan and bluetooth interferences, *IEEE Trans. Wireless Commu.*, vol. 6, pp. 2825.2830, Aug. 2007.
- [13] A. Wu and K. S. Candan GMP: Distributed geographic multicast routing in wireless sensor networks, *In Proceedings of the IEEE ICDCS*, 2006.
- [14] C. Gui and P. Mohapatra Scalable multicasting for mobile ad hoc networks, *In Proceedings of the IEEE INFOCOM*, March 2004.
- [15] Min-Te Sun, Lifei Huang and A. Arora and Ten-Hwang Lai. "Reliable MAC Layer Multicast in IEEE 802.11 Wireless Networks" *In Parallel Processing, 2002. Proceeding. International Conference on*, Aug 2002
- [16] Shiann-Tsong Sheu, Yihjia Tsai and Jenhui Chen. "A Highly Reliable Broadcast Scheme IEEE 802.11 Multi-Hop Ad Hoc Networks. *In Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on Volume 1*, April

2002.

[17] Hrishikesh Gossain, Hagesh Nandiraju, Kumar Anand and Dharma P.Agrawal, "Supporting MAC Layer Multicast in IEEE 802.11 based MANETs: Issues and Solutions", In 29th annual IEEE International Conference on Local Computer Networks(LCN'04),pages 172-179, 2004

고 종 환 (Jong-hwan Ko)

정회원



2004년 2월 서울대학교 기계항공공학부, 컴퓨터공학부 졸업
2006년 2월 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 석사
2006년~현재 국방과학연구소 연구원

<관심분야> 전술통신체계, VoIP, WBAN

차 재 영 (Jae-young Cha)

준회원



2010년 2월 건국대학교 전자공학과 졸업
2012년 2월 건국대학교 전자공학과 석사
<관심분야> 유비쿼터스 컴퓨팅 및 무선센서네트워크, 스마트 그리드

권 영 구 (Young-goo Kwon)

정회원



1993년 2월 고려대학교 전기공학과 졸업
1996년 2월 고려대학교 전기공학과 석사
2002년 Department of Electrical and Computer Engineering, University of Florida 박사

2002년~2003년 삼성전기 중앙 연구소 책임연구원
현재 건국대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 유비쿼터스 및 무선 센서네트워크, 스마트 그리드

공 영 배 (Young-bae Kong)

정회원

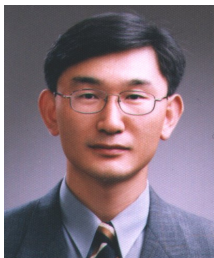


2002년 02월 고려대학교 전기공학과 졸업
2002년~2005년 삼성전자 시스템 LSI 사업부 연구원
2011년 08월 고려대학교 전기공학과 박사
현재 한국 원자력 연구소 연구원

<관심분야> 임베디드 시스템, 유비쿼터스 및 무선 센서네트워크

최 증 원 (Jeung-won Choi)

정회원



1989년 2월 충남대학교 계산통계학과 졸업
1993년 2월 충남대학교 전산학과 석사
1997년 2월 충남대학교 전산학과 박사
1997년~현재 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> 전술정보통신, 위성통신, 바이오통신, 정보융합