

# 무선 센서 네트워크에서 향상된 교차 계층 방식의 위치기반 데이터 전달 기법

김재현\*, 김석규\*, 이재용°

## An Enhanced Cross-layer Geographic Forwarding Scheme for Wireless Sensor Networks

Jaehyun Kim\*, Seoggyu Kim\*, Jaiyong Lee°

### 요약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 프로토콜 성능 극대화를 위해서 비동기식 MAC과 라우팅 교차 계층 방식의 향상된 위치 기반 데이터 전송 (Enhanced Geographic Forwarding; EGF) 기법을 제안한다. EGF 기법은 기존의 일반적인 위치 기반 전송 알고리즘과 달리 주기적인 이웃 노드들의 위치 정보 등을 이용하지 않고, 오직 소스와 목적지 노드의 위치 정보와 에너지 비용 정보만을 이용한 최적의 back-off 매핑 메커니즘을 사용하여 데이터를 전송한다. 또한 효율적인 MAC과 라우팅의 교차 계층 방식으로 오버헤드를 최소화하고 데이터 전달 성능을 최적화 하였다. 성능 분석 결과 패킷 전송 성공률, 저전력성 및 데이터 전송 지연에 대해서 향상된 성능을 확인 하였다.

**Key Words** : 무선 센서 네트워크, 교차 계층, 위치 기반 전달, MAC, 라우팅 프로토콜

### ABSTRACT

In this paper, we propose an Enhanced cross-layer Geographic Forwarding (EGF) protocol for wireless sensor networks (WSNs). EGF uses an optimal back-off time to make the packet forwarding decisions using only source and destination's location information and energy cost without information about neighbor nodes' location or the number of one hop neighbor nodes. EGF is also a cross-layer protocol by combining efficient asynchronous MAC and geographic routing protocol. The proposed protocol can find optimal next hop location quickly without broadcasting node's location update and with minimizing overhead. In our performance evaluation, EGF has better performance in terms of packet success ratio, energy efficiency and end-to-end delay in wireless sensor networks.

### I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)는 인프라가 없는(Infrastructureless) 네트워크

기반의 여러 가지 이벤트를 감지하여 처리하는 센서 노드들과 센서 노드들로부터 데이터를 수집 및 처리하여 기존의 유무선 액세스 네트워크 혹은 인터넷 등을 통하여 사용자에게 관련 정보 및 서비스

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과 (NIPA-2012-H0301-12-1001)와 2009년 안동대학교 학술연구구성사업에 의하여 수행되었습니다.

◆ 주저자 : LG전자 차세대통신연구소, macross7@yonsei.ac.kr, 중신회원

° 교신저자 : 연세대학교 전기전자공학과 유비쿼터스 네트워크 연구실, jyl@yonsei.ac.kr, 중신회원

\* 안동대학교 공과대학 정보통신공학과, sgkion@andong.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2012-04-196, 접수일자 : 2012년 4월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 29일

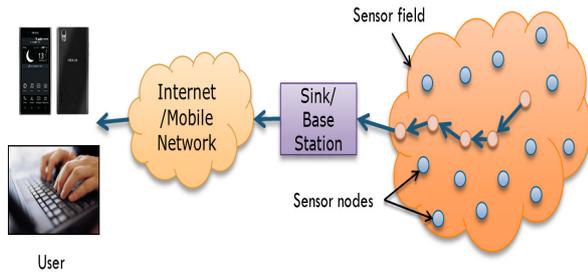


그림 1. 무선 센서 네트워크  
Fig. 1. Wireless sensor network

를 제공하는 싱크노드들로 구성된 네트워크 구조를 가진다. (그림 1) 무선 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크나 Ad hoc 네트워크와는 달리, 반영구적인 네트워크 수명에 따른 초저전력, 상대적으로 많은 수의 센서 노드에 따른 확장성, 빈번한 토폴로지 변화에 따른 신뢰성 등의 특성을 요구한다. 다양한 WPAN(Wireless Personal Area Network) 응용 서비스 (ex, 산업 제어, 환경 감시, 군사 응용, 개인 헬스 및 의료 서비스 등)에 대한 폭발적 관심 증가로 인하여 관련 통신 프로토콜 및 응용 기술들의 많은 연구가 이루어져 오고 있다.<sup>[2]</sup> 한편, 이러한 무선 센서 네트워크의 특징과 더불어 최근의 위치기반 응용 서비스 기술에 대한 폭발적 관심 증가로 인하여 위치기반 라우팅 기술에 대한 중요성이 크게 대두되고 있는 실정이다. 위치기반 라우팅 기술은 노드의 지리적인 위치 정보를 이용하여 라우팅을 하는 기술이며, 일반적인 라우팅 기술과 비교하여 라우팅 초기화 및 관리에 대한 오버헤드를 최소화할 수 있으며, 빈번한 토폴로지 변화에 따른 대응 능력이 효율적인 방식이기 때문에 네트워크 확장성 측면에서도 장점이 많아 무선 센서 네트워크의 특징을 고려해 볼 때 효과적인 데이터 전달 기법으로 여겨진다.<sup>[2,7-9]</sup>

한편, 초저전력 및 간단한 디바이스 구현을 위해서는 MAC과 라우팅의 교차 계층 방식을 이용하는 것이 시그널링 오버헤드를 최소화하고 데이터 전달 성능을 최적화 할 수 있는 방식이라고 할 수 있다.<sup>[8,10,11]</sup>

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 위한 위치 정보와 에너지 비용을 고려한 향상된 교차 계층 방식의 데이터 전송 기법(EGF; Enhanced Geographic Forwarding)을 제안한다. 제안하는 기법은 주기적인 위치 정보의 교환 없이 오직 소스와 최종 목적지 노드(싱크 노드; Sink node)의 위치 정보만을 가지

고 비동기식 수면/활성 주기로써 데이터를 효율적으로 전송한다. 또한, 목적지 노드와의 거리와 더불어 주위 노드들의 에너지 정보를 고려하여 다음 전송 노드를 결정하게 된다. 결과적으로 빈번한 토폴로지 변화에서도 신뢰적이고 에너지 효율적인 데이터 전송을 보장할 수 있다. 또한, 본 논문에서는 실험 분석을 통하여 제안하는 교차 계층 방식의 프로토콜의 성능을 확인한다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜은 크게 동기식 MAC 기법과 비동기식 MAC 기법으로 나눌 수 있다. 동기식 MAC은 duty cycle을 통해 동기화를 맞추고 데이터 전송을 하게 된다. 비동기식 MAC은 동기화 절차 없이 각 노드들이 임의의 일정대로 깨어나 데이터를 전송하는 기법이다.<sup>[3,4,12]</sup> 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 위치 정보의 이용 여부에 따라서 크게 비 위치기반 라우팅 기법과 위치기반 라우팅 기법으로 나눌 수 있다. 특히, 위치기반 라우팅 기법은 위치 정보를 이용하여 네트워크 토폴로지 및 데이터 전송 경로를 관리하기 위한 오버헤드 없이 바로 데이터 전송을 하게 된다.<sup>[5-9]</sup> 한편, 보다 오버헤드를 최소화하며, 간단하고 효율적인 프로토콜 설계를 위하여 MAC과 라우팅의 교차 계층 방식을 적용한 기법들도 제안 되어졌다.<sup>[8,10,11,14]</sup>

### 2.1. 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜

S-MAC<sup>[3]</sup>은 동기식 경쟁 기반의 MAC 프로토콜로써, SYNC 패킷을 통해 동기화를 이루며, duty cycle (하나의 전체 활성화와 수면 주기에서 활성화 구간의 비율)을 가지고 데이터 전송을 수행하게 된다. S-MAC은 무선 센서 네트워크에 적합하도록 기존의 802.11 MAC에 비해 상당한 에너지 효율성을 제공하지만 duty cycle의 수면 구간에 따른 데이터 전송 지연이 크다는 단점을 가진다. B-MAC<sup>[4]</sup>은 동기식 방식과 달리 동기화 절차가 없다. 이웃 노드들은 각각의 독립적인 활성화와 수면 주기를 가지는데, 활성화 상태에서 잠깐 깨어나 채널 샘플링을 통해 이웃 노드들의 데이터 전송을 감지하여 통신을 수행하게 되는데 이것을 LPL(Low Power Listening)이라고 한다. B-MAC에서는 이 LPL 메커니즘을 통해 저전력 무선 통신이 가능하지만, 이웃 노드들이 긴 프리앰블 전송이 끝날 때까지 기다려야만 하는 오

버히어링(overhearing) 문제점과 이에 따른 불필요한 에너지 소모 낭비와 데이터 전송 지연이 멀티홉에 따라 커진다는 단점이 있다.

2.2. 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜

Direct Diffusion<sup>[5]</sup>은 비 위치 기반 라우팅 프로토콜로써 센서노드가 가지고 있는 센서 정보가 싱크 노드가 브로드캐스팅하는 Interest 메시지에 있는 정보와 일치하게 되면 센서 노드는 자신의 Gradient 방향으로 센서 정보를 전달하게 되어 최종적으로 싱크 노드에게 전달된다. 특정 이벤트의 발생 및 수집에 적합한 프로토콜이라고 할 수 있으나, Interest 메시지에 의해서 발생하는 메시지 오버헤드는 네트워크 전체에 상당한 부담이 될 수 있다. LEACH<sup>[6]</sup>는 클러스터링 기반의 라우팅 프로토콜로써 센서 노드들 사이의 에너지 소모를 균등하게 하기 위하여 클러스터 헤드를 랜덤하게 순환시키는 방법을 사용한다. LEACH는 랜덤하게 선택되는 클러스터의 헤드로 인해서 클러스터의 크기가 커져 클러스터 내에서 소모하는 에너지가 커져 센서 네트워크의 수명이 줄어드는 문제로 나타나게 된다. GPSR<sup>[7]</sup>은 위치기반의 라우팅 프로토콜로써 기본적으로 목적지 노드에 가장 위치적으로 가까운 노드를 다음 전송 노드로 선정하는 그리디 포워딩 (Greedy Forwarding) 알고리즘을 사용한다. 따라서 각 센서 노드는 주기적으로 hello 메시지를 통해서 1-홉(hop) 센서 노드들의 정보 저장하고 있다. 이러한 주기적인 hello 메시지는 상당한 오버헤드로써 에너지 비효율적인 특성을 가진다.

2.3. 교차 계층 프로토콜 (Cross-layer protocol)

GeRaF<sup>[8]</sup>는 위치 기반 라우팅 프로토콜에 802.11 기반의 경쟁 기반 MAC 프로토콜을 통합 적용한 프로토콜로써, 주기적인 위치 정보를 주고받을 필요가 없이 최종 목적지까지의 거리와 각 노드들과의 거리를 기반으로 다음 전달 노드를 선택한다. 하지만, 경쟁 기반 MAC으로 인해서 전체적인 오버헤드가 크고 에너지 효율적이지 못하다. AIMRP<sup>[10]</sup>는 통신 환경에 따른 파워 수준에 따라 영역 층을 나누어 싱크 노드 (층 1)로 데이터를 전송하는 방식이다. 이러한 방식은 높은 노드 밀집 환경에서만 적합한 알고리즘이며, duty cycle에 따른 성능의 효율성 편차가 심하다. MACRO<sup>[11]</sup>는 MAC과 라우팅 프로토콜을 통합한 통신 프로토콜로써, 주기적으로 위치 정보를 주고받지 않고 각 노드가 전송 파워 수준을

차별화할 수 있는 점을 고려한 방식이다. 하지만, MAC 스케줄링 알고리즘에서 이웃 노드들과의 데이터 통신을 보장하기 위해서 최적화된 통신 사이클이 필요하며 다소 복잡하여 오버헤드가 큰 방식이다.

III. EGF (Enhanced Geographic Forwarding) 프로토콜

일반적인 위치 기반 라우팅 프로토콜 알고리즘의 경우 주기적인 위치 정보 교환을 요구하게 되는데, EGF는 단지 소스 노드 즉 자기 자신과 목적지 모드의 위치 정보만을 가지고 최적의 가상 전달 노드 위치를 계산한 후, 가상 노드로부터의 거리와 자신의 에너지(배터리) 비용에 따라 back-off 시간을 매핑 하는 방법으로 데이터를 전송한다. 결국, 중간 노드의 이동성 혹은 주변 토폴로지 변화와 상관없이 최종 목적지 노드에게 주변의 위치 정보 교환 없이 효율적인 데이터 전달 방법을 사용한다.

3.1. 최적의 가상 전달 노드 (optimal Virtual Next hop; VN)

EGF에서는 패킷에 소스 노드와 목적지 노드의 위치정보를 함께 보내게 된다. 이러한 정보를 바탕으로 패킷을 포워딩하는 노드는 다음번에 패킷을 포워딩 할 노드의 최적위치를 계산할 수 있다. 다음번 패킷을 포워딩하는 가장 최적화된 노드는 위치적으로 패킷의 목적지 노드에 가장 가까운 노드가 된다.<sup>[9]</sup> EGF는 원 홉 전송 범위 내에서 가장 목적지 노드에게 가까운 가상의 이웃 노드를 최적의 가상 전달 노드(optimal Virtual Next hop; VN)이라고 하며 이 VN으로부터 일정한 호 범위 내에서 랜덤하게 선택되어지는 가상 참조 홉(Virtual Reference hop; VR)을 계산한다. VR은 일정한 호 범위 내에서  $(-\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6})$  랜덤하게 선택되어진다. VN과 VR의 값은 다음과 같은 식 (1)과 (2)에 의하여 계산될 수 있다. 여기서, 모든 노드들이 자신의 위치 정보와 최종 목적지 노드(싱크 노드)의 위치 정보는 알고 있다고 가정한다.

- 소스 노드 위치 :  $(x_s, y_s)$
- 목적지 노드 위치(싱크 노드) :  $(x_d, y_d)$
- 전송 범위 :  $r$
- $r$ 과  $d$ 의 거리 :  $D_{rd}$

optimal Virtual Next hop (VN) :  $(x_{vn}, y_{vn})$

Virtual Reference hop (VR) :  $(x_{vr}, y_{vr})$

$$D_{rd} = \sqrt{(x_d - x_r)^2 + (y_d - y_r)^2}$$

$$(x_{vn}, y_{vn}) = \left( \frac{r * x_d + (D_{rd} - r) * x_r}{D_{rd}}, \frac{r * y_d + (D_{rd} - r) * y_r}{D_{rd}} \right) \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_{vr} \\ y_{vr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{vn} - x_s \\ y_{vn} - y_s \end{bmatrix}$$

where,  $\theta = \text{radian with } [-\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6}] \quad (2)$

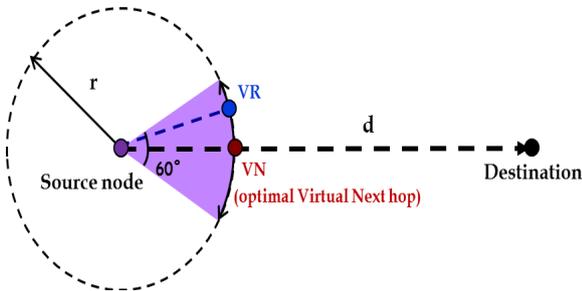


그림 2. 최적의 가상 전달 노드  
Fig. 2. Optimal virtual next hop

결국, VN은 소스 노드 자신의 위치 정보, 최종 목적지 노드의 위치 정보와 전송 범위(r) 만을 가지고 계산될 수 있으며, VR은 이렇게 계산된 VN 정보와 일정한 호 범위내의 랜덤하게 선택된  $\theta$ 값을 가지고 계산될 수 있다. 따라서, 기존 위치 기반 라우팅 알고리즘처럼 주기적인 위치 정보의 교환이 필요 없다. VR을 함께 고려하는 이유는 VN의 경우는 최종 목적지 노드 (싱크 노드)가 고정된 경우에 매 번 데이터 전송을 수행 시 이웃 노드들이 항상 고정될 수 있다. VR을 함께 고려하여 데이터 전송을 수행 시 이웃 노드들의 범주를 변경하여 최종 전달 노드 선택을 할 때 변화를 주기 위함이다. 이러한 것은 데이터 전송시 특정 노드가 계속 선택되어 에너지 소모가 빨리 진행되는 것과 목적지 노드로의 위치적으로 가까운 범주를 함께 고려하게 되는 효율적인 기법이 될 수 있다. 일단, 소스 노드가 VN과 VR 정보를 계산 한 후, 이웃 노드들에게 브로드캐스팅을 하게 된다.

### 3.2. 전달 노드 선택 알고리즘 (Forwarding node selection with back-off mapping)

EGF는 VN, VR 정보들과 노드들의 에너지 비용을 고려한 back-off 시간 매핑 메커니즘을 이용하여 다음 전송할 노드를 최종 결정 하게 된다. 이러한 back-off 시간 매핑을 계산하는 BTC (Back-off Time Cost) 식은 (3)과 같다. 여기서 r은 노드의 원호 전송 범위(거리)를 의미하며,  $\text{dist}(f, v_n)$ 은 전송할 노드와 VN과의 거리,  $\text{dist}(f, v_r)$ 은 전송할 노드와 VR과의 거리,  $E_r$ 은 노드의 에너지 잔여량,  $E_i$ 는 노드의 초기(처음) 에너지량을 각각 의미한다. 또한,  $\alpha, \beta, \gamma$ 은 각각 가중치 값을 의미한다. VN의 소스 노드와 최종 목적지 노드에 따라서 매번 데이터를 전송할 때 항상 같게 되지만, VR은 일정한 호 범위 내에서 랜덤하게 변동하게 되므로 데이터를 전송할 때 마다 BTC에 의해서 최적의 전달 노드 선택 시 영향을 미치게 된다. 이것은 최소한으로 최종 목적지 노드에게 가까운 거리와 방향을 고려하면서 노드의 에너지 소모비용을 함께 고려하게 된다. 또한 각 노드의 에너지 소모비용 자체를 함께 고려하여 무선 센서 네트워크에서 노드들의 수명을 최적화 하면서 효율적인 데이터 전송을 할 수 있게 한다.

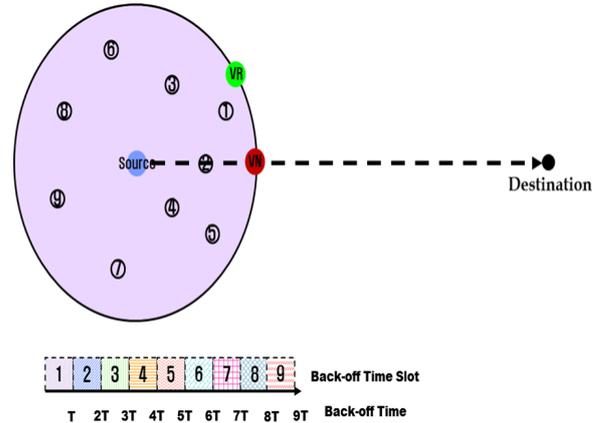


그림 3. BTC를 이용한 Back-off 시간 매핑  
Fig. 3. Back-off time mapping by using BTC

최종적으로, BTC 값이 가장 작은 노드들부터 back-off 시간 슬롯 T, 2T, 3T,... 순으로 매핑 되면, 가장 빠른 슬롯 T를 가지는 노드가 가장 빠르게 응답하여 다음 전달 노드로 선택되어진다. 결국, EGF는 가상의 지리적으로 가장 목적지 노드와 거리가 가까운 노드들과 에너지 잔량을 고려한 최적의 전달 노드를 선택하게 된다.

$$BTC = \alpha \left( \frac{\text{dist}(f, v_n)}{r} \right) + \beta \left( \frac{\text{dist}(f, v_r)}{r} \right) + \gamma \left( 1 - \frac{E_r}{E_i} \right)$$

where,  $\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (3)$

### 3.3. 패킷 전송을 위한 교차 계층 방식 (Cross-layer design for packet forwarding)

EGF는 비동기식 MAC과 위치 기반 라우팅을 통합한 교차 계층 데이터 전송 방식이다. 모든 노드들이 동기화 필요 없이 자신의 휴면/활성 주기를 가지고 깨어나 전송할 데이터가 있는 경우 데이터 전송을 시작하게 된다. EGF에는 하나의 휴면/활성 주기를 갖는  $T_{cycle}$ 을 정의한다. 이  $T_{cycle}$ 에는 위치 정보와 back-off 시간 응답을 위한 기간(duration) 정보를 함께 포함하게 된다. 여기서 기간(duration) 정보는 BTC 값을 계산하여 back-off 시간 응답을 시작하는 기준을 의미한다. 따라서 이웃 노드들은 VN과 VR 정보를 들은 뒤, BTC를 계산 후, 언제 back-off 시간 매핑이 시작 되는지를 알 수 있다. 결국, 소스 노드는 이러한 VN, VR, 기간 정보들로 구성되는 하나의 프리앰블, VNH (Virtual Next Ho) 정보를  $T_{cycle}$  동안 다수의 VNH로 구성된 일련의 프리앰블들을 브로드캐스팅한다. 모든 노드들은 이  $T_{cycle}$  동안에 적어도 한번은 깨어나게 되는데 모든 노드들이 각자의 스케줄을 가지고 깨어나게 된다. 이것은 모든 노드들이 동기화를 할 필요가 없어 오버헤드를 최소화할 수 있으며, 효과적인 휴면/활성 주기를 가지고 멀티 홉 데이터 전송을 할 수 있게 된다. 데이터를 전송하고자 하는 소스는 이  $T_{cycle}$  동안 VNH 정보를 브로드캐스트 하게 된다. 이웃 노드들은  $T_{cycle}$  동안 각각 깨어나 이 정보를 듣게 되면, 이 정보들을 이용하여 최종적으로 BTC를 계산하게 되고 계산된 결과 값에 따라 back-off 시간 매핑된 후 이 매핑된 타임 슬롯에 따라 다음 전달 노드로 선택되어진 노드가 소스 노드에게 CM (Confirm Message)를 전송하여 다음 전송 노드로 선택되었음을 알려 주게 된다. 이때 이웃 노드들은 오버히어링을 통하여 해당 응답을 인지하여 자신의 CM 전송을 포기하게 된다. CM을 받은 소스 노드는 해당 다음 전송 노드에게 데이터를 최종적으로 전송하게 되고 전송이 성공적으로 수행되면, ACK를 받아 데이터 전송 성공을 확인하게 된다. 결국 EGF는 VNH 정보를 프리앰블로 구성하여 비동기식 MAC 동작으로 활용하면서도, 라우팅 경로 설정을 위한 BTC 계산을 위해서 적용하는 MAC과 라우팅 통합 교차 계층 방식으로 프로토콜로써 동작된다.

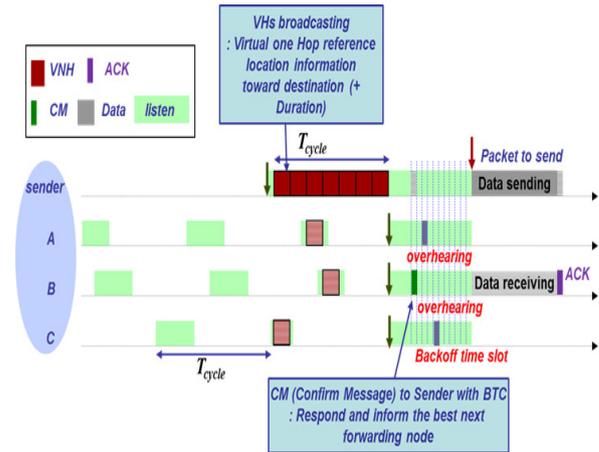


그림 4. 교차 계층 데이터 전송 방식  
Fig. 4. Cross-layered data forwarding scheme

### 3.4. EGF 프로토콜 동작

그림 5는 전체적인 EGF 프로토콜에서 데이터 전송 방식을 보여주고 있다. EGF 기법은 모든 노드들이 자신의 휴면/활성 주기를 가지고 깨어나기 때문에 동기화에 따른 불필요한 오버헤드 및 에너지 소모가 없다. 일단, 전송할 데이터를 가진 노드가 깨어나서 먼저 최종 목적지와 자신의 위치 정보를 이용하여 VN과 VR을 계산한다. 계산된 VN과 VR 및 기간(duration) 정보를 포함하는 VNH (Virtual Next Hop) 정보를 원 홉 이웃 노드들에게 브로드캐스트한다. VNH는 하나의 프리앰블로 구성되며,  $T_{cycle}$  동안 다수의 VNH로 구성된 일련의 프리앰블들을 브로드캐스트한다. 이렇게 하는 이유는 이웃 노드들이  $T_{cycle}$  동안에 어느 시점에서 깨어나더라도 하나의 VNH를 완전히 들을 수 있게 하기 위함이다. 이때, 비동기식 방식으로 이웃 노드들은 자신의 휴면/활성 주기를 가지고 깨어나 이러한 VN과 VR을 수신하게 된다. VN과 VR을 수신한 노드들은 자신의 에너지 비용 등을 고려하여 BTC를 계산하게 되고 이 BTC에 따라 back-off 시간 매핑을 하게 된다. 또한 기간 정보에 의해서 back-off 시간 응답 시작할 순간을 이웃 노드들은 알 수 있다. 가장 빠른 응답 슬롯에 할당된 노드는 CM 메시지를 소스 노드에게 전송하여 자신이 다음 전달 노드로 선택되었음을 알린다. 이 CM 메시지를 오버히어링한 이웃 노드들은 소스 노드의 응답을 포기하게 된다. CM을 받은 소스 노드는 선택된 다음 전달 노드에게 데이터를 전송하게 되고 수신자는 ACK를 소스 노드에게 보내어 데이터 전송이 성공되었음을

확인한다. 만약 처음 VNH 정보를 브로드캐스팅 했는데 아무런 응답 (CM)을 받지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이런 경우에는 주위 영역에 전송할 이웃 노드들이 존재하지 않는 경우 즉, 홀(hole)이 존재함을 의미하게 된다. 이 경우에는 두 번째 VNH 정보를 브로드캐스팅할 때 VN 값을 처음의 VN값에서  $(\frac{\pi}{3})$  이동한 값을 적용하여 보내게 된다. 즉, 홀 영역을 회피한 이동 영역을 적용하여 계속해서 이웃 노드들과의 back-off 시간 매핑 및 다음 전달 노드를 찾아 최종적으로 목적지 노드까지 데이터 전송을 수행하게 된다. 이동 영역 기준은 처음에서부터  $(\frac{\pi}{3}, -\frac{\pi}{3}, \frac{2\pi}{3}, -\frac{2\pi}{3}, \dots)$  으로 이동된다.

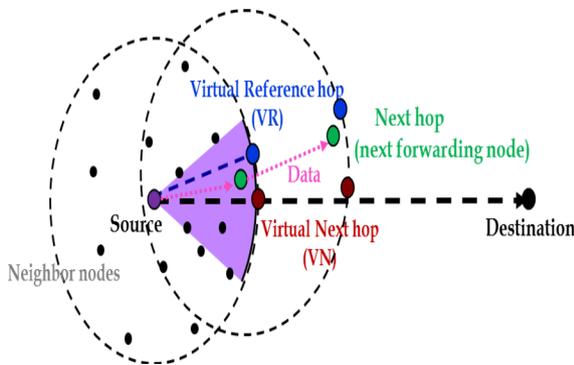


그림 5. EGF 프로토콜 동작  
Fig. 5. EGF protocol operation

#### IV. 실험 및 결과 분석

성능 평가를 위해 MATLAB<sup>[13]</sup>을 사용하였으며, 각 실험 환경 파라미터는 표 1과 같다. EGF 실험은 장방형 토폴로지 환경에서 노드들은 균등 분포(uniform distribution)를 가지고 랜덤하게 위치하게 된다. 이렇게 네트워크의 토폴로지가 결정되면 소스 노드와 목적지 노드가 결정되고 이를 연결해주는 라우팅 알고리즘들이 각각 적용되어 데이터가 전송된다. 기존 알고리즘과의 성능 비교를 확인하기 위하여 일반적인 위치기반 라우팅 방식의 GPSR, 위치기반의 교차 계층 방식인 GeRaF 그리고 본 연구에서 제안하는 EGF의 세 가지 프로토콜을 비교하였다. 성능 비교 항목으로써 패킷 전달 성공률(packet success ratio), 에너지 소모(energy consumption), 지연(end-to-end delay)를 서로 비교하였다. 본 실험에서는 유니캐스트 트래픽(unicast

traffic)을 고려하였으며, 데이터 센싱 및 처리시의 에너지 소모는 고려하지 않고 라디오 on/off 그리고 데이터 송수신시의 에너지 소모를 고려하였다. 따라서, 에너지 소모에 대한 실험은 유힬(idle), 휴면(sleep), 데이터 전송, 데이터 수신시 소모되는 에너지의 합을 의미한다. 또한 지연에 대한 실험은 소스 노드에서 최종 목적지 노드에게까지 데이터 전송시 wake-up(활성)과 휴면(sleep) 상태를 고려한 결과 값을 의미하며, 패킷 전달 성공률은 소스 노드에서 최종 목적지 노드에게까지 성공적인 데이터 전송 완료율을 의미한다.

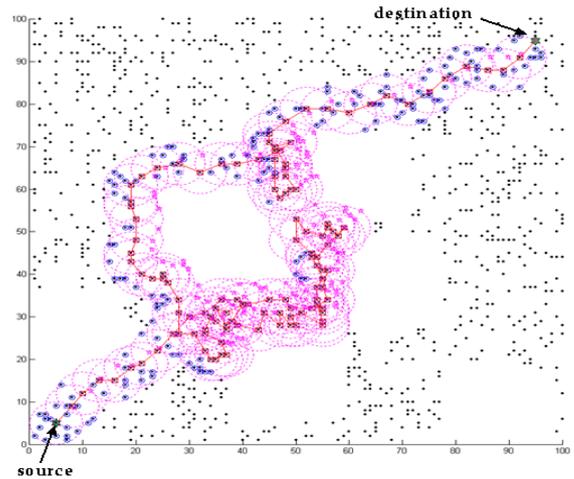


그림 6. EGF 동작 실험 결과  
Fig. 6. EGF simulation result

표 1. 실험 파라미터 환경  
Table 1. Simulation parameters

	Value
Protocol	GPSR, GeRaF, EGF
Topology size	50x50, 75x75 (unit*unit)
Transmission range	5 (unit) / 30(m) ~ 60(m)
Traffic model	Exponential dist. with mean 10(s)
Energy consumption	Transmitting : 660 mW Receiving : 395 mW Idle state : 35 mW Sleep state : 0 mW
PHY	IEEE 802.11
Antenna	Unit antenna range
Density (the number of nodes in one hop range)	6~20 (nodes/ $\pi*5unit*5unit$ )

기본적으로, GPSR과 GeRaF의 경우, MAC 파라미터는 IEEE 802.11 MAC기반으로써, 경쟁 크기 (contention size)는 256 슬롯, SYNC 패킷은 매 20 프레임마다 브로드캐스트되며,  $\alpha=0.4$ ,  $\beta=0.3$ ,  $\gamma=0.3$  을 각각 적용 하였다. 실험 결과는 각 환경이 바뀔 때마다 100회를 수행한 결과를 기준으로 하였다.

4.1. Packet success ratio

그림 7에서 나타난 것과 같이, EGF가 GPSR과 GeRaF보다 패킷 전송 성공률이 뛰어남을 확인할 수 있다. GPSR의 경우 주기적인 위치 정보의 교환이 패킷 전송과 충돌이 발생할 확률이 높고 라우팅 경로 루핑 현상이 발생할 가능성이 높아 패킷 전송 성공률이 낮다. GeRaF의 경우, EGF처럼 주기적인 위치 정보의 교환이 필요 없으나, 802.11 기반의 경쟁기반 MAC 방식의 적용으로 인해 상대적으로 패킷 전송 충돌이 발생이 많거나 라우팅 경로 루핑 현상 또한 많이 발생한다. EGF는 기본적으로 주기적인 위치 정보를 교환하지 않으며, 교차 계층 방식으로써 오버헤드를 최소화하며 충돌 위험도 상대적으로 적어 높은 패킷 전송 성공 확률이 보장됨을 확인할 수 있다. 또한, GPSR과 GeRaF는 노드의 에너지를 전혀 고려하지 않은 데이터 전송 방식으로써 에너지가 고갈된 전송 노드의 선택으로 인한 패킷 전송 지연과 더불어 결국 최종 목적지까지의 전송 실패가 발생할 확률이 높다. EGF의 경우에는 위치 정보와 에너지 비용을 함께 고려한 BTC에 의한 back-off 시간 매핑 알고리즘으로 효율적인 패킷 전송 방식으로써 최종 목적지까지의 패킷 전송 성공률이 다양한 토폴로지 환경에서도 높게 보장됨을 확인할 수 있다.

4.2. Energy consumption

그림 8은 각각의 에너지 소모량에 대한 결과를 보여준다. GPSR의 경우 주기적인 위치 정보의 교환으로 인한 에너지 소모가 절대적으로 많다. 특히, 네트워크 토폴로지가 클수록 즉, 네트워크의 노드 수가 많을수록 교환되는 위치 정보량도 많아지므로 전체적인 에너지 소모는 더욱 커진다. GeRaF와 EGF는 주기적인 위치 정보를 교환하지 않기 때문에 GPSR보다 절대적으로 에너지 소모가 적다. 하지만, GeRaF의 경우 802.11 기반의 경쟁기반 MAC 방식을 적용하여 상대적으로 오버헤드가 많아 에너지 소모가 EGF보다는 많음을 알 수 있다. 특히, EGF의 경우 효율적인 교차 계층 방식으로 오버헤

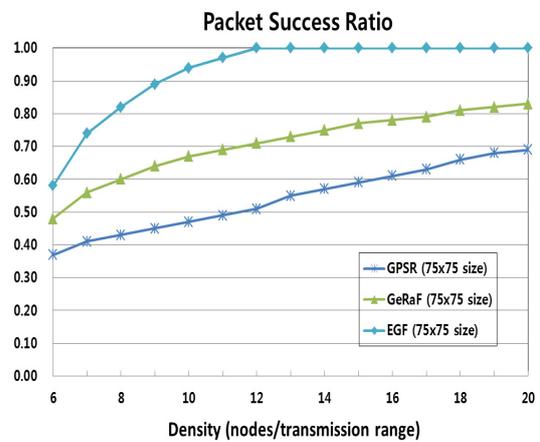
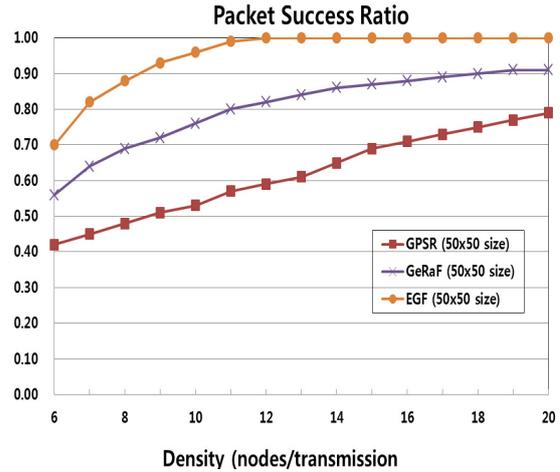


그림 7. 패킷 전송 성공률  
Fig. 7. Packet success ratio

드의 최소화으로써 에너지 소모가 가장 적음을 확인할 수 있다. 또한 네트워크 토폴로지가 클수록 세 가지 방식이 모두 에너지 소모가 증가하나, EGF와 GPSR, GeRaF와의 성능 차이가 더욱 남을 확인할 수 있다.

4.3. End-to-end delay

그림 9은 소스와 최종 목적지 노드까지 패킷 전송 시 소요되는 지연에 대한 결과를 보여준다. GPSR의 경우 주기적인 위치 정보 교환에 따른 패킷 전송 지연이 매우 큼을 알 수 있으며, 특히, 네트워크 토폴로지 크기가 증가함에 따라 더욱 성능이 악화됨을 확인할 수 있다. 이것은 패킷 충돌 및 라우팅 경로 루핑으로 인해서 최종 목적지까지의 패킷 전달에 소요되는 시간이 매우 많기 때문이다. GeRaF의 경우 SYNC/RTS/CTS/ACK의 경쟁기반의 MAC 방식으로 인해 패킷 전송 시 소요되는

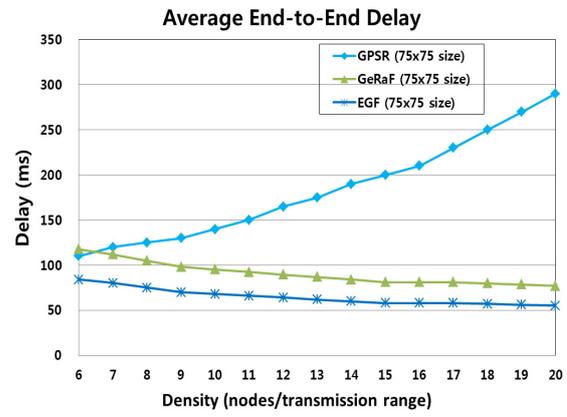
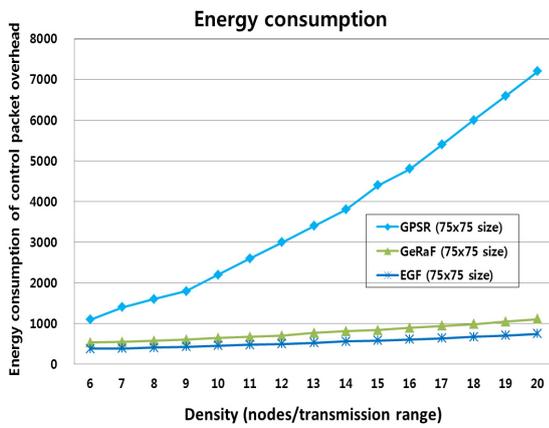
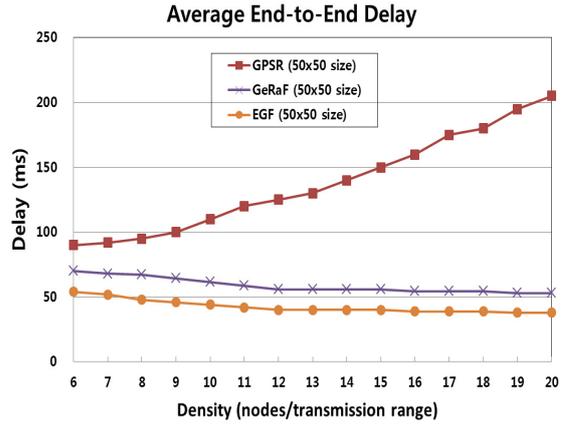
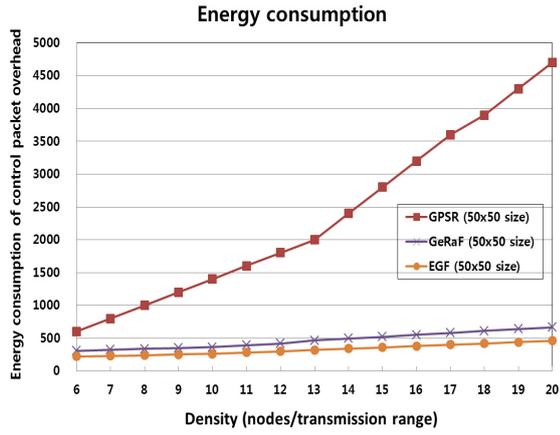


그림 8. 에너지 소모  
Fig. 8. Energy consumption

그림 9. 종단간 패킷 전송 지연  
Fig. 9. End-to-end delay

시간이 다소 길어진다. 라우팅 경로 루핑 발생으로 인해서 패킷 전달 지연이 EGF보다 높음을 확인할 수 있다. EGF는 효과적인 교차 계층 방식으로써 위치 정보 교환이나 제어 패킷 전송에 따른 전송 지연이 최소화되며, 효율적인 전달 노드 선택으로 인해서 패킷 전송 지연이 낮음을 보여준다. 또한, GPSR과 GeRaF는 노드의 에너지를 전혀 고려하지 않은 데이터 전송 방식으로써 에너지가 고갈된 전송 노드의 선택으로 인한 패킷 전송 실패에 따른 지연의 발생할 확률이 높다. EGF의 경우에는 위치 정보와 에너지 비용을 함께 고려한 BTC에 의한 back-off 시간 매핑 알고리즘으로 효율적인 패킷 전송 방식으로써 최종 목적지까지의 패킷 전송을 성공적으로 수행하여 결국 종단간 패킷 전송 지연이 상당히 낮음을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서 무선 센서 네트워크를 위한 Enhanced Geographic Forwarding (EGF) 프로토콜을 제안하였다. EGF은 기본적으로 최종 목적지 노드까지 패킷 전송을 위하여 각 이웃 노드의 위치 정보를 이용하여 다음 전달 노드를 결정하고, 이를 위한 MAC과 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있는 프로토콜이다. 일반적인 위치 기반 라우팅 프로토콜 (e.g., GPSR)들과 같이 이웃 노드들의 위치 정보를 주고받는 것이 아닌, 주변 노드들의 위치 정보와 소스 노드의 위치 정보 그리고 노드들의 에너지 정보를 통해 back-off 시간을 결정하여 (Back-off Time Cost) 최적의 다음 홉 노드를 결정짓고 전송하게 되는 방법으로써, 네트워크 전체적으로 오버헤드와 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한, MAC과 라우팅을 통합한 교차 계층 방식의 프로토콜로써 오버헤드를 최소화 하였으며, 비동기식 휴면/활성 기법과 BTC 메커니즘을 통한 시간 슬롯을 할당하여 데이터 전송을 하는 알고

리즘으로써 에너지 소모의 최소화와 정확하고 신속한 데이터 전달을 최대화 할 수 있도록 설계 되었다. 실험 결과에서 기존의 제안된 프로토콜들과 비교하여 다양한 토폴로지 변화에 따라서 향상된 성능을 제공함을 확인 하였다. 향후, 이동성, 다중 소스 노드, 무선 링크 상황, 다른 기존 제안된 프로토콜들과의 비교 등을 고려하여 보다 자세한 성능 비교 및 분석을 진행 할 예정이다. 또한 tiny-OS 기반의 센서 노드에 실제 알고리즘을 탑재하여 실제 환경에서의 성능 확인을 수행할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] LAN MAN Standards Committee of the IEEE computer Society: IEEE Std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specification, IEEE 1999.
- [2] JaeHyun Kim, MyungJune Youn, HahnEarl Jeon and Jaiyong Lee, "Comparison of Traffic Dependent Wireless Sensor Network Protocols," IEEE ICUFN 2010, pp. 81-86, Jun. 2010.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.12, no.3, pp. 493-506, Jun. 2004.
- [4] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," Proc. ACM Conference on Embedded Networked Sensor System, Baltimore, USA, pp.95-107, Nov. 2004.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," Proceedings of ACM MobiCom '00, Boston, MA, pp. 56-67, 2000.
- [6] Heinzelman, W.B., Chandrakasan, A.P., Balakrishnan, H., "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks", Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 1, Issue 4, pp. 660 - 670, Oct. 2002.
- [7] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless sensor networks", in the Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00), Boston, MA, Aug. 2000.
- [8] Michele Z. and R. R Rao, "Geographic Random Forwarding (GeRaF) for Ad Hoc and Sensor Networks: Multihop Performance," IEEE Trans. Mobile Computing, vol.2, no.4, pp. 337-348, Oct-Dec. 2003.
- [9] Jaehyun Kim, Inbo Sim, Hong Kim, Jaiyong Lee, "Geographical Time Back-off Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," The Journal of Korea Information and Communications Society, vol.32, no.5, pp. 247-256, 2007.
- [10] S. Kulkarni, A. Iyer, and C. Rosenberg, "An Address-Light, Integrated MAC and Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Trans. Networking, Vol.14, no.4, Aug. 2006.
- [11] L. Galluccio, A. Leonardi, G. Morabito, and S. Palazzo, "A MAC/Routing cross-layer approach to geographic forwarding in wireless sensor networks," Elsevier, Ad Hoc Networks, pp.872-884, 2007.
- [12] Jaehyun Kim, Jeongseok On, Seoggyu Kim, and Jaiyong Lee, "Performance Evaluation of Synchronous and Asynchronous MAC Protocols for Wireless Sensor Networks," in Proc. SENSORCOMM 2008, pp. 500-506, Aug. 2009.
- [13] MATLAB : <http://www.mathworks.com/>
- [14] Jaehyun Kim, Seoggyu Kim, Jaiyong Lee, "An enhanced cross-layer geographic forwarding for wireless sensor networks," 2012 winter conference of Korea Information and Communications Society, YongPyong Resort, Gangwon-do, vol.47, pp.31, 2012.

김 재 현 (Jaehyun Kim)



1997년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업  
2003년 8월 연세대학교 전기전자공학과 석사  
2003년 9월~2004년 4월 SK텔레텍 연구원  
2011년 2월 연세대학교 전기

전자공학과 박사

2010년 8월~현재 LG전자 차세대통신연구소 선임연구원

<관심분야> Mobile Ad-hoc Network, Ubiquitous Sensor Network, LTE/LTE-Advanced Network, 4G 이동통신 시스템

이 재 용 (Jaiyong Lee)



1977년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업  
1984년 5월 IOWA State University 공학석사  
1987년 5월 IOWA State University 공학박사  
1987년 6월~1994년 8월 포

항공과대학교 교수

1994년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수

<관심분야> Next generation mobile network architecture, QoS Management for wired/wireless network, Ad-hoc/Sensor Network

김 석 규 (Seoggyu Kim)



1990년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업  
1992년 8월 연세대학교 전자공학과 석사  
1997년 8월 연세대학교 전자공학과 박사  
1997년 9월~2004년 3월

SK 텔레콤 선임연구원

2004년 3월~2006년 3월 연세대학교 전기전자공학과 IT 연구단 연구 교수

2006년 4월~현재 안동대학교 공과대학 정보통신공학과 부교수

<관심분야> USN, 유무선 통합망에서 QoS Architecture, B3G Convergence Network, TCP 성능 분석, IP기반 유무선 통합 네트워크