

# 무선 애드혹 네트워크를 위한 위치정보 기반 기울기 라우팅 알고리즘

방민영<sup>†</sup> · 이봉환<sup>††</sup>

## 요약

본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크에서 센서 노드들의 물리적 위치정보를 기반으로 라우팅 경로를 설정하기 위한 LIGR (Location Information-based Gradient Routing) 알고리즘을 제안한다. LIGR 알고리즘은 물리적 위치정보를 이용하여 소스 노드와 싱크 노드를 잇는 직선의 기울기를 통해 전송 방향과 탐색 범위를 결정함으로써 불필요한 데이터 전송과 경로 탐색 시간 및 전파 지연 시간을 감소시킨다. 또한 포워딩 노드 선택 시 배터리 부족 노드는 2순위 또는 3순위의 우선순위를 갖도록 하여 우선적으로 선택하지 않도록 함으로써 에너지 부족 노드가 네트워크상에서 라우터로서의 기능 수행보다는 데이터 수집을 위한 호스트로서의 기능을 수행하도록 하였다. LGR (Logical Grid Routing) 프로토콜에 비하여 LIGR 알고리즘은 평균 수신율, 평균 지연시간, 평균 잔여 에너지 및 네트워크 처리율에서 개선된 성능을 보였다.

키워드 : 위치 기반, 애드혹 네트워크, 라우팅, 유비쿼터스, 프로토콜

## A Location Information-based Gradient Routing Algorithm for Wireless Ad Hoc Networks

Min-Young Bang<sup>†</sup> · Bong-Hwan Lee<sup>††</sup>

### ABSTRACT

In this paper, a Location Information-based Gradient Routing (LIGR) algorithm is proposed for setting up routing path based on physical location information of sensor nodes in wireless ad-hoc networks. LIGR algorithm reduces the unnecessary data transmission time, route search time, and propagation delay time of packet by determining the transmission direction and search range through the gradient from the source node to sink node using the physical location information. In addition, the low battery nodes are supposed to have the second or third priority in case of forwarding node selection, which reduces the possibility of selecting the low battery nodes. As a result, the low battery node functions as host node rather than router in the wireless sensor networks. The LIGR protocol performed better than the Logical Grid Routing (LGR) protocol in the average receiving rate, delay time, the average residual energy, and the network processing ratio.

Keywords : Location-Based, Ad Hoc Networks, Routing, Ubiquitous, Protocol

### 1. 서론

유비쿼터스(Ubiquitous)는 사용자가 네트워크나 컴퓨터를 의식하지 않고, 언제 어디서나 시간과 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속하여 원하는 정보를 얻을 수 있는 정보통신 환경을 말한다. 이러한 유비쿼터스 환경을 구성하는 핵심기술에는 각각의 센서 노드들이 데이터 수집 노드로

서의 기능을 수행함과 동시에 자율적으로 네트워크를 구성하여 수집한 데이터 전송 및 전달을 위한 라우터로서의 기능을 수행하는 무선 애드혹 네트워크(Ad-hoc network) 기술이 포함된다. 애드혹 네트워크에서의 데이터 송수신은 케이블, 라우터, 브리지 등과 같은 물리적 기반 시설이 존재하는 유선 네트워크 환경과는 달리 제한된 전송 범위를 갖기 때문에 멀티-홉(multi-hop) 방식으로 통신이 이루어지게 된다. 따라서 각각의 센서 노드들이 가질 수 있는 정보들을 최대한 활용하여 자율적으로 네트워크를 구축할 수 있어야 하며, 제한된 자원을 가지는 애드혹 네트워크 특성상 이를 효과적으로 사용하여 네트워크 수명을 연장하고 환경을 유지할 수 있도록 해야 한다.

※ 본 연구는 중소기업청 산학연 공동기술개발사업의 지원으로 수행된 연구 결과임

† 정 회 원 : (주)에피콤 주임연구원

†† 종신회원 : 대전대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)

논문접수: 2010년 1월 8일

수정일: 1차 2010년 3월 22일, 2차 2010년 4월 7일

심사완료: 2010년 4월 7일

에드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 경로설정방식 및 네트워크 구조에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 이 가운데 널리 사용되고 있는 위치 기반 라우팅 프로토콜인 LGR[1] 프로토콜은 데이터 수집을 위한 센서 노드들과 목적지 노드 간의 라우팅 프로토콜로 센서 노드들이 고르게 분포된 상태의 센서 필드 상에서만 적용 가능하다. 또한 라우팅 프로토콜 특성상 포워딩 노드의 에너지 사용률이 증가하게 되며, 이에 대한 고려가 없어 이후에는 호스트로서의 기능을 충실히 수행할 수 없게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 무선 에드혹 네트워크를 위한 LIGR (Location Information-based Gradient Routing) 알고리즘을 제안하며, 위치 기반 라우팅에서 사용되고 있는 센서 노드의 물리적인 위치정보를 이용하여 센서 노드들이 랜덤하게 분포된 상태의 센서 필드에서도 적용이 가능하도록 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 라우팅 알고리즘에 대하여 살펴보고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 LIGR 알고리즘에 대하여 기술한다. 4장에서는 알고리즘 구현 시 고려사항에 대하여 설명하고 5장에서는 *ns-2* 시뮬레이터[2]를 사용하여 성능을 평가하고, 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구내용을 제시한다.

## 2. 관련 연구

최근 이동 에드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[3-7]. 위치기반 및 에드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 경로 설정방식에 따라 유선 환경에서 사용되는 벨만-포드(Bellman-Ford) 알고리즘을 채택한 테이블-드라이브(table-driven 또는 proactive) 알고리즘과 테이블-드라이브 라우팅 프로토콜에서의 문제점을 해결한 온-디맨드(on-demand 또는 reactive) 방식의 라우팅 프로토콜로 분류할 수 있다[1]. 테이블-드라이브 라우팅은 사전에 목적지 노드로의 라우팅 경로를 테이블 형태로 관리하여 데이터 전송이 필요한 경우에 즉시 대응할 수 있다는 장점이 있지만 불필요한 라우팅 경로까지도 관리를 수행함으로써 과다한 트래픽과 자원의 낭비가 발생할 수 있다는 단점이 있다. 이에 반해 온-디맨드 라우팅은 데이터 전송이 필요한 경우 라우팅 경로 획득 절차를 수행함으로써 라우팅 경로 관리를 위한 자원의 낭비가 상대적으로 적다는 장점이 있다. 그러나 온-디맨드 라우팅은 경로 획득 절차로 인해 패킷 지연시간이 크다는 단점이 있다[8-10]. 또한 에드혹 라우팅은 네트워크 구조에 따라 평면 라우팅(flat routing), 위치 기반 라우팅(location-based routing) 및 계층적 라우팅(hierarchical routing)으로 나눌 수 있다. 평면 라우팅은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 센서 노드가 동등한 입장에서 공통된 하나의 라우팅 기법을 사용하는 방식으로 대부분의 센서 네트워크 라우팅 프로토콜이 이에 속한다고 말할 수 있다. 위치 기반 라우팅은 초음파, 적외선, GPS(Global Positioning System), RFID(Radio Frequency

Identification) 등을 이용하여 얻은 위치정보를 기반으로 라우팅을 수행하도록 하는 방법이다. 마지막으로 계층적 라우팅은 클러스터링을 기반으로 네트워크 전체를 하나의 영역이 아닌 다수의 영역으로 분할하여 각각의 영역에서 특정 노드에게 클러스터 헤드의 역할을 부여하여 라우팅을 수행하도록 하는 방법이다.

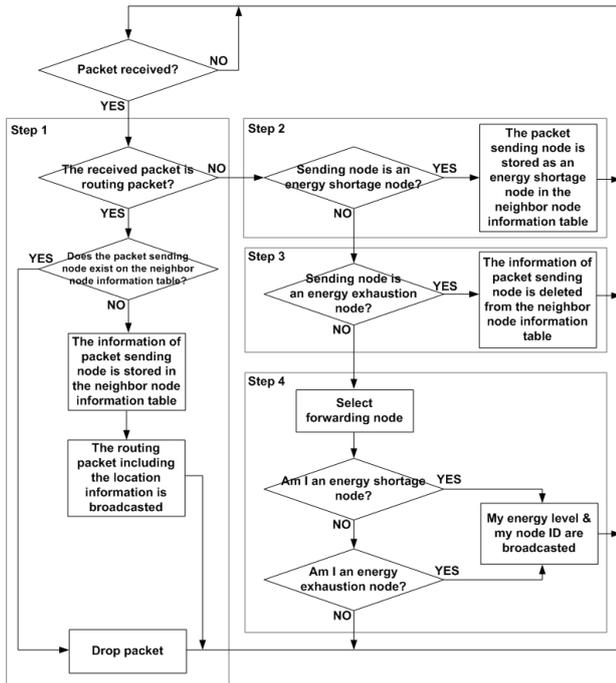
위치 기반 라우팅 중 하나로 ExScal (Extreme Scale) 프로젝트[11]에서 감시정찰을 위해 제안된 LGR 프로토콜은 모든 센싱 데이터가 최종적으로 목적지 노드에 모이는 특성을 이용하여 센서 노드들의 유일한 ID들을 이용하여 목적지 노드를 기준으로 한 신장트리를 구축하게 된다. 그러나 라우팅 프로토콜의 특성상 포워딩 노드의 에너지 사용률이 증가하게 되며, 그 결과 포워딩 노드가 네트워크상에서 호스트로서의 기능을 충실히 수행할 수 없게 된다. 또한 센서 노드의 논리적인 위치정보를 이용하기 때문에 센서 노드들이 고르게 분포된 상태의 센서 필드 상에서 적용 가능한 라우팅 프로토콜이다. 따라서 포워딩 노드의 에너지 사용률을 감소시키면서 센서 노드들이 랜덤하게 분포되어 있는 센서 필드에서도 적용 가능한 위치 기반 라우팅 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

## 3. 제안 알고리즘

본 논문에서 제안하는 무선 에드혹 네트워크를 위한 위치 정보 기반 기울기 라우팅(LIGR, Location Information-based Gradient Routing) 알고리즘은 위치 기반 라우팅에서 사용되고 있는 센서 노드의 물리적인 위치정보(좌표)를 사용하여 지리적 특성상 센서 노드가 고르게 분포될 수 없는 상황에서도 적용 가능하다. 센서 노드들의 물리적 위치정보를 기반으로 데이터 수집(source) 노드와 목적지(sink) 노드 간의 경로 설정 시 두 노드를 잇는 직선(최단거리) 기울기를 구하고, 이를 통해 전송 방향 및 포워딩(forwarding) 노드의 탐색범위를 결정하여 경로 설정을 위한 불필요한 데이터의 전송 및 경로 탐색시간을 감소시킴으로써 패킷의 전달 지연 시간을 감소시킬 수 있다. 또한 경로 상에 배터리를 소진한 이웃 노드가 존재하거나 더 이상 이웃 노드가 존재하지 않는 경우 등과 같은 통신이 불가능한 상황에 대하여 이전 노드의 위치 정보를 통한 전송 방향의 결정과 부분적 경로 재설정으로 이를 우회함으로써 전송률을 높일 수 있다.

LIGR 알고리즘에서는 4가지 형태의 패킷이 사용되며, (그림 1)에 나타난 바와 같이 각 패킷의 형태에 따라 나누어 처리하게 된다.

제안하는 알고리즘은 각 센서 노드들이 GPS 장치 등을 통해 자신의 물리적 위치를 알 수 있으며, 이동 노드가 아닌 고정된 형태의 센서 노드를 사용하여 데이터를 수집하는 것으로 가정한다. 따라서 노드 ID, 위치정보, 에너지 정보, 속도 정보, 시간 등의 정보를 담고 있는 주기적인 비콘(beacon) 메시지를 통한 이웃 노드의 식별보다는 정적인 환경에 더욱 적합한 LGR 프로토콜에서의 라우팅 메시지 전송



(그림 1) 제안 알고리즘의 흐름도

방법을 이용한다. (그림 1)에서 Step 1에 해당하는 부분은 네트워크 구성 초기에 수행되는 단계로, 라우팅 패킷을 수신한 센서 노드는 이를 발신한 센서 노드를 자신의 이웃 노드로 설정하고, 자신의 위치정보를 이웃 노드로 브로드캐스트 하는 부분이다. 만약 라우팅 패킷을 발신해 온 노드가 이웃 노드 테이블에 존재한다면 수신된 패킷은 버려지고, 아무런 동작도 수행하지 않는다.

(그림 1)의 Step 2는 패킷을 전송해온 이웃노드가 에너지 부족 노드 (Energy shortage node)일 경우, 에너지 부족 노드를 이웃 노드 정보 테이블에 에너지 부족 노드로 등록하는 부분이다. 에너지 부족은 잔여 에너지가 초기 에너지의 20% 미만이 되는 경우로, 에너지 부족 노드로 등록된 센서 노드는 포워딩 노드 선택 시 고려되어 네트워크상에서 라우터로서의 기능 수행보다는 호스트로서의 기능 수행에 비중을 두게 된다. 또한 LIGR 알고리즘은 비콘 메시지를 사용하지 않으므로 에너지를 소모한 이웃 노드가 존재할 경우 이를 인식할 수 없게 된다. 따라서 잔여 에너지가 초기 에너지의 5% 미만이 되는 경우를 에너지 소진(Energy exhaustion)으로 정의한다. (그림 1)의 Step 3은 패킷을 전송해온 이웃노드가 에너지 소진 노드일 경우, 에너지 소진 노드를 이웃 노드 정보 테이블 상에서 삭제하는 부분이다. 에너지 소진 노드는 네트워크상에서 데이터 수집을 위한 호스트로서의 기능만을 수행하게 된다.

(그림 1)의 Step 4는 다음 4장에서 설명할 포워딩 노드 선택을 위한 일련의 과정들을 거쳐 선택한 포워딩 노드를 통해 데이터 패킷의 전송을 수행하는 부분과 데이터 패킷의 전송을 완료한 이후 앞에서 설명한 바와 같이 자신의 잔여 에너지를 파악하여, 에너지 부족 및 에너지 소진을 알리기

〈표 1〉 이웃 노드 정보 테이블

Node ID	Location	Energy shortage node
8	( 10.87, 35.24 )	false
2	( 13.39, 25.19 )	true
.	.	.
.	.	.
n	( 1.61, 38.07 )	true

위한 에너지 레벨의 인식과 이에 대한 처리를 포함한다.

〈표 1〉은 임의의 센서 노드에서 라우팅 패킷, 에너지 부족 및 소진 패킷의 송·수신을 통해 얻은 이웃 노드의 ID와 물리적 위치정보, 이웃 노드의 에너지 부족 여부를 관리하기 위한 이웃 노드 정보 테이블의 예이다. 즉, 이웃 노드 ‘노드 2’는 X 좌표 13.39 미터, Y 좌표 25.19 미터의 물리적 위치에 위치한 에너지 부족 노드임을 나타낸다. 또한 테이블은 에너지 소진 레벨이 되는 이웃 노드들을 다시 삭제하여 관리한다.

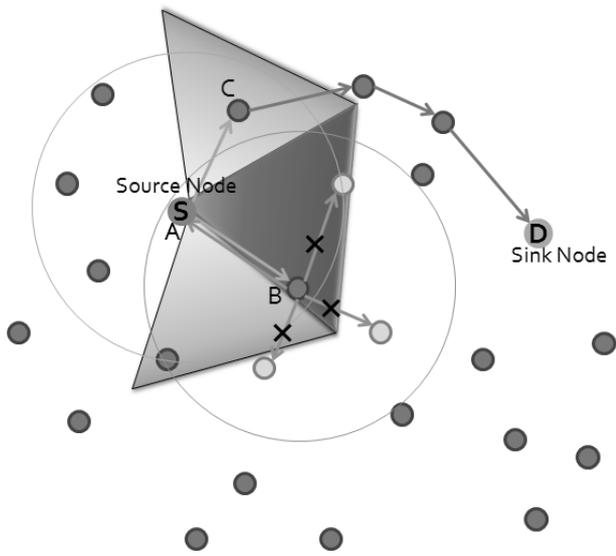
#### 4. 구현 시 고려사항

제안하는 LIGR 알고리즘에서의 데이터 전송은 소스 노드 (또는 포워딩 노드)와 목적지 노드를 잇는 직선(최단경로)과 이루는 각이 최소가 되는 이웃 노드를 선택하게 되는 모바일 센서 네트워크 환경에서의 DIR 메소드 또는 Compass routing [12, 13]에 기초한다. 제안하는 알고리즘은 지리적 (geographic) 네트워크 환경에서 소스 노드와 목적지 노드의 경로 상에 인접한 노드를 선택하여 목적지 노드로의 데이터 전송 시 공간 거리(spatial distance)를 최소화하려는 DIR 메소드를 변형한 것이다. 하지만 루프-프리(loop-free)를 제공하지 않기 때문에 이를 단순히 적용할 경우 패킷 전송을 보장할 수 없기 때문에 이를 수정하여 적용한다.

##### 4.1 재전송 요청의 처리과정

(그림 1)의 Step 4에 해당하는 포워딩 노드 선택의 처리 단계는 데이터 패킷을 수신하였을 때 수행되는 부분으로, 기본적으로 데이터 패킷을 수신하게 되면 재전송이 요청된 패킷인지에 대하여 검사를 수행하게 되며, 재전송 요청과 패킷에 재전송 요청 ID(requestID)가 포함되어져 있는 경우를 처리한다. LIGR 알고리즘에서 재전송 요청에 의해 다른 이웃 노드를 선택하여 데이터 패킷을 재전송할 경우 패킷에 재전송을 요청한 이웃 노드의 ID를 담아 보내도록 하였으며, 이를 수신한 노드에서는 단순히 자신의 이웃 노드 테이블에서 재전송 요청 ID가 존재할 경우 테이블에서 삭제하게 된다.

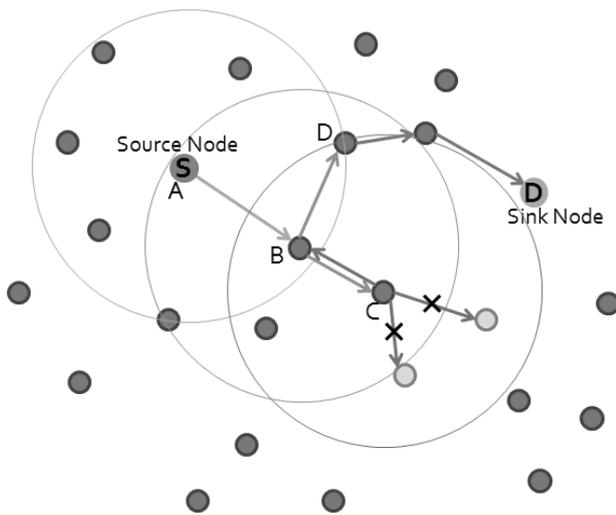
(그림 2)는 소스 노드 A가 노드 B(포워딩 노드)로 데이터 패킷을 전송하였지만 노드 B에서 더 이상 포워딩 노드로 선택할 이웃 노드가 존재하지 않아 노드 B가 소스 노드인



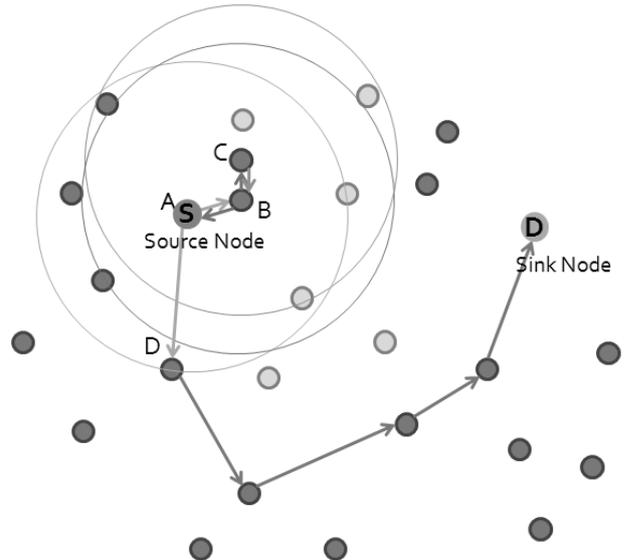
(그림 2) 소스 노드로 재전송 요청된 패킷

A로 재전송을 요청한 경우이다. 이러한 경우 소스 노드 A는 B의 이웃에 포워딩 노드로 선택할 이웃 노드가 더 이상 존재하지 않음으로 인식하고, 소스 노드 A의 이웃 노드 테이블에서 노드 B를 삭제하게 된다. (그림 3)은 소스 노드가 아닌 포워딩 노드 B로 데이터 패킷이 재전송 요청된 경우로, (그림 2)의 경우에서와 같이 포워딩 노드 B의 이웃 노드 테이블에서 노드 C를 삭제하게 되고 노드 B가 다시 선택한 노드 D에서도 노드 C가 삭제된다.

또한 LIGR 알고리즘에서는 기본적으로 데이터 패킷을 수신한 노드는 자신에게 데이터 패킷을 전송한 이전 노드 및 소스 노드를 포워딩 노드로 선택하지 않도록 하였다. 마지막 경우로 (그림 4)에서 소스 노드 A로부터 전송 받은 노드 B는 노드 C로 패킷을 전송하였다. 하지만 노드 C에서는 노드 B를 제외한 이웃 노드가 더 이상 존재하지 않아 라우팅



(그림 3) 포워딩 노드로 재전송 요청된 패킷



(그림 4) 소스 노드로 돌아온 패킷

을 수행할 수 없으므로 이를 노드 B로 재전송을 요청하게 된다. 노드 B에서는 마찬가지로 소스 노드 A로 재전송을 요청하게 된다. 이를 수신한 소스 노드 A는 수신한 데이터 패킷이 자신이 생성한 패킷임을 알 수 있으며, 자신이 선택한 포워딩 노드인 노드 B와 노드 B에서 추가되어 보내진 패킷의 재전송 요청 ID(노드 C)를 이웃 노드 테이블에서 삭제하게 된다.

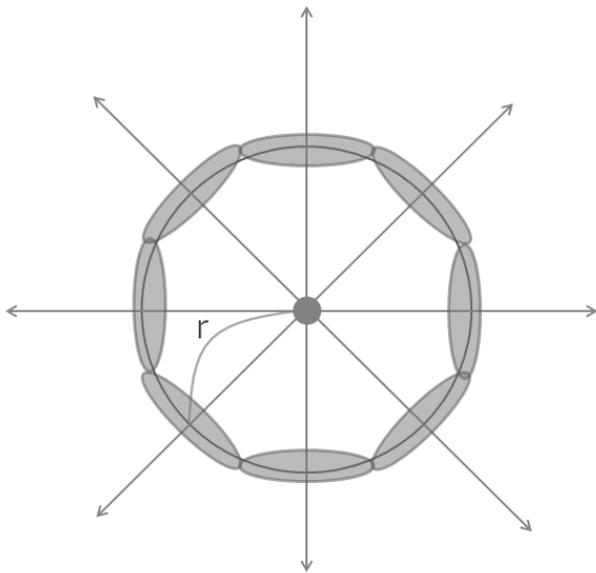
4.2 포워딩 노드 선택과정 Step 4-1

데이터 패킷을 수신한 센서 노드가 자신의 이웃 노드 테이블에 목적지 노드가 존재하는지에 대한 여부를 검사하고, 목적지 노드가 이웃 노드 테이블에 존재할 경우 목적지 노드를 다음 홉으로 설정하는 단계이다. 포워딩 노드 선택 Step 4-1의 실행에 앞서, 4.1절에서 설명한 재전송 요청에 대하여 재전송을 요청한 이웃 노드를 이웃 노드 테이블에서 삭제하는 과정을 거친다. 이후 설명할 Step 4-2~Step 4-5는 Step 4-1에서 이웃 노드 중 목적지 노드가 없을 경우에 수행되게 된다.

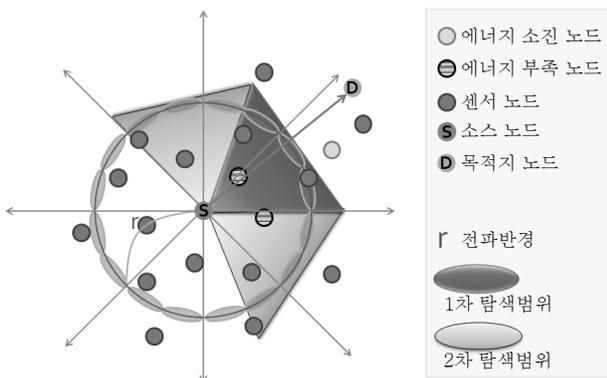
4.3 포워딩 노드 선택과정 Step 4-2

LIGR 알고리즘은 앞에서 설명한 바와 같이 DIR 메소드를 기반으로 목적지 노드와의 경로 상에 인접한 이웃 노드를 포워딩 노드로 선택하게 된다. 하지만 DIR 메소드와는 다르게 루프 방지와 경로 탐색에서의 계산량을 줄이기 위한 방법으로 (그림 5)와 같이 탐색 범위를 나누어 처리하도록 하였다.

2차원 평면상에서 임의의 센서 노드는 (그림 5)의 (a)와 같이 크게 좌, 우, 상, 하, 대각선 방향으로 8개의 전송방향으로 나눌 수 있다. 제안하는 LIGR 알고리즘에서는 8개의 전송방향을 (그림 5)의 (b)와 같이 16개의 방향으로 세분화하고, 소스 노드와 목적지 노드의 물리적 위치정보를 이용



(a) 8개의 전송방향

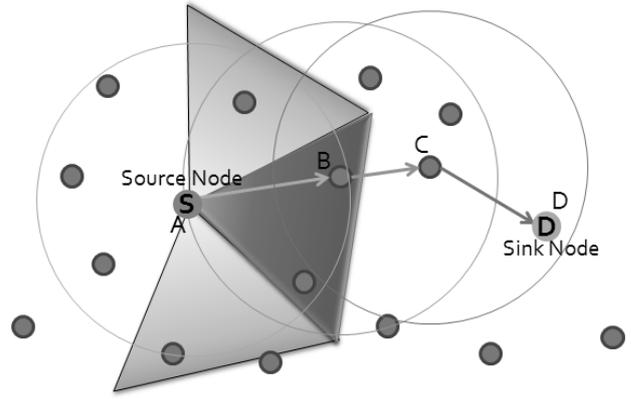


(b) 탐색범위의 결정

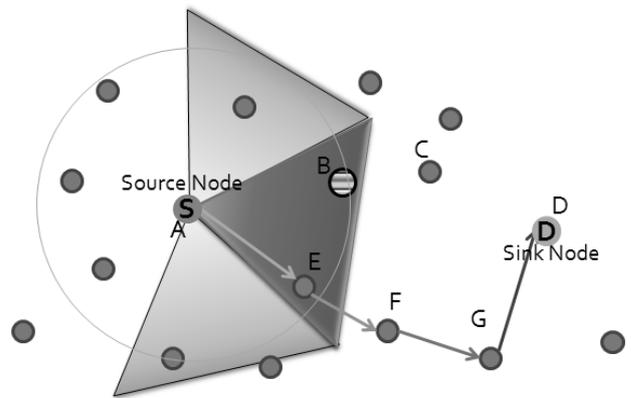
(그림 5) 포워딩 노드의 탐색범위

하여 구한 두 노드를 잇는 직선의 기울기를 통해 포워딩 노드의 1차 및 2차 탐색범위를 결정하게 된다.

또한 (그림 6)의 (a)에서와 같이 1차 탐색범위에 위치하고 에너지 부족 노드로 등록되지 않은 일반 이웃 노드 가운데 DIR 메소드에서와 같이 소스 노드와 목적지 노드의 최단거리 경로 상에 가장 인접한 노드인 노드 B를 포워딩 노드로 선택하게 된다. 그리고 (그림 6)의 (b)에서와 같이 1차 탐색범위에 에너지 부족 노드가 존재할 경우, 에너지 부족 노드인 노드 'B'는 경로 상에서 데이터 수집을 위한 호스트로서의 기능 수행의 비중을 높이기 위하여 2순위의 우선순위를 갖도록 한다. (그림 6)의 (a)는 일반적인 경우에서의 라우팅 경로(A→B→C→D)를 보여주고 있으며, (b)에서는 에너지 부족 노드의 존재로 인한 A→E→F→G→D의 라우팅 경로를 보여주고 있다. 만약 (그림 6)의 (b)에서 노드 E가 에너지 부족 및 소진 노드가 될 경우에는 다시 (a)와 같은 라우팅 경로를 갖게 된다.



(a) 에너지 부족노드가 없는 경우



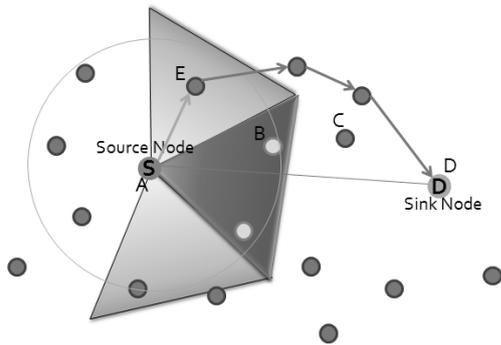
(b) 에너지 부족노드가 있는 경우

(그림 6) 1차 탐색범위에서의 포워딩 노드 선택

#### 4.4 포워딩 노드 선택과정 step 4-3

Step 4-3에서는 4.1절에서와 같이 포워딩 노드를 선택하지 못하고 재전송 요청된 경우와 단순히 1차 탐색범위에서 노드를 선택하지 못한 경우에 대하여 나누어 처리한다. 일반적인 경우, Step 4-1 및 Step 4-2에서와 같은 단계만으로도 경로 설정이 가능하지만 1차 탐색범위에 이웃 노드가 존재하지 않을 경우 (그림 7)에서와 같이 2차 탐색범위 내 이웃 노드들 가운데 경로  $\overline{AD}$ 와 이루는 각이 최소가 되는 이웃 노드를 포워딩 노드로 선택하게 된다.

포워딩 노드를 선택하지 못하고 재전송 요청된 패킷은 4.1절의 (그림 2)~(그림 4)와 같다. (그림 2)에서 데이터를 수집한 소스 노드 A가 목적지 노드와의 경로 상에 인접한 포워딩 노드로 B를 선택하였다. 하지만 노드 B의 이웃 노드들 가운데 더 이상 포워딩 노드로 선택할 이웃 노드가 존재하지 않으므로, 노드 B는 소스 노드인 A로 패킷을 돌려보내게 된다. 소스 노드 A에서는 4.1절에서 설명한 재전송 요청 노드의 삭제과정을 거친 후, 경로  $\overline{AB}$ 와 이루는 각이 최대가 되는 노드 C를 선택하게 됨으로써, 노드 B를 우회하여 데이터를 전송하게 된다. 또한, (그림 3)과 같이 소스 노드가 아닌 포워딩 노드로 패킷이 재전송 요청된 경우에도 노



(그림 7) 1차 탐색범위에 노드가 없는 경우

드 A로 패킷을 돌려보내는 것이 아닌, 노드 B에서 부분적으로 경로 설정을 수행하여 전송하게 된다. Step 4-3에서도 4.3절의 Step 4-2에서와 같이 일반 노드를 우선 선택하게 되며, 에너지 부족 노드는 3순위의 우선순위를 갖도록 처리된다.

4.5 포워딩 노드 선택과정 Step 4-4

Step 4-4에서는 1차 탐색범위와 2차 탐색범위에서 포워딩 노드를 선택하지 못한 경우, 이전 처리과정에서 처리된 2순위 노드와 3순위 노드의 존재 여부에 따라 포워딩 노드의 선택이 이루어지게 되며, 자신이 소스 노드이고 2순위 노드와 3순위 노드가 존재하지 않은 경우 1차 탐색범위와 2차 탐색범위를 제외한 범위에 위치한 이웃 노드들 가운데 4.4절의 Step 4-3에서와 같은 방법으로 포워딩 노드를 선택하지 못하고 재전송 요청된 경우와 1차 및 2차 탐색범위에서 노드를 선택하지 못한 경우로 나누어 처리한다.

4.6 포워딩 노드 선택과정 Step 4-5

Step 4-5에서는 포워딩 노드 선택과정의 처리 단계 중 마지막 단계로 포워딩 노드가 선택된 경우 선택한 포워딩 노드로부터의 재전송 요청에 대비하여, 이를 처리하기 위해 데이터 패킷을 전송해온 이전 노드의 ID를 저장 및 관리하는 라우팅 캐싱 작업과 4.1절의 (그림 2)~(그림 4)와 같은 경우에서처럼 포워딩 노드를 선택하지 못하여 재전송 요청을 해야 할 경우 데이터 패킷을 전송해 온 이전 노드 및 라우팅 캐싱 테이블의 정보를 이용하여 재전송 요청을 위한 포워딩 노드를 결정하는 단계이다. 그리고 Step 4-1~Step 4-5에서 선택된 목적지 노드 및 포워딩 노드를 통해 데이터 패킷을 전송하는 단계를 포함한다.

라우팅 캐싱은 센서 노드의 ID만을 포함하며, (그림 4)와 같이 단순히 이전 노드로 재전송을 요청하게 될 경우 노드 B와 노드 C 사이에서 루프가 발생하는 것을 방지하고 노드 B에서 소스 노드 A로 재전송을 요청할 수 있도록 하기 위하여 사용된다.

5. 성능 평가

제안한 LIGR 알고리즘의 성능 평가 및 분석을 위해 네트

워크 시뮬레이터인 ns-2를 이용하였다. 또한 LGR 프로토콜과 LGR 프로토콜이 비교 대상으로 삼은 AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector)[14] 및 DSDV (Destination Sequenced Distance-Vector)[15] 라우팅 프로토콜과의 비교를 통해 결과를 분석한다.

제안한 LIGR 알고리즘의 기본 가정과 환경은 다음과 같다. 첫째, 각 센서 노드들은 GPS 등을 통해 자신의 위치를 알고 있으며, 네트워크상에서 유일한 ID를 갖는다. 둘째, 센서 노드들은 위치가 고정되어 있고 하나 이상의 이웃 노드를 가지며, 초기의 모든 센서 노드들은 같은 크기의 전력과 동일한 전송범위를 갖는다. 셋째, 하나의 목적지 노드에 여러 개의 소스 노드가 존재하며, 소스 노드는 최종 목적지 노드의 위치를 알고 있다고 가정한다. 또한 LIGR 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 환경 및 파라미터는 <표 2>와 같다. 먼저 LGR 프로토콜과 같이 50m×50m 지역에 49개의 노드가 5m의 간격으로 분포되어 있으며, 최대 15m의 전송 거리를 갖는다. 시뮬레이션 시간은 30초로 시뮬레이션 시간 중 각 노드는 15초 동안 0.3초 간격으로 20bytes의 크기를 갖는 패킷을 목적지 노드로 전송하게 된

<표 2> 시뮬레이션 환경 및 파라미터

분 류	내 용
SIMULATOR	ns-2
VERSION	2.29
MAC PROTOCOL	IEEE 802.15.4
CHANNEL TYPE	Wireless Channel
RADIO PROPAGATION MODEL	Propagation/TwoRayGround
NETWORK INTERFACE	Phy/WirelessPhy/802.15.4
INTERFACE QUEUE	Queue/DropTail/PriQueue
ANTENNA MODEL	Antenna/OmniAntenna
NETWORKS BANDWIDTH	250 Kbps
ROUTING PROTOCOL	LGR, LIGR
SIMULATION AREA	50m × 50m
GRID SIZE	7 × 7
NUMBER OF NODE	49
TRAFFIC	Constant Bit Rate
PACKET SIZE	20 bytes
DISTANCE BETWEEN NODES	5 m
TRANSMISSION RANGE	15 m
HOP SIZE	3 m
INITIAL ENERGY	1 Joule or 5 Joule
PERFORMANCE INDEX	receiving rate(%)
	delay time(sec)
	network processing ratio(bytes/sec)
	residual energy(%)
	participating rate(%)

다. 이때 트래픽은 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽으로 가정하였으며, 에너지 효율성에 대한 평가를 위해 에너지 부족상태의 경우 초기 에너지를 1줄(Joule), 일반적인 상태의 경우로는 초기 에너지를 5 줄(Joule)로 가정하여 실험하였다.

(그림 8)과 (그림 9)는 7×7 분포 환경에서 에너지 부족 상황을 만들기 위하여 초기 에너지를 1 줄(Joule)로 설정하여 실험한 결과로 원의 크기 및 숫자는 각각 LGR 프로토콜과 LIGR 알고리즘의 노드별 수신율을 나타내며, 제안하는 LIGR 알고리즘이 동일한 에너지를 사용하여 LGR 프로토콜에 비해 개선된 수신율을 보임을 알 수 있다.

(그림 10)과 (그림 11)은 7×7 분포 환경에서 일반적인 에너지 상황을 가질 경우를 실험하기 위하여 초기 에너지를 5 줄(Joule)로 실험한 결과이며, 각각 LGR 프로토콜과 LIGR 알고리즘의 노드별 수신율을 나타낸다. 목적지 노드로부터 거리가 먼 센서 노드에서의 수신율이 개선되었음을 알 수 있다.

(식 1)~(식 5)는 본 논문에서 제안한 LIGR 알고리즘의 성능 평가를 위해 사용된 성능평가 지표로써 sendBytes, recvBytes, pktSize, pktDelay, partiResEnergy는 각각 노드별 전송바이트, 노드별 수신 바이트, 패킷 사이즈, 노드별 패

킷 지연시간, 네트워크에 참여한 노드의 잔여 에너지를 나타낸다.

$$Receiving\ rate = \frac{total\ Recv\ Bytes}{total\ Send\ Bytes} (\%) \quad (식\ 1)$$

$$(total\ Send\ Bytes = \sum send\ Bytes,$$

$$total\ Recv\ Bytes = \sum recv\ Bytes)$$

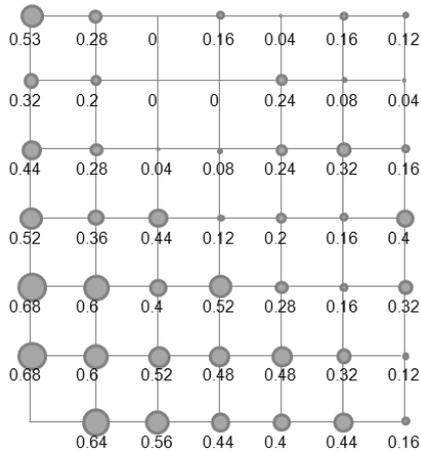
$$Delay\ time = \frac{total\ Delay}{total\ Recv\ Bytes / pkt\ Size} (sec) \quad (식\ 2)$$

$$(total\ Delay = \sum (recv\ Bytes / pkt\ Size) * pkt\ Delay)$$

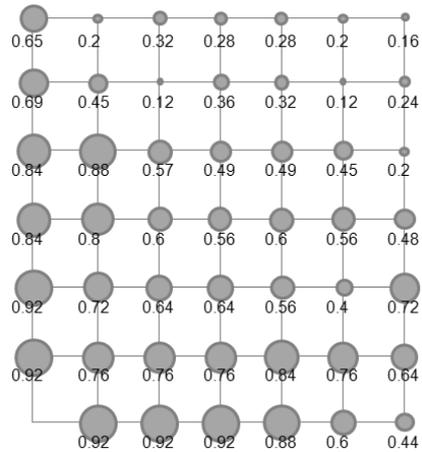
$$Network\ processing\ ratio = \frac{total\ Recv\ Bytes}{total\ Sec} (bytes/sec) \quad (식\ 3)$$

$$Residual\ energy = \frac{total\ Parti\ Res\ Energy}{init\ Energy * parti\ Nodes} (\%) \quad (식\ 4)$$

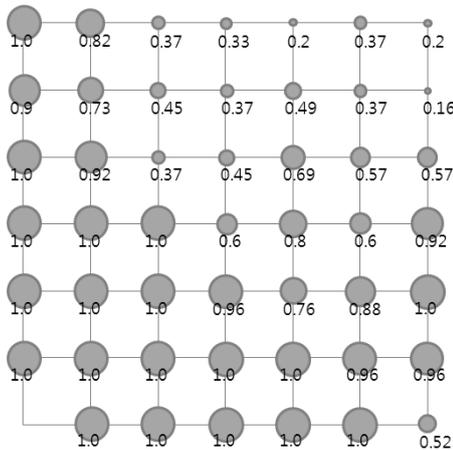
$$(total\ Parti\ Res\ Energy = \sum parti\ Res\ Energy)$$



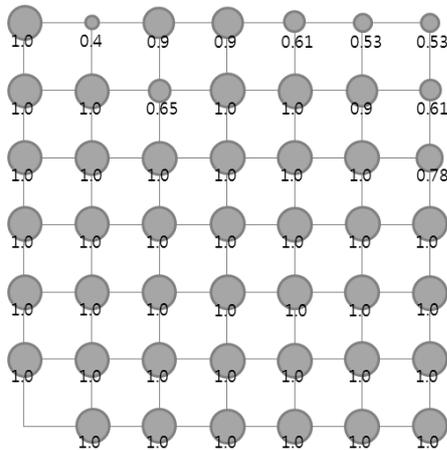
(그림 8) LGR 노드별 수신율(1 Joule)



(그림 9) LIGR 노드별 수신율(1 Joule)



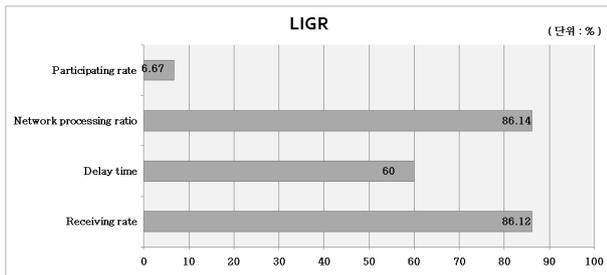
(그림 10) LGR 노드별 수신율(5 Joule)



(그림 11) LIGR 노드별 수신율(5 Joule)

<표 3> 7×7 환경에서 초기 에너지가 1 Joule일 경우의 시뮬레이션 결과

	Routing protocols	
	LGR	LIGR
Receiving rate (%)	30.91	57.53
Delay time (sec)	0.05	0.02
Network processing ratio (bytes/sec)	490.66	913.33
Residual energy (%)	7.51	5.6
Participating rate (%)	93.75	100



(그림 12) 7×7 환경에서 LGR 대비 LIGR의 성능 향상율(1 Joule)

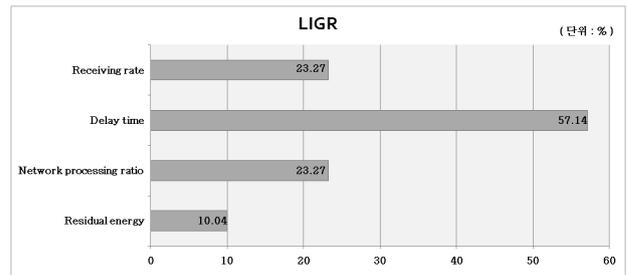
$$Participating\ rate = \frac{partiNodes}{totalNodes} (\%) \quad (식\ 5)$$

<표 3>과 (그림 12)는 초기 에너지 1주울(에너지 부족)인 경우로 LGR 프로토콜 대비 LIGR 알고리즘은 평균 수신율이 86.12%, 평균 지연시간 60%, 네트워크 처리율 86.14%, 네트워크 참여율 6.67%의 개선 결과를 보였다. (그림 8)에서 수신율이 0인 센서 노드가 3개 존재하여 <표 3>에서 LGR 프로토콜의 네트워크 참여율은 93.75%가 되며, 식 4에서 네트워크에 참여한 노드들의 에너지만을 계산하여 <표 3>의 LGR 프로토콜의 잔여에너지가 7.51%로 나타났다. 이것은 계속적으로 에너지를 소비하고 있지만, 수신율이 0인 노드들의 에너지 사용은 고려되지 않은 수치이다.

초기 에너지 5주울 (일반적인 에너지 상태)을 가질 경우에 대한 실험 결과는 <표 4> 및 (그림 13)과 같으며, LGR 프로토콜 대비 제안하는 LIGR 알고리즘은 수신율 23.27%, 지연시간 57.14%, 네트워크 처리율 23.27%, 잔여 에너지

<표 4> 7×7 환경에서 초기 에너지 5 Joule일 경우의 시뮬레이션 실험 결과

	Routing protocols	
	LGR	LIGR
Receiving rate (%)	75.81	93.45
Delay time (sec)	0.07	0.03
Network processing ratio (bytes/sec)	1203.3	1483.3
Residual energy (%)	54.66	60.15
Participating rate (%)	100	100



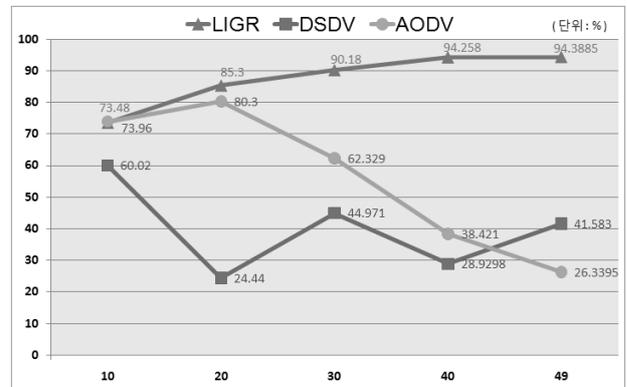
(그림 13) 7×7 환경에서 LGR 대비 LIGR의 성능 향상율 (5 Joule)

10.04%의 성능 향상의 결과를 보였다.

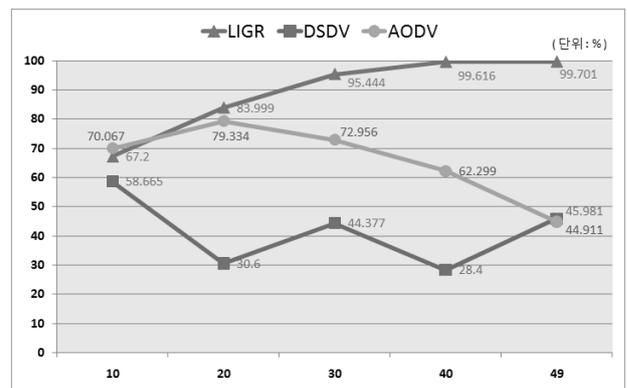
또한, 센서 노드들이 고르게 분포된 상태의 센서 필드가 아닌 랜덤하게 분포된 상태에서의 성능평가를 위해 하나의 목적지에 10, 20, 30, 40, 49개의 센서 노드를 랜덤하게 분포시킨 뒤 각각에 대하여 0.3, 0.5, 1.0sec 간격으로 패킷을 생성하여 AODV, DSDV 라우팅 프로토콜과 비교하였다. 초기 에너지는 일반적인 상태인 5주울로 가정하였다.

(그림 14)~(그림 16)에서 평균 수신율로 LIGR 알고리즘의 경우 노드 수의 증가와 트래픽 간격의 변화에 증가 추이를 보이고 있으며, 30개 이상의 노드를 가질 때 일정한 수준의 수신율을 나타내었다.

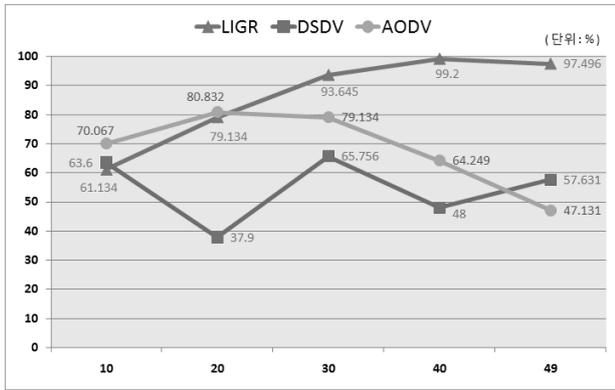
(그림 17)~(그림 19)의 평균 지연시간의 경우에서도 노드 수 증가 및 트래픽 간격의 변화에 일정한 수준을 나타내



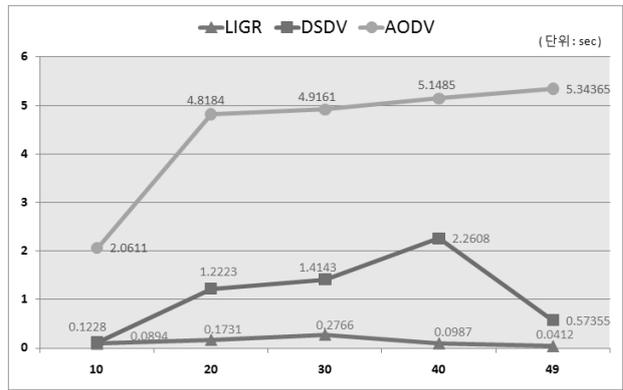
(그림 14) 평균 수신율(0.3sec)



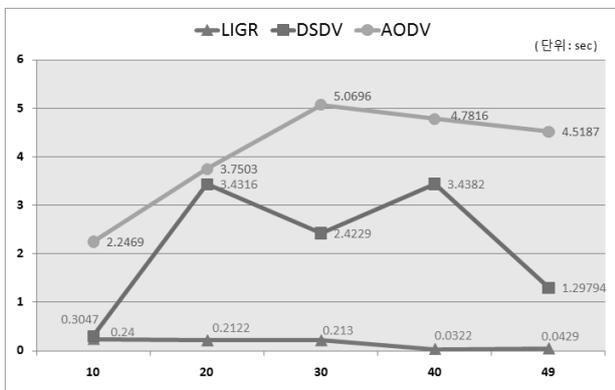
(그림 15) 평균 수신율(0.5sec)



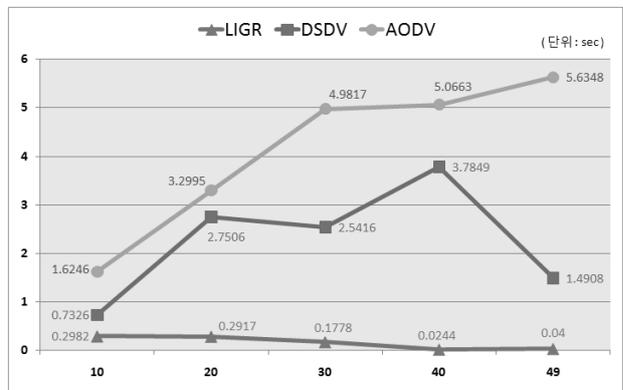
(그림 16) 평균 수신율(1.0sec)



(그림 17) 평균 지연 시간(0.3sec)



(그림 18) 평균 지연 시간(0.5sec)



(그림 19) 평균 지연 시간(1.0sec)

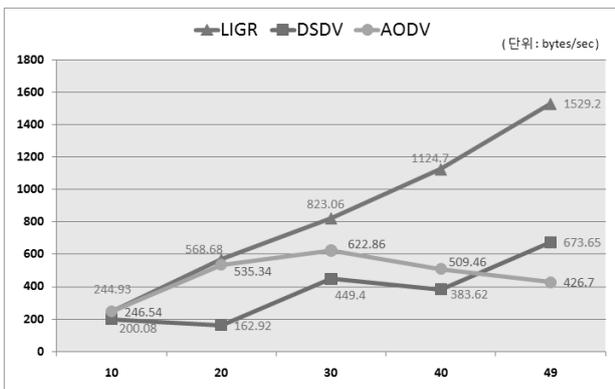
었으며, 노드 수의 증가에 따라 감소 추이를 보이고 있다.

(그림 20)~(그림 22)의 네트워크 처리율의 경우 평균 수신율을 나타내는 (그림 14)~(그림 16)과 같이 일정한 증가 추이를 보이며, 센서 노드의 수가 30개일 경우를 기점으로 하여 점차 차이를 보이고 있다.

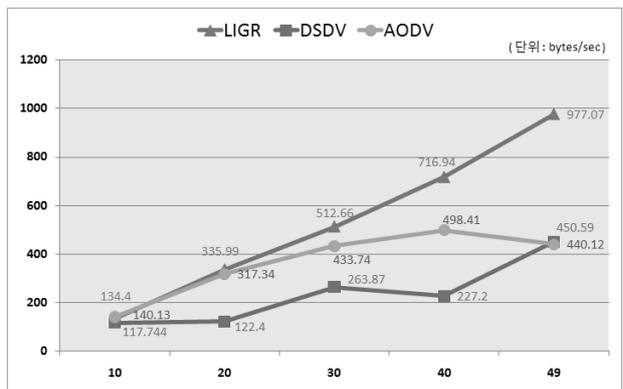
네트워크 참여율은 호스트 및 라우터로서 네트워크상에 참여한 노드를 나타내는 수치로, (그림 23)~(그림 25)에서 30개의 노드를 기준으로 거의 모든 센서 노드가 바르게 동작함을 알 수 있다.

(그림 26)~(그림 28)의 평균 잔여 에너지의 경우 테이블-드리븐 방식의 DSDV 라우팅 프로토콜과 같이 완만한 형태의 에너지 사용률을 보이고 있으며, 이것은 경로 설정을 위한 트래픽의 발생이 없음에 기인한다.

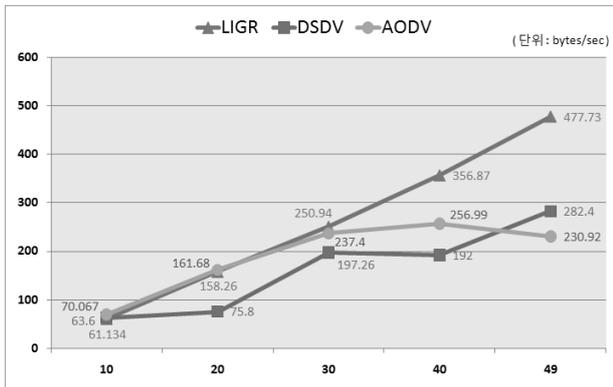
(그림 26)~(그림 28)에서의 DSDV 프로토콜의 평균 잔여 에너지는 LIGR 알고리즘의 평균 잔여 에너지에 비해 높은 수치를 나타내고 있다. 하지만 (그림 23)~(그림 25)에서 호스트 및 라우터로서 네트워크에 참여하지 않는 센서 노드가 제안 알고리즘에 비해 상대적으로 많음을 나타내고 있으며,



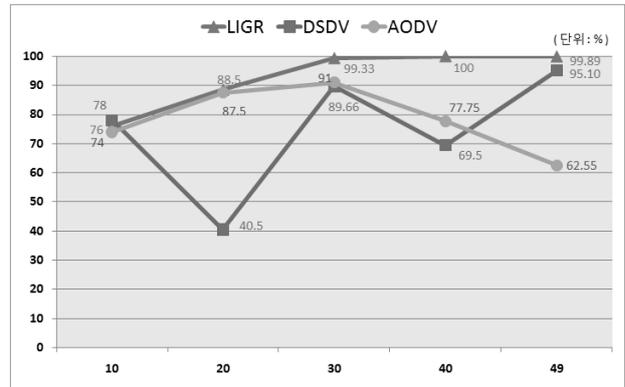
(그림 20) 네트워크 처리율(0.3sec)



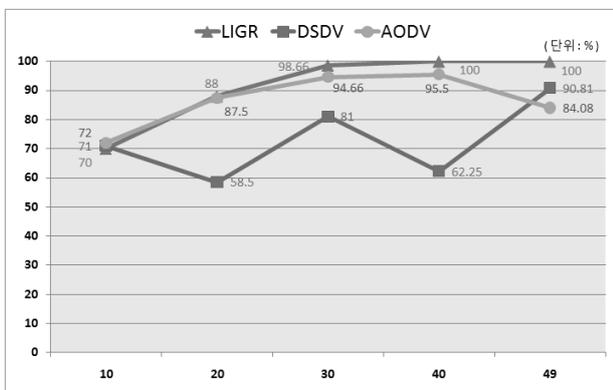
(그림 21) 네트워크 처리율(0.5sec)



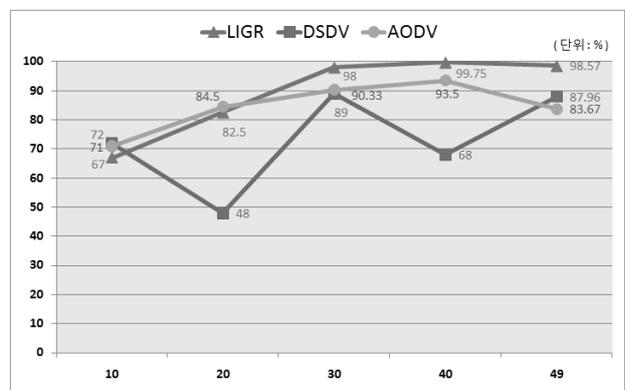
(그림 22) 네트워크 처리율(1.0sec)



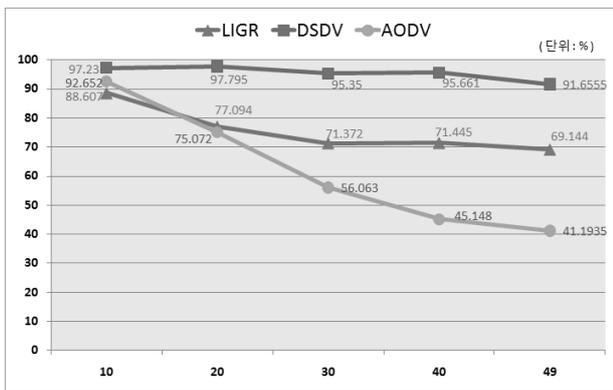
(그림 23) 네트워크 참여율(0.3sec)



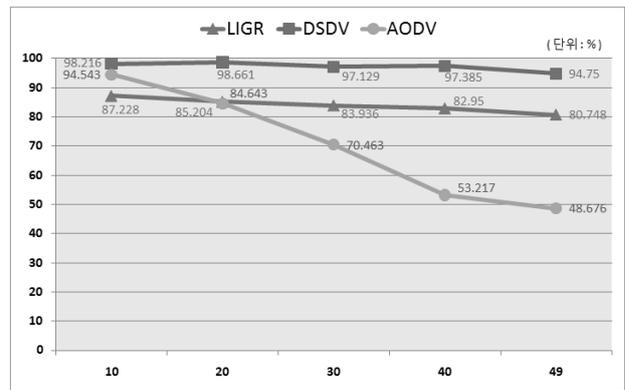
(그림 24) 네트워크 참여율(0.5sec)



(그림 25) 네트워크 참여율(1.0sec)



(그림 26) 평균 잔여 에너지(0.3sec)

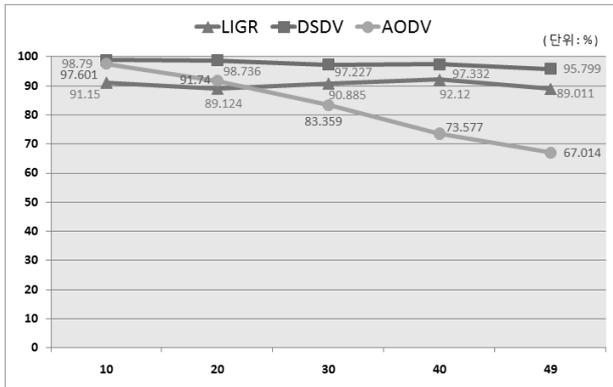


(그림 27) 평균 잔여 에너지(0.5sec)

이러한 노드들에 대한 에너지 사용은 앞에서 설명한 (식 4)에서 적용되지 않았다. 또한 (그림 14)~(그림 16)과 (그림 20)~(그림 22)에서의 평균 수신율 및 네트워크 처리율이 제안 알고리즘의 절반에 해당하는 성능을 보였음을 볼 때, 실제 (그림 26)~(그림 28)에서와 같은 에너지 소비 효율을 보인다고 할 수 없다.

실험을 통해 제안하는 LIGR 알고리즘이 센서 노드가 고르게 분포된 상태에서와 랜덤하게 분포된 상태 모두에서 유사한 성능을 보임을 확인하였다. LIGR 알고리즘에서는 센서

노드가 고정된 전파환경을 가지며, 센서 노드 수의 증가에 따라 각각의 센서 노드를 기준으로 데이터 패킷의 전송을 위한 이웃 노드를 가질 확률이 높아지게 되므로 수신율, 지연시간, 네트워크 처리율 및 참여율에서 성능이 보장될 수 있음을 확인하였다. 또한 각 센서 노드가 이웃 노드의 위치 정보만을 사용한 부분적 라우팅 경로 설정으로 경로 설정을 위한 별도의 트래픽이 발생하지 않아 노드 수의 증가에 대한 에너지 사용 수준에 큰 차이가 없으며 에너지 부족 노드에 대한 고려로 동일 에너지를 사용하여 보다 많은 양의 패



(그림 28) 평균 잔여 에너지(1.0sec)

킷을 처리할 수 있음을 확인하였으며, 트래픽 간격의 변화에 따라 발생하는 트래픽 양의 차이에 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크에서 센서 노드들의 물리적 위치정보를 기반으로 라우팅 경로를 설정하기 위한 LIGR (Location Information-based Gradient Routing) 알고리즘을 제안하였다. LIGR 알고리즘에서는 소스 노드와 목적지 노드간의 경로 설정 시 물리적인 위치정보를 이용하여 두 노드를 잇는 직선의 기울기를 구하고, 이 기울기를 통해 전송 방향과 포워딩 노드의 탐색범위를 결정하도록 함으로써 경로 탐색시간과 패킷의 전달 지연시간을 감소시킬 수 있도록 하였다. 또한, 경로 상에 배터리 부족 노드가 존재할 경우에 대해서는 2순위, 또는 3순위의 우선순위를 부여하여 에너지 부족 노드를 우선적으로 선택하지 않도록 함으로써 에너지 부족 노드가 네트워크상에서 호스트로써의 기능 수행에 비중을 높일 수 있도록 하였다. 또한 배터리를 소진한 이웃 노드가 존재하거나 주변에 이웃 노드가 존재하지 않는 경우에 대하여 이전 노드와의 기울기를 이용해 재전송 방향을 결정하고 부분적으로 경로를 재설정하여, 이를 우회할 수 있도록 하였다.

실험을 통해 제안하는 LIGR 알고리즘이 센서 노드들이 고르게 분포된 상태와 랜덤하게 분포된 상태에서 유사한 성능을 가짐을 보였으며, 에너지 효율성과 수신율의 향상 및 평균 지연시간을 단축함을 보였다.

향후 연구 내용으로 루프-프리에 대한 다양한 연구 및 하나의 목적지 노드에 다수의 소스 노드가 존재할 때 발생할 수 있는 트래픽 폭주 상황에 대한 연구와 이동 애드혹 네트워크로의 적용을 위해 이동 애드혹 네트워크를 구성하는 노드들에 대한 위치 정보를 작은 오버헤드로 유지할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Y. -R. Choi, M. Gouda, H. Zhang, and A. Arora, "Routing on a Logical Grid in Sensor Networks," Technical Report UTCS TR-04-49, University of Texas at Austin, 2004.
- [2] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [3] M. Abolhasan, T. Wysocki, and E. Dutkiewicz, "A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," Ad Hoc Networks, Vol.2, pp.1-22, Jan., 2004.
- [4] 이종민, 김성우, "애드혹 네트워크에서의 가상 그리드 기반 라우팅 알고리즘," 한국시뮬레이션학회논문지, 제16권 2호, pp.17-26, 2007. 6.
- [5] 이병진, 윤원식, "무선 Ad Hoc 네트워크를 위한 위치정보 기반 에너지 고려 라우팅 프로토콜," 전자공학회논문지, 제 45권 TC 편, 제7호, 2008. 7.
- [6] 박혜미, 박광진, 추현승, "하이브리드 애드 혹 네트워크에서의 에너지 효율성을 고려한 라우팅 알고리즘," 한국인터넷정보학회, 8권 5호, 2007. 10.
- [7] 임화정, 차영환, "이동 애드 혹 네트워크를 위한 다중경로 소스 라우팅 프로토콜," 정보처리학회논문지C, 제12-C권, 2005.
- [8] N. S. Yadav and R. P. Yadav, "Performance Comparison and Analysis of Table-Driven and On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks," International Journal of Information Technology, Vol.4, No.2, pp.101-109, 2007.
- [9] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: a Survey," IEEE Communication Magazine, Dec., 2004.
- [10] X. Hong, K. Xu, and M. Gerla, "Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Network, Vol.16, No.4, 2002.
- [11] Anish Arora et al, "ExScal: Elements of an Extreme Scale Wireless Sensor Network," In Proc. of the 11th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, pp.102-108, 2005.
- [12] A. P. Ruhil, D. K. Lobiyal, and I. Stojmenovic, "Position Based Gradient Routing in Mobile Ad Hoc Networks," ICDCIT 2005, LNCS 3816, pp.39-49, 2005.
- [13] E. Kranakis, D. Pompili, and J. Urrutia, "Compass Routing on Geometric Networks," In Proc. of 11th Canadian Conference on Computational Geometry, Canada, 1999.
- [14] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," In Workshop on Mobile Computing and Systems Applications, 1999.
- [15] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Destination Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers," In proceedings of ACM SIGCOMM Conference on Communication Architectures, pp.234-244, Aug., 1994.



**방 민 영**

e-mail : hagnyun0@pine.dju.ac.kr  
2008년 대전대학교 정보통신공학과(학사)  
2010년 대전대학교 정보통신공학과(공학석사)  
2010년~현 재 (주)에피콤 주임연구원  
관심분야: 무선네트워크, 애드혹네트워크,  
클라우드컴퓨팅, 유비쿼터스헬스케어



**이 봉 환**

e-mail : blee@dju.kr  
1985년 서강대학교 전자공학과(학사)  
1987년 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1993년 Texas A&M 대학교 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)  
1995년~현 재 대전대학교 정보통신공학과 교수  
관심분야: 클라우드컴퓨팅, 유비쿼터스헬스케어, 네트워크보안 등