

# 무선 센서 네트워크에서 효율성을 향상시킨 위치기반 라우팅 알고리즘

정회원 정 윤 수\*, 이 상 호\*\*

## Location-based Routing(LBR) Algorithm to Improve Efficiency in the Wireless Sensor Network

Yoon-su Jeong\*, Sang-ho Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

무선 센서 네트워크는 고정된 인프라의 도움없이 이동 노드만으로 구성되므로 네트워크의 독립성과 융통성을 높일 수 있으나, 노드의 참여와 이탈의 자유로움으로 인하여 네트워크 운영의 기본 기능인 라우팅에 많은 어려움이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 이 논문에서는 노드들의 지리적 또는 논리적인 위치 정보를 이용한 위치 기반 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 센서의 위치 정보를 클러스터 기반으로 동작시켜 확장성과 이동성을 보장하는 분산 환경의 무선 센서 네트워크에 적용가능하다. 기존 DSR과 AODV등의 reactive 라우팅 알고리즘과 성능분석을 통해 노드 증가에 따른 패킷전송 비율, 라우팅 오버헤드, 평균 통신비용 등을 비교한다.

Key Words : 무선 센서 네트워크, 라우팅, 클러스터 기반, 알고리즘

### ABSTRACT

Wireless sensor network can increase independence and flexibility of network because it consists of mobile node without the aid of fixed infra, but, by unrestricted for the participation and breakaway of node, it has the difficulty in routing which is a basic function of network operation. To solve those problems, a suggestion is the location-based routing algorithm using geological or logical location information. The suggested algorithm which is based on cluster for location information of sensor is applicable to wireless sensor network of discrete situation, which guarantees extension and mobility. By efficiency analysis and reactive routing algorithm of current DSR and AODV, packet transmission ratio, routing overheads, and average communication expense is compared as node increases.

### I. 서 론

무선 센서 네트워크는 고정된 인프라의 도움없이 이동 센서만으로 이루어진 네트워크로서, 네트워크의 독립성과 융통성을 높일 수 있지만 이동 센서의

참여와 이탈이 자유로움으로 네트워크의 유지와 관리에 어려움이 많다. 이러한 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 지리적 또는 논리적인 위치정보를 이용하면 라우팅의 효율성과 네트워크의 확장성을 높일 수 있다<sup>[12,13,15]</sup>. 또한 위치기반 기술에 접목하

※ 이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 충북대학교 전자계산학과 네트워크보안 연구실 (bukmunro@gmail.com)

\*\* 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 컴퓨터공학전공 (shlee@chungbuk.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-09-383, 접수일자 : 2006년 9월 15일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 11일

여 인프라에 의존하기 어려운 다양한 응용 서비스에서 보다 효과적인 지원이 가능하다. 이를 위해서는 무선 센서 노드의 위치를 파악하고 적용하기 위한 고도의 위치인식 기술이 요구된다<sup>11)</sup>.

최근에는 LBS(Location Based Service) 기반의 다양한 콘텐츠가 개발되어 본격적으로 상업 서비스가 제공되고 유비쿼터스 네트워크에 대한 관심이 고조되면서 위치기반 기술과 그 응용에 대한 관심과 중요성이 높아지고 있다. 그러나 대부분의 위치기반 기술들은 중앙집중적이고 이동성에 많은 제약을 가지므로, 빈번하게 움직이는 이동 센서 노드들의 협조에 의해 동작하는 분산 환경의 무선 센서 네트워크에서는 그대로 적용하기 어려운 문제점이 있어서 센서 노드들에게 맞는 간단하면서도 효율적인 라우팅 프로토콜이 요구되고 있다<sup>14)</sup>.

또한 센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드들은 대부분이 일회용으로 무선 네트워크를 구축한 후에는 재사용되지 않는다. 따라서 초기에 주어진 자원을 활용해서 최대한 오랫동안 센서 네트워크를 유지해야 한다. 그러기 위해서는 센서 노드들이 가지고 있는 에너지에 대한 고려도 상당 부분이 필요하다<sup>10)</sup>. 그러나 기존의 애드혹 네트워크의 경우에는 에너지에 대한 고려도 존재하지만 데이터를 전달하기 위한 고려가 더 많은 것도 사실이다. 따라서 이러한 부분들에 대해서 센서 네트워크에 적합하도록 수정된 라우팅 프로토콜이 필요하다.

이 논문에서는 센서 네트워크에서 필요한 에너지 소모가 적으면서 안정적인 데이터 전송이 가능한 위치기반 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 기법은 센서 노드들의 위치를 알기 위해 BS를 요구하지 않고, 네트워크의 생명주기를 통해 모든 노드들의 균형적 분산 에너지 소비를 시도한다. 또한 센서 위치 정보를 전달하는 위치기반 라우팅 알고리즘을 클러스터 기반으로 동작시켜 확장성과 이동성을 넓혀 분산 환경의 무선 센서 네트워크에도 적용가능하다. 또한 DSR과 AODV등의 reactive 라우팅 알고리즘과 성능분석을 통해 노드 증가에 따른 패킷전송 비율, 라우팅 오버헤드, 평균 통신비용 등을 비교한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 네트워크 환경에서 지금까지 연구된 라우팅 프로토콜을 살펴보고, 3장에서는 이 논문에서 제안하고 있는 위치 기반의 라우팅 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안 알고리즘에 대한 성능평가 결과를 서술한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

## II. 관련연구

### 2.1 센서 네트워크를 위한 평면 라우팅 프로토콜

#### 2.1.1 Directed Diffusion

Directed diffusion은 싱크의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다<sup>3)</sup>. Directed diffusion에서 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현된다. Interest는 싱크에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 경사(gradient)가 설정된다. 이때, 데이터는 다중 경로를 통해 요청 노드로 전송된다. 더 이상의 플러딩을 막기 위해 경로들 중 전송 품질이 좋은 몇 개의 경로들이 강화되어, 강화된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어진다. Directed diffusion의 이러한 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의에 적합하다. 그러나, 경로를 단지 한번만 사용하는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가진다. 또한, 이 프로토콜에서는 전송 경로의 중간 노드에서 데이터가 모아지므로 인접 노드들이 유사한 데이터를 가지는 센서 네트워크의 특성을 완전하게 이용하지 못한다.

#### 2.1.2 SPIN<sup>14)</sup>

SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)은 협상과 자원 적용에 의해 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 데이터에 대해 광고하고, 싱크로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 기법이다. 이는 센서 노드가 데이터를 방송하는 대신 센서 데이터를 기술하는 메타 데이터를 전송하여 보다 효율적으로 동작하고 에너지를 보존하도록 한다. SPIN은 ADV, REQ, DATA 등의 세가지 메시지를 가진다. 센서 노드는 메타 데이터를 가지는 ADV 메시지를 방송한다. ADV의 메시지를 수신한 이웃 노드가, 데이터에 대한 관심을 가지고 REQ 메시지를 전송하면, 해당 이웃 노드를 위한 DATA 메시지를 전송한다. 결과적으로, 전체 센서 네트워크에서 해당 데이터에 관심있는 센서 노드들은 데이터에 대한 사본을 얻게 된다. SPIN은 가까이 있는 노드들이 유사한 데이터를 가지는 속성을 활용하여, 다른 노드가 가지지 않은 데이터만을 분배하도록 한다. 또한, 사전적

으로 동작하여 사용자가 데이터를 요청하지 않은 경우에는 네트워크 전체에 정보를 분산시킨다.

### 2.1.3 SAR

SAR(Sequential Assignment Routing)에서는 라우팅 결정을 위해 각 경로에 있는 에너지 자원과 QoS, 그리고, 각 패킷의 우선 순위를 고려한다<sup>5)</sup>. 트리 구조의 다중 경로가 설정되어, 특정 경로가 실패하는 경우에도 경로 재계산을 위한 오버헤드가 없다. 각 노드에서 싱크까지의 다중 경로를 설정하기 위하여 싱크의 1홉 이웃들을 시작으로 낮은 QoS와 에너지 보유량을 가지는 노드들을 피하면서 구성된 다중 트리가 형성된다. 트리 설정 절차가 끝나면, 각 노드는 다중 경로에 속하게 되고, 각 노드는 싱크로 메시지를 전달할 트리를 선택할 수 있게 된다. 각 노드마다 다음 두 개의 파라미터가 싱크를 향한 각 경로(트리)와 연관된다. SAR에서는 additive QoS metric과 패킷의 우선 순위와 관련된 가중치(weight) 계수의 곱인 weighted QoS metric을 계산하여 이의 평균값을 네트워크의 생존 기간 동안 최소화시키고자 한다.

### 2.1.4 Minimum Cost Forwarding Algorithm for Large Sensor Networks

이 기법은 센서 네트워크에서 데이터 흐름이 항상 싱크를 향한 방향으로 이루어지는 특성을 이용하였다<sup>6)</sup>. 이 기법에서 센서 노드는 유일한 ID나 메시지를 전송할 라우팅 테이블을 가질 필요없이 싱크까지의 최소 비용 측정치만을 관리한다. 최소 비용 측정치를 관리하는 동작은 다음과 같다. 싱크에서 비용이 0으로 설정된 광고 메시지를 방송한다. 각 노드는 초기에 무한대로 설정된 측정 집합을 가진다. 노드가 광고 메시지를 수신하여 메시지의 측정치와 해당 메시지를 수신한 링크의 비용의 합이 현재의 측정치보다 작다고 판단하면, 이 값으로 현재의 측정치와 광고 메시지의 측정치를 갱신한다. 새로운 비용 측정치로 광고 메시지가 갱신된 경우에만, 해당 광고 메시지를 전송하고, 그렇지 않은 경우에는 제거한다. 이러한 과정을 통하여 네트워크 전체에 비용 필드가 구성된다.

## 2.2 센서 네트워크를 위한 클러스터링 기반 계층적 라우팅 프로토콜

### 2.2.1 LEACH

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 “데이터 퓨전”을 통해 데이터를 모아서 직접 싱크로 전달한다<sup>7)</sup>. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터 내의 데이터를 모아 지역적으로 퓨전하는 것이다.

LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고, 클러스터 헤드가 고르게 배치되는데 있으나, 자기 스스로 선출하는 방법으로는 이를 보장할 수가 없어, 싱크에서 센서 노드의 위치 정보와 에너지 보유량을 고려하여, 클러스터 헤드와 클러스터를 결정하는 LEACH-C기법도 제안되었다.

### 2.2.2 TEEN

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작한다<sup>8)</sup>. LEACH가 사전적 센서 네트워크에 적합한 특성을 가지지만, TEEN은 시간 임계적인 데이터를 처리한다는 점에서 반응적 센서 네트워크에 적합하다. TEEN은 지진, 폭발 등과 같은 응용에서 요구되는 시간 임계적인 데이터가 실시간으로 전달되고, 임계값이 클러스터 형성 결정 시간에 방송되므로 응용에 따라 사용자가 에너지 소비와 센서 네트워크 상태 판단의 정확성을 조절할 수 있다는 특징을 가진다. 반면에, 감지된 데이터의 값이 임계치에 도달하지 않는 경우 네트워크로부터 데이터를 얻어낼 수가 없어 모든 노드가 수명을 다한 경우에도 네트워크의 상태를 판단할 수 없고, 클러스터내에서 TDMA 스케줄링을 사용하여 시계 임계적 데이터의 보고에 지연을 가지며 모든 노드들이 해당 슬롯에 전송할 데이터를 가지는 것이 아니므로 자원이 낭비될 수 있다.

### 2.2.3 APTEEN

APTEEN(Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)은 사전적 센서 네트워크와 반응적 센서 네트워크의 한계점을 최소화하면서 둘의 장점을 통합하는 하이브리드 네트워크를 제공한다<sup>9)</sup>. APTEEN을 채택한 하이브리드 네트워크에서 센서 노드들은 데이터를 주기적으로 전송할 뿐만 아니라, 측정된 데이터의 속성값의 갑작스런 변화에도 반응한다. APTEEN은

TEEN과 같은 형태로 시간 임계적 데이터를 처리하고, 사전적 동작을 위해서, 센서 노드가 카운트 시간동안 데이터를 전송하지 않은 경우 데이터를 감지해서 클러스터 헤드로 전송하도록 하여 TEEN의 단점을 개선하였다.

APTEEN에서는 인접한 노드들이 유사한 데이터를 감지하는 특성을 활용하여 인접한 두 노드의 쌍을 지어, 각 쌍에 대해 한 노드만이 질의에 응답하고, 다른 노드는 “sleep”모드에서 전력 소비를 줄일 수 있도록 한다. APTEEN은 LEACH와 마찬가지로 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드간 간섭을 피하고, 클러스터간의 간섭을 피하기 위하여 각각의 클러스터들이 서로 다른 확산 코드를 사용하는 방법을 채택하고 있다. APTEEN은 주기적인 데이터를 전송해서 사용자에게 네트워크의 전반적 상황을 제공하고, 갑작스런 네트워크 상태의 변경에 즉각적으로 반응하여 시간 임계적 상황에 대응하도록 한다. 그리고, 사용자가 카운트 시간과 속성에 대한 임계값을 설정하여 에너지 소비를 제어할 수 있도록 한다. 그러나, APTEEN에서는 임계치 기능과 카운트 시간을 구현하는데 추가적인 비용이 요구되는 단점이 있다.

### III. 위치 기반 라우팅 알고리즘 설계

이 논문에서 제안하는 위치기반 라우팅(LBR) 알고리즘은 위치 정보를 기반으로 리액티브(reactive) 또는 요구기반(On-demand) 라우팅 프로토콜을 사용한다.

#### 3.1 가정

제안 알고리즘에 대한 가정은 다음과 같다.

- ① 제안 알고리즘에 사용되는 모든 센서 노드는 사전 구성된 유일한 ID, 고정된 전송 범위 그리고 초기 에너지의 양이 동일하여야 한다.
- ② 센서 네트워크에서의 각 노드는 시간당 동일한 양의 데이터를 생성하고, 각 데이터 단위(패킷)는 동일한 길이어야 한다.
- ③ 노드에 접속하려는 채널을 제공하는 contention-free MAC 프로토콜이 존재한다(e.g. SMACS(Self-organizing MAC for Sensor Networks)<sup>[2]</sup>).
- ④ 제안 알고리즘은 부트스트랩동안 다중 홉 라우팅 프로토콜이 존재한다. Minimum Cost Forwarding (MCF) protocol<sup>[6]</sup>은 다중 홉 라우팅의 대표적인 예이다.

- ⑤ 베이스 스테이션들은 네트워크로 구성되어 서로 협력한다.
- ⑥ 라운드는 동일한 시간 간격을 가진다. 초기 라운드가 시작되면 라운드 정보는 망의 변화를 확인하기 위해 재계산된다.

#### 3.2 제안 알고리즘

제안 알고리즘은 라우팅을 수행하기 위해 클러스터 형성, 위치 복구, 데이터 패킷 라우팅, 위치 정보 유지등의 4가지 동작과정을 수행한다. 제안 알고리즘의 초기 수행과정은 클러스터를 형성하는 과정으로부터 시작된다. 통신이 시작되면 타이머가 동작되어 모든 센서 노드들은 라우팅 정보를 모르는 상태에서 Hello 메시지를 브로드캐스트한다. 타이머가 만기되기 전에 비결정 노드가 클러스터 헤드로부터 Hello 메시지를 수신하면 클러스터 멤버가 되고 그렇지 않은 경우에는 클러스터 헤드가 된다. 이 때, 각 클러스터 헤드는 노드와 게이트웨이의 주소지리적 위치 정보를 보유한 클러스터 테이블을 이용한다. 제안 시스템에서 모든 노드들은 GPS나 위치탐지 시스템을 통해 주위 노드들의 위치 정보를 탐지한다. 클러스터 헤드는 이웃 클러스터 노드 정보를 얻기 위해 이웃 클러스터 헤드가 보유한 클러스터 이웃 테이블을 통하여 정보를 수집한다.

하나의 소스 노드가 목적지 노드에게 데이터를 보내려고 할 때 목적지 노드의 위치를 결정하기 위해 라우팅 테이블을 체크한다. 만일 체크가 이루어지면 목적지 노드와 가장 인접한 이웃에게 패킷을 보내고 그렇지 않다면 소스 노드는 자신의 버퍼에 데이터 패킷을 저장하고 위치 요청 패킷(LREQ:Location Request Packet)을 브로드캐스트한다. 이 때, 위치 요청 패킷은 게이트웨이와 클러스터 헤드만이 브로드캐스트할 수 있다.

브로드캐스트된 데이터에 대한 위치 요청이 수신되면 클러스터 헤드는 목적지 노드가 클러스터 멤버인지 체크하고 위치 응답을 트리거한다. 수신자가 응답한 위치응답 패킷(LREP: Location Reply Packet)은 모든 노드들이 수신된 LREQ 와 클러스터 이웃 테이블의 정보를 기반으로 가장 인접한 이웃과 소스의 위치를 알기 때문에 지리적 라우팅을 사용하여 송신자에게 되돌려 보낸다. LREP를 전달 받은 클러스터 헤드와 게이트웨이는 저장된 클러스터 테이블과 비교하여 데이터의 유무를 판단한 후 기존 데이터와 일치하는 패킷을 받았을 경우에는 요청 패킷을 폐기하고, 새로운 데이터일 경우에는

클러스터 테이블에 추가한다.

### 3.2.1 클러스터 형성(formation of clusters)

클러스터를 형성할 때 모든 노드들은 클러스터를 결정하지 못한 상태에서 타이머를 동작하고 Hello 메시지를 보낸다. 만일 타이머가 만기되기 전에 노드가 클러스터 헤드로부터 Hello 메시지를 수신받는다면 노드는 클러스터 멤버에 등록된다. 그렇지 않을 경우에는 클러스터 헤드가 된다. 클러스터 헤드는 클러스터를 책임지고, 동작 시간동안에 Hello 메시지를 보낸다. 하나의 멤버가 Hello 메시지를 수신하면 클러스터에 등록하고 Hello 메시지에 대한 응답 책임을 가진다. 클러스터 헤드는 클러스터에 있는 모든 멤버의 주소와 위치가 저장되어 있는 클러스터 테이블을 업데이트 한다. 하나의 멤버가 다른 클러스터 헤드로부터 Hello 패킷을 처음 수신받았을 때는 클러스터 헤드에 등록하고 게이트웨이 상태를 바꾸어 클러스터 헤드에게 새로운 정보를 브로드캐스트한다. 만일 소스 노드가 목적지 노드에게 메시지를 보내기 위해서는 목적지의 라우팅 테이블을 체크한다. 체크가 끝난 후에는 목적지와 가장 인접한 이웃노드를 선택하기 위해 클러스터 이웃 테이블에서 찾아보거나 위치 복구 처리를 수행한다.

### 3.2.2 위치 복구 처리

데이터 패킷의 소스 노드가 라우팅 테이블을 포함하지 않은 상태에서 목적지에 데이터 패킷을 전송하기 원한다면 데이터 패킷을 버퍼에 저장하고, LREQ 패킷을 브로드캐스트한다. LREQ를 수신한 클러스터 헤드의 LREQ 처리 알고리즘은 [그림 1]와 같다. LREQ 패킷을 수신한 클러스터 헤드는 먼저 수신한 LREQ 패킷을 통해 목적지 패킷의 인식 필드를 검사한다. 만약 자신이 생성한 LREQ이면 수신한 LREQ를 폐기하고, 자신이 생성한 LREQ가 아니면 먼저 자신의 라우팅 테이블을 검색하여 목적지 노드에 대한 엔트리가 있는지 확인한다. 만일 목적지 노드가 클러스터 헤드의 멤버이면 소스노드에 LREP 패킷으로 응답하고, 그렇지 않으면 리스트에 LREQ패킷의 주소를 기록하고 난 후 이웃 클러스터 헤드에 LREQ 패킷을 재브로드캐스트한다. 재브로드캐스트한 LREQ 패킷을 목적지 노드의 클러스터 헤드가 수신받으면 소스 주소와 위치를 기록한다.

```

Procedure LREQ_Process(LREQ *meq, unsigned
ip_src, unsigned ip_des, init ttl)
{
    if(meq->orig_addr == this_host_ip_addr)
        return;
    rev_route=route_table_find(meq->orig);

    //자신의 목적지노드일 경우
    if(meq->dest_addr == this_host_ip_addr){
        meq_send(rev_route); //rev_route-LREQ를 받은
        역 경로
    }
    route=route-table_find(meq->dest_addr);

    //자신의 중간 노드일 경우
    if(route->state == VALID &&
    route->dest_seqno>=meq->seqno &&
    route->hcnt<meq->hcnt){
        route->dest_seqno++;//DSN증가
        meq_seed(rev_route);
        grrep_send(route);
    }
    else if(n1>1) meq_forward(meq, -ttl);
    else meq_drop(meq);
}
    
```

그림 1. LREQ 처리 알고리즘

목적지 노드의 클러스터 헤드는 소스 노드의 위치를 알기 때문에 목적지 노드는 가장 인접한 이웃노드를 통해 소스에 LERP 메시지를 돌려보낸다.

마지막으로 소스노드에 도착한 패킷이 발원된 소스와 같다면 패킷을 요청한다. 이때 LREQ가 통과되는 경로는 소스노드에 의해 주어진 위치 정보로부터 결정되기 때문에 LREP에 의해 통과되는 경로와는 다르다.

### 3.2.3 데이터 패킷 라우팅

데이터 패킷의 실제 라우팅은 소스 노드, 목적지 노드 그리고 이웃노드의 위치에 기반을 둔다. 소스 라우팅에 기반두지 않은 패킷들은 위치에 기반을 두어 소스에서 목적지까지 패스를 경유(travel) 한다. 데이터 패킷은 소스 노드와 목적지 노드 사이에서 전송되는 각각의 개별적인 시간으로 목적지 노드에서 경로를 찾는다. 두 노드가 서로의 위치를 알고 있기 때문에 패킷들은 노드의 시간정보를 기반으로 전송한다. 특히, 전송이 목적지 노드의 방향이면 경로 발견은 서로 다른 라우팅 메커니즘보다 짧다. 일반적인 라우팅 경로는 목적지에 대한 검색이 짧은 경로를 찾으나 위치 정보를 사용하여 찾은 경로는 일반 라우팅보다 더욱 짧을 수 있다.

3.2.4 위치 정보 유지

무선 센서 네트워크의 특성상 설정된 경로는 계속해서 변하게 된다. 경로가 짧아지기도 하고 길어지기도 하며 경로가 실패하기도 한다. 그러나 제안 알고리즘은 데이터를 송수신하고 패킷을 인식하는 소스 노드와 목적지 노드의 위치정보를 유지하고 업데이트하기 때문에 매우 빠른 무선 센서네트워크의 이동노드에 적합할 뿐만 아니라 기존 방식보다 적은 네트워크 오버헤드를 발생시키게 된다.

IV. 평가

4.1 성능 측정기준(Performance Metrics)

다음의 성능 측정기준을 라우팅 알고리즘의 성능 평가를 측정하는데 사용한다.

① 라우팅 오버헤드

네트워크에서 타협된 노드와 노드의 라우팅 오버헤드 사이의 관계를 정의한다. 비록 효율적인 에너지 관리가 필요할지라도 몇몇 센서 네트워크 미션에서는 민감성이 떨어진다.

② 네트워크 처리량

시뮬레이션 시간에 따라 게이트웨이에 도착한 패킷 전송비율로써 정의한다.

③ 클러스터당 소비되는 평균에너지

클러스터당 소비되는 평균통신 에너지로 정의한다. 그리고, 일반적으로 에너지를 최소화하는 라우팅 알고리즘은 에너지 저장이 더 좋은 분야이다.

4.2 성능측정 방법과 환경

이 절에서는 NS-2를 이용하여 패킷 전송비율, 라우팅 오버헤드, 센서 노드 수의 변화에 따른 평균통신 에너지 등에 관한 성능평가를 수행한다. 시뮬레이션을 위해 CMU(Carnegie Mellon University)의 Monarch Research Group에서 NS-2 시뮬레이터를 위해서 개발한 모델을 이용하였다<sup>[11]</sup>.

표 1. 실험환경

노드의 수(Nodes number)	150
크기(Scene)	1000m × 1000m
초기 에너지값(Initial energy)	0.5 joules
무선 범위(Wireless range)	200 m
버퍼(buffer)	50 packet
소스 수(Number of sources)	10
트래픽(Traffic)	4 pkts/s

제안 프로토콜의 실험을 위하여 [표 1]의 실험 시나리오를 통해 임의적으로 생성되는 모델을 사용한다. 실험에서 설정된 센서 필드의 크기는 1,000 m<sup>2</sup> 이며 센서 노드의 개수는 150개이다. 소스 노드는 초당 1개의 데이터 패킷을 싱크 노드에게 전송한다. 셀 사이즈는 200m<sup>2</sup>으로 설정하고 600초 동안 실험을 수행한다. 그리고 각 센서의 초기에너지는 0.5 줄(Joule)의 에너지를 가지는 것으로 가정하고 버퍼의 크기는 50패킷의 크기를 가진다. 만약 노드의 에너지 레벨이 0줄이 되면 노드는 동작되지 않는다.

각 패킷은 패킷 전송동안 매 패킷 에너지를 계산하기 위해 갱신되는 에너지 필드를 가지며, 이때 패킷 드롭 확률은 0.01과 같다. 이것은 실제상황에 맞는 시뮬레이션을 만들기 위해서 사용되고 활동적인 에너지로부터 게이트 에너지 모델의 유추를 시뮬레이션하기 위해 사용된다.

4.3 성능 결과(Performance Results)

이 절에서는 소스 노드의 수를 변화시키면서 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 제안 알고리즘의 성능을 평가하기 위해, 서로 다른 DSN 크기 상에 존재하는 다양한 파라미터들의 효과를 측정하여 제안 기법의 효율성을 추정하였다.

[그림 2]는 네트워크 이동성에 영향을 미치는 정지 시간별 패킷 전송 비율을 나타내고 있다. [그림 2]에서의 네트워크 이동성은 직접적으로 정지시간(puase\_time)에 의해 영향을 많이 받는다. 노드의 정지시간별 이동성을 600초 동안 6구간으로 나누어 각각의 프로토콜에 대한 노드의 패킷 전송 비율 결과를 살펴보면 다음과 같다. DSDV는 재전송 데이터의 에러로 인해 네트워크 전체에 여러 패킷이 증가하여 비액티브 네트워크보다 노드 증가에 따른 오버헤드가 증가하였다. 반면, DSR과 AODV 프로토콜은 네트워크의 데이터 오버헤드가 노드의 움직임 상태에 따라 다르게 나타나지만 홉-홉 옵션을 통해 이웃한 노드로 패킷이 전송할 때 에러가 발생하면 일정 시간 후 패킷을 재 전송하도록 하여 데이터 손실을 줄이고자 하였다. 하지만 네트워크의 경로 상태가 불안정하게 되면 에러 데이터 패킷에 대한 재전송 횟수가 많아지는 문제점을 가지고 있다.

그러나 제안 프로토콜은 클러스터를 기반으로 프로토콜을 구성하고 있기 때문에 경로 상태가 불안정해도 데이터 패킷 재전송 후에 발생한 에러에 대

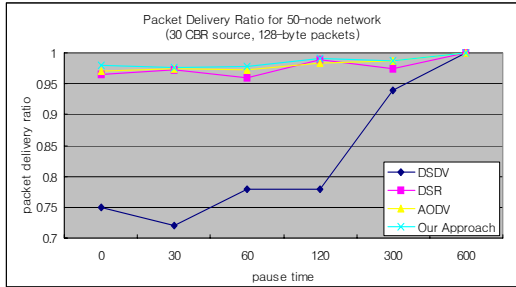


그림 2. 50노드 네트워크를 위한 패킷 전송 비율

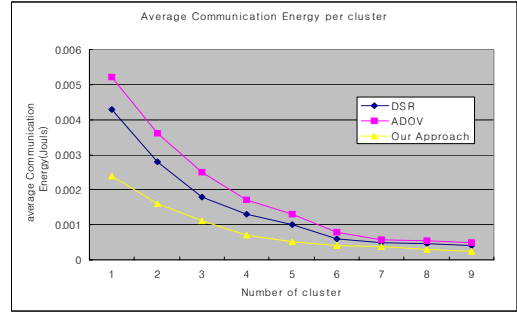


그림 5. 클러스터당 평균 통신 에너지

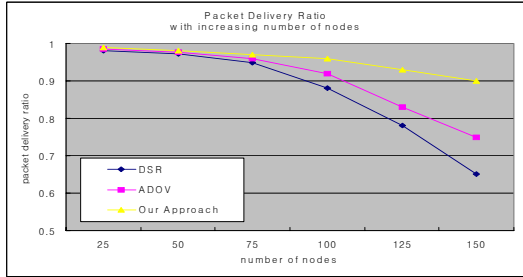


그림 3. 노드 증가에 따른 패킷 전송 비율

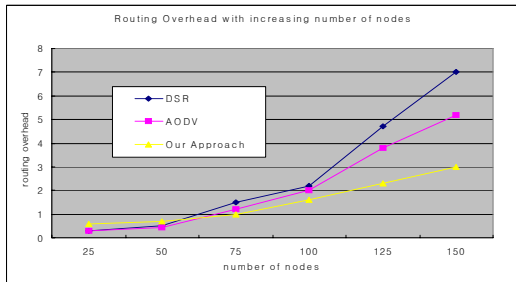


그림 4. 노드 증가에 따른 라우팅 오버헤드

해서 일정 횟수를 반복하도록 하여 신뢰성을 높이고 있다. 또한 재전송 횟수가 DSR과 AODV보다 많아지지 않으며 노드의 움직임에 따른 오버헤드 변화도 일정하다.

[그림 3]의 결과를 보면, 기존 기법과 제안 프로토콜은 노드의 수가 증가할수록 패킷 전송 비율이 떨어지고 있다. 이런 결과는 새로운 이웃으로부터 검증할 수 없는 패킷을 수신받았을때 발생한다. 이 실험에서는 트래픽 전송 비율은 거의 100%이고, 일정한 이동성을 가지는 150개의 노드를 {25, 50, 75, 100, 150}노드 수로 구분하여 네트워크를 구성하여 실험하였다. 시뮬레이션 결과 기존 기법은 제안 기법보다 노드 수가 증가함에 따라 패킷 전송비율이 최대 10~15% 떨어지는 것을 볼 수 있다.

[그림 4]는 노드 증가에 따른 기존 기법과 제안 기법의 라우팅 오버헤드를 비교한 결과이다. 네트워크 크기에 영향을 받는 라우팅 오버헤드는 다음 과정을 통해 평가된다.

$$\text{Routing overhead(normalized)} = \frac{\# \text{Routing Pkts Sent(RPS)}}{\# \text{Data Pkts Delivered(DPD)}}$$

RPS 는 라우팅 패킷 전송 수이고 DPD는 데이터 패킷 전송수이다. 이 논문에서는 [그림 4]의 결과를 통해 3가지 결과를 얻을 수 있다. 첫째, 라우팅 오버헤드는 라우팅 프로토콜 배치와는 별개로 노드의 수에 따라 증가한다. 이러한 이유 중 하나는 [그림 4]에서 보는것처럼 노드의 수가 증가할 때 노드는 높은 라우팅 오버헤드를 필요로 한다. 또 다른 이유는 라우팅 프로토콜에서 노드의 수가 증가함에 따라 더 많은 제어 패킷이 필요하다. 두 번째, 라우팅 오버헤드는 일정한 크기로 증가하는 노드와는 다르게 낮은 크기로 증가한다. 그 이유는 노드가 네트워크의 제한된 크기에 의해서 노드 수가 선형적으로 증가하지 않기 때문이다. 세 번째, 기존 기법의 경우에서처럼 트래픽 오버헤드는 시뮬레이션에 사용된 다른 트래픽 패턴에 의해서 이루어진다. 노드는 노드를 보내는 모든 트래픽 패킷에 의해서 트래픽 키를 추가한다. 그리고, 전체 오버헤드는 주로 데이터 소스의 수와 노드의 트래픽 모델에 의해 주로 결정된다.

[그림 5]는 클러스터내의 게이트웨이와 모든 센서 사이의 통신으로부터 요구된 평균 통신 에너지를 측정된 것이다. 통신 에너지는 직접적으로 두 노드 사이의 거리에 비례적이다. 만일 클러스터가 짧은 거리기반으로 형성된다면 소비된 평균 에너지는 최소화 되겠지만 로드는 균형적이지 않는다. 짧은 거

리 방법에 의해 클러스터된 센서들은 통신을 시작하면서 최소의 통신 에너지를 소비하려고 하지만 재 클러스터링 과정을 통해 오버헤드 에너지가 더 소비된다. 이 논문에서는 짧은 거리 알고리즘처럼 평균 통신에너지가 최소화 되도록 하였다.

## V. 결론

이 논문에서는 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드들의 지리적 또는 논리적인 위치 정보를 이용하여 적은 네트워크 오버헤드와 지연시간으로 최적화 된 경로 정보를 획득할 수 있는 방법을 제시하였다. 특히, 제안 알고리즘은 센서 위치 정보를 전달하는 위치기반 라우팅 알고리즘을 클러스터 기반으로 동작시켜 인접한 노드에 대해서 별도의 경로 설정 절차 없이 경로 정보를 사용할 수 있게 하였다. 그리고, 성능평가를 통해 기존기법과 패킷 전송 비율, 라우팅 오버헤드, 평균 통신 에너지등을 비교 평가한 결과 크게 3가지 결론을 도출할 수 있었다. 첫째, 네트워크 이동성은 정지시간에 영향을 많이 받는다. 둘째, 클러스터 수가 증가할수록 평균 통신 에너지 소비 비율이 제안 기법과 유사하지만 클러스터수가 적을 수록 평균 통신에너지 소비 비율은 기존기법이 제안기법보다 15% 높은 것을 볼 수 있다. 마지막으로 short-distance 방법에 의해 클러스터된 센서들은 통신을 시작하면서 최소의 통신 에너지를 소비하려고 하지만 재 클러스터링 과정을 통해 오버헤드 에너지가 2% 소비되었다. 앞으로의 연구에서는 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜을 설계하는데 있어서 영향을 미칠 수 있는 여러 요소들에 대한 연구와 그러한 요소들의 변화에 따라 클러스터 크기를 적절히 조절할 수 있는 연구가 요구된다.

## 참고 문헌

[ 1 ] J. Hightower and G. Borriello, "Location Sensing Techniques," <http://portolano.cs.washington.edu/papers/UW-CSE-01-07-01.pdf>  
 [ 2 ] K. Srorabi et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Pers. Commun.*, Oct. 2000, pp. 16-27.  
 [ 3 ] C. Intanagonwiwat et al., "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.11, No.1, Feb.

2003, pp.2-16.  
 [ 4 ] W. R. Heizelman et al., "Adaptive protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Mobicom'99*, 1999, pp.174-185.  
 [ 5 ] K. Sorabi et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communication*, Vol. 7, No.5, 2000, pp. 16027.  
 [ 6 ] F. Ye, et al., "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," *Proc. Tenth International Conference on Computer Communications and Networks*, 2001, pp. 304-309.  
 [ 7 ] W. B. Heizelman et al. "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. on Wireless Communicatios*, Vol.1, No.4, Oct. 2002, pp.660-670.  
 [ 8 ] A. Manjeshwar et al., "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proc. Second Int'l Workshop Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, 2001.  
 [ 9 ] A. Manjeshwar et al., "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *IEEE Proc. Of the Int'l. Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS'02)*, Apr. 2002, pp.195-202.  
 [10] G. Gupta, M. Younis, "Performance Evaluation of Load-Balanced Clustering of Wireless Sensor Networks," *ICT 2003*, pp. 1577~1583, 2003.  
 [11] Network simulator. Available in <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, January 2003.  
 [12] V. Mhatre, C. Rosenberg, D. Kofman, R. Mazumdar, and N. Shro, "A minimum cost heterogeneous sensor network with a lifetime constraint," *IEEE Tran. on Mobile Computing*, Vol. 4, No.1, pp. 4-15, February 2005.  
 [13] Y. Ma, and J. H. Aylor, "System lifetime optimization for heterogeneous sensor networks with a hub-spoke topology," *IEEE Tran. on Mobile Computing*, Vol.3, No.3, pp. 286-294, July-September 2004.  
 [14] Q. Wang, H. Hassanein, and K. Xu, "A practical perspective on wireless sensor networks," *Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing*



Systems(Ilyas/Mahgoub, Eds), Chapter 9, CRC Press, July 2004.

- [15] M. Perilo, Z. Cheng, and W. Heinzelman, On the Problem of Unbalanced Load Distribution in Wireless Sensor Networks, in Proceedings of the IEEE GLOBECOMM Workshops on Wireless Ad Hoc and Sensor Networks, 2004, pp. 74-79.

정 윤 수 (Yoon-su Jeong)

정회원



1998년 2월 청주대학교(이학사)  
2000년 2월 충북대학교 대학원  
전자계산학과(이학석사)  
2003년 3월~현재 충북대 전자계  
산학과 박사수료  
<관심분야> 무선 센서 네트워크  
보안, 암호이론, 정보보호,

Network Security, 이동통신보안, 전자상거래보안

이 상 호 (Sang-ho Lee)

정회원



1976년 숭실대학교 전자계산학  
과졸업  
1981년 숭실대학교 전자계산학  
과 졸업(MS)  
1989년 숭실대학교 전자계산학  
과 졸업(PHD)  
1976년 1월~1979년 5월 한국전

력 전자계산소

1981년 6월~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부  
교수

<관심분야> Protocol Engineering, Network Security,  
Network Management, Network Architecture