

# 작은 라우팅 구성 트래픽을 가지는 라우팅 알고리즘

최익성<sup>†</sup> · 곽광훈<sup>\*\*</sup> · 김근형<sup>\*\*\*</sup>

## 요약

본 논문은 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅(routing) 알고리즘에서 라우팅 구성을 위한 트래픽을 줄이기 위한 방법을 제안한 것이다. 제안된 방법은 일정 기간 동안 라우팅 메시지를 모아서 그 결과를 한번만 전송함으로써 라우팅 트래픽을 줄인다. 이 라우팅 트래픽을 모으는 방법은 네트워크의 경로 설정을 위한 시간이 증가하는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여, 첫 하나 또는 몇 개의 라우팅 메시지는 즉시 전달하고 그 이후의 라우팅 메시지는 일정 기간 동안 모아서 전달한다. 제안된 방법은 Qualnet 시뮬레이터와 C 언어를 이용하여 모델링하고 구현하였다. 실험을 통하여 제안된 방법들이 라우팅 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있음을 보였다.

키워드 : 라우팅 알고리즘, 애드혹 라우팅, 무선 센서 네트워크

## A Routing Algorithm with Small Routing Traffic

Ick-Sung Choi<sup>†</sup> · Gwang-Hoon Kwark<sup>\*\*</sup> · Geun-Hyung Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

This paper proposes techniques for wireless sensor network routing algorithm with small routing traffics. It reduces routing traffic by gathering routing messages for fixed duration of time and the routing message for the configuration result is sent once. The routing traffic gathering technique has disadvantage of longer network configuration time. To overcome this, first one or first few routing messages are delivered immediately and later routing messages are gathered for fixed duration of time. The proposed scheme was modelled and implemented in Qualnet simulator using C language. Experimental results show that the proposed techniques are effective for reducing routing traffics.

Keywords : Routing Algorithm, Ad-hoc Routing, Wireless Sensor Network.

### 1. 서론

최근 등장한 ad-hoc 네트워크와 무선 센서 네트워크(wireless sensor network)는 유비쿼터스 네트워크(ubiquitous network)의 핵심 기술로, 육상 및 해양의 물류관리, 위험물 및 화재 감시, 홈 네트워크, 고속도로 교통 정보관리, 환경 감시 및 목표물 추적, 건물 내부 감시 등의 다양한 응용 분야에 사용되고 있다. 기존 유선 네트워크가 라우터 또는 스위치 같은 장비를 이용하여 자료를 전달하는 것과는 달리, ad-hoc 네트워크와 무선 센서 네트워크는 각 노드(node)가 자료를 전달하는 네트워크의 기능을 수행하는 특징이 있다. Ad-hoc 네트워크와 무선 센서 네트워크는 네트워

크 연결 정보를 초기에 가지고 있지 않으며, 각 노드가 협력하여 네트워크 연결을 만든다. 새 노드가 네트워크에 참여하는 경우 그 존재를 주변에 방송으로 알리며, 주변의 이웃 노드들로부터의 응답을 받아 네트워크에 연결되는 과정을 반복함으로써 전체 노드가 네트워크에 연결이 될 수 있다.

일반적으로 무선 센서 네트워크를 위한 ad-hoc 라우팅(routing) 프로토콜은 pro-active(table-driven) 라우팅, reactive(on-demand) 라우팅, flow-oriented 라우팅, adaptive (situation-aware) 라우팅, hybrid (both pro-active and reactive) 라우팅, 그 외 기타 라우팅 프로토콜들로 분류할 수 있다[1].

Pro-active(table-driven) 라우팅 알고리즘은 네트워크 전체의 동일한 라우팅 테이블(routing table)을 주기적으로 분배하여 목적지와 목적지 경로를 전체 노드들이 관리하는 방법을 사용한다. Pro-active(table-driven) 라우팅 알고리즘의 예로는 AWDS (Ad hoc Wireless Distribution Service)[2], Babel[3], CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing protocol)[4], DFR ("Direction" Forward Routing), DBF

\* 본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 (B0009720) 지원으로 수행되었음.

† 정희원: 동아대학교 미디어디바이스 연구센터

\*\* 정희원: 동아대학교 미디어디바이스연구센터 책임연구원

\*\*\* 중신회원: 동의대학교 영상정보공학과 조교수(교신저자)

논문접수: 2011년 5월 3일

수정일: 1차 2011년 6월 13일, 2차 2011년 6월 27일, 3차 2011년 6월 29일

심사완료: 2011년 6월 29일

(Distributed Bellman-Ford Routing Protocol)[5], DSDV (Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector routing protocol)[6] 등을 예로 들 수 있다. 이 방법은 라우팅 경로 설정과 관련된 트래픽의 수가 많고 네트워크 변경 또는 고장 발생시 복구 시간이 많이 걸리는 단점이 있다.

Reactive(on-demand) 라우팅 알고리즘은 경로 요청 패킷(route request packets)을 네트워크로 방송을 하여 경로를 찾는 방법이며, 이웃 노드의 라우팅 정보만을 서로 교환한다. 이 알고리즘의 예로는 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector)[7], ESAODV (Extra Secure Ad Hoc On Demand Vector)[8], RSRP(Robust Secure Routing Protocol)[9], Minimum Exposed Path to the Attack (MEPA) in Mobile Adhoc Network (MANET)[10], Ant-based Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks[11], Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector[12] 등을 예로 들 수 있다. 이 알고리즘은 네트워크 경로 설정에 시간이 비교적 많이 소요되고, 경로 요청 패킷의 방송에 따른 트래픽의 양이 많은 단점이 있다.

무선 ad-hoc 센서 네트워크는 센서 기능과 네트워크 기능을 갖는 센서 노드들로 이루어지며 많은 수의 센서 노드들이 일정한 지역 내에 배치되어 유기적으로 동작하여 하나의 네트워크를 형성하여 루트(root) 노드에 연결된다. 센서 노드는 제한된 배터리, 메모리, 연산 처리 속도, 그리고 통신거리 등의 제약이 있다. 어떤 특정한 상황에서 긴급 패킷이 발생되었을 때 손실이나 지연 없이 목적지로 데이터 패킷을 전송하는 것은 매우 중요하며, 보통 센서 노드는 배터리로 동작하기 때문에 이러한 제약 조건하에서 장기간 동작이 필요하므로 에너지를 최대한 절약하는 것이 필수적으로 요구된다.

본 논문은 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘에서 라우팅 구성을 위한 트래픽을 줄이기 위한 방법들을 제안한 것이다. 제안된 알고리즘은 이웃 노드들과 통신을 하면서 라우팅 테이블을 구축하고 자료를 전송한 후 라우팅 테이블의 경로가 변경된 경우 라우팅 테이블을 수정하므로, proactive 라우팅의 특징과 reactive 라우팅의 특징을 모두 가지고 있다. 이러한 방법들을 사용할 경우 라우팅 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있는 장점이 있다. 2 장에서는 distance vector 를 사용하는 다중 경로 라우팅 알고리즘에 대해 설명하고, 3 장에서는 제안된 작은 라우팅 구성 트래픽을 위한 개선 방법들을 설명한다. 그리고 4 장에서는 실험 결과를 통하여 제안된 알고리즘의 효율성을 보였다.

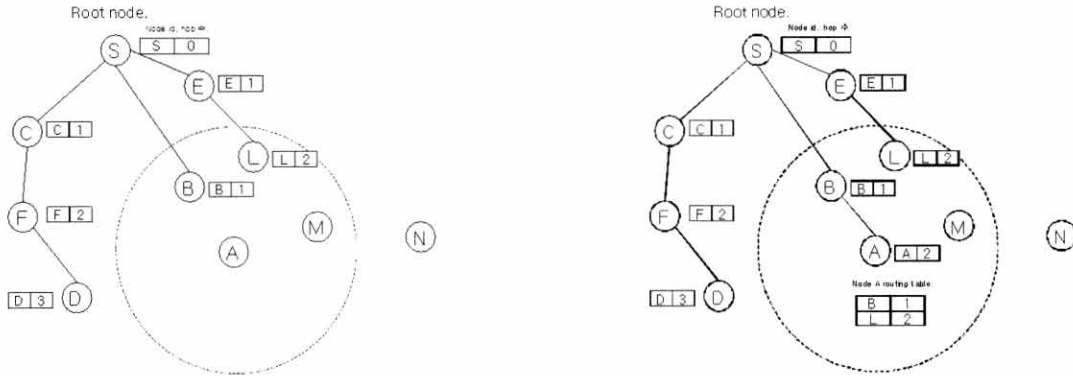
## 2. 다중 경로 Distance Vector 라우팅 알고리즘

실험을 위하여 목적지의 distance vector를 이용하는 다중 경로 라우팅 알고리즘을 구현하였다. 구현된 라우팅 알고리즘은 루트 노드로부터 너비 우선 탐색(breadth-first search) 방법으로 네트워크를 구성하며, 각 노드는 루트 노드의 거리를 나타내는 distance vector 값을 가진다. 네트워크의 전체 노드가 시간이 지나면서 하나씩 join 과정을 통해 루트

노드로 연결이 된다. 전체 네트워크 구성은 각 노드들이 각자 네트워크에 참여하는(join) 과정을 수행하여 전체 네트워크가 구성된다. 각 노드는 루트 노드로의 최단 경로뿐만 아니라 루트 노드로의 모든 경로에 대한 라우팅 테이블을 가지고 있어, 만일 최단 경로로 자료 전송이 불가능할 경우, 다른 대체 경로들로 자료 전송을 시도한다. 본 구현에서 네트워크는 트래픽이 외부 네트워크로 연결된 상위 노드에서만 전송이 된다고 가정하였다. 각 노드는 자신의 id 와 루트 노드와의 거리를 나타내는 hop 수 정보를 가지고 있으며, 그리고 상위 노드로 가는 연결된 모든 상위 링크(up link) 목록을 가지고 있는 라우팅 테이블을 가지고 있다. 라우팅 테이블은 상위 방향(up) 노드와 루트 노드와의 거리를 나타내는 hop 수를 저장하고 있으며, hop 수에 따라 오름차순으로 정렬되어 있다. 라우팅 테이블의 첫째 항목은 루트 노드로 가는 최단 경로를 나타내며, 나머지 라우팅 테이블 항목들은 대체 경로(alternative backup path)로 가는 경로를 나타낸다. 라우팅 테이블의 첫 항목은 루트 노드와 가장 가까운 상위 방향 상위 노드가 저장되어 있으므로, 자료를 상위 방향으로 보낼 때, 라우팅 테이블의 첫 번째 항목의 상위 방향 노드로 자료를 보내려고 시도한다. 만일 이것이 실패하면, 두 번째 항목의 상위 방향 노드로 자료를 보내려고 시도하며, 만일 실패할 경우 라우팅 테이블의 그 다음 항목의 상위 방향 노드로 자료를 보내려고 계속 시도를 하게 된다. 만일 라우팅 테이블이 비어있게 되어 자료를 전달할 수 없는 경우에는 노드의 큐에 자료를 저장한다. 만일 노드의 큐가 꽉 차 있는 경우에는 이 자료를 버리게 된다. 그리고, 노드는 네트워크에 연결될 때까지 join 과정을 반복 수행한다.

### 2.1 네트워크 join 과정

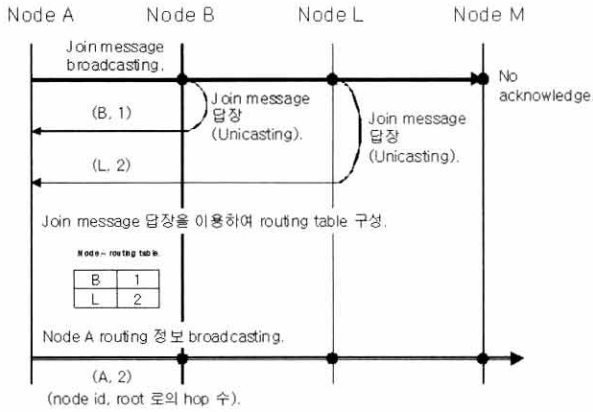
예로 (그림 1)과 같이 무선 네트워크가 구성되어 있다고 가정하자. 노드 A의 무선 통신 가능한 영역을 점선 원으로 표시하였다. 노드 A가 통신 가능한 이웃한 노드들은 B, L, M 이 있으며, 이 중 B와 L 은 루트 노드로의 상위 방향 링크(up link)가 연결되어 있고, M 은 연결되어 있지 않다고 가정하자. 노드 A가 새로 네트워크에 들어온 경우 join 과정을 (그림 2)에 나타내었다. (그림 1(a))에 네트워크에 노드 A가 새로 들어온 경우를 나타내었으며, (그림 1(b))에 네트워크에 새로 들어온 노드 A가 join 과정을 거쳐 루트 노드에 연결된 경우 라우팅 테이블을 구축한 예제를 보였다. 네트워크에 노드 A가 새로 들어온 경우, 노드 A는 join 패킷(packet)을 방송으로 보낸다. Join 패킷을 받은 노드 B, L, M 중 루트 노드와 연결된 B와 L은 자신의 노드 id와 루트와의 거리를 나타내는 hop 수를 노드 A로 답장을 한다. 루트 노드와 네트워크에 연결되지 않은 노드는 답장을 하지 않는다. 답장을 받은 노드 A는 답장받은 정보를 이용하여 라우팅 테이블을 구축한다. 라우팅 테이블의 각 항목들은 hop 수에 따라 오름차순으로 정렬되어 관리된다. 라우팅 테이블 수정을 마친 후 노드 A는 방송(broadcasting)으로 자신의 id와 hop 수 메시지를 이웃 노드들로 보낸다.



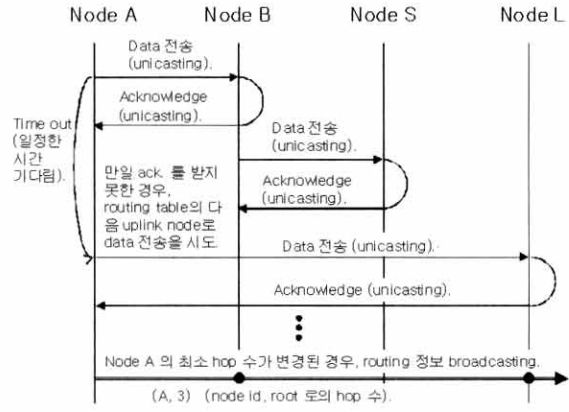
(a) 네트워크에 연결되지 않은 노드 A가 네트워크에 참여를 원하는 경우

(b) 네트워크에 연결되지 않은 노드 A가 join 과정을 거쳐 네트워크에 연결된 경우

(그림 1) 네트워크 구성 예제



(그림 2) 네트워크에 연결되지 않은 노드 A가 네트워크에 참여하는 join 과정



(그림 3) 노드 A에서 자료를 상위 노드로 송신하는 과정

## 2.2 데이터 송신

노드 A가 자료를 상위 노드들을 거쳐 루트 노드로 전송하려고 할 때는 다음과 같은 (그림 3)의 과정을 거친다. 자료를 송신할 때, 각 노드의 라우팅 테이블에서 가장 위에 있는 (루트와 가장 가까운) 노드로 전송을 시도하며, 전송이 상위 노드로 제대로 전달이 된 경우는 상위 노드가 acknowledge를 응답한다. 만일 일정한 시간을 기다려 acknowledge를 받지 못하는 경우, 노드는 라우팅 테이블에서 다음 우선 순위에 있는 상위 노드로 자료를 보내려고 시도하며, 라우팅 테이블에서 전송에 실패한 상위 노드를 삭제한다. 자료 전송이 완료되었을 때 만일 라우팅 테이블의 첫 항목이 변경된 경우에는 노드가 자신의 id와 루트와의 거리를 나타내는 hop 수를 방송으로 인근 노드들에 전달한다.

## 2.3 데이터 수신

### 2.3.1 데이터 패킷 수신

노드가 데이터 패킷을 수신한 경우에는 수신을 제대로 받았다는 데이터 acknowledge 패킷을 보낸 노드로 보낸다. 그리고 그 데이터를 상위 노드로 전송하려고 시도한다.

### 2.3.2 Join 패킷 수신

노드가 join 패킷을 수신한 경우에는 자신의 id와 루트와의 거리를 나타내는 hop 수를 join 패킷을 보낸 노드들로 회신한다. 만일 노드가 루트 노드와 네트워크에 연결되지 않으면, join 패킷을 보낸 노드들로 회신하지 않는다.

### 2.3.3 라우팅 테이블 update 패킷 수신

라우팅 테이블 update 패킷을 받는 경우는 다음의 세 가지 경우들이다.

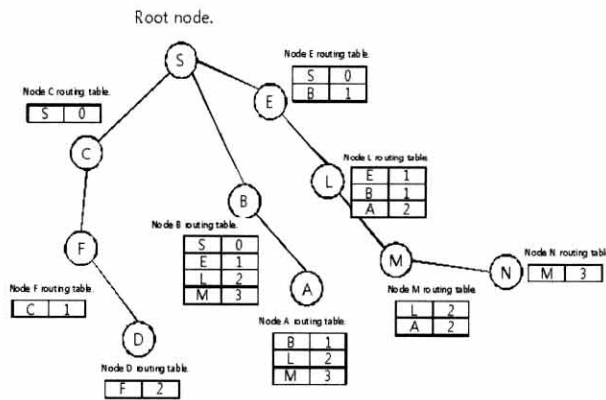
- Join 패킷을 보낸 후, 응답을 받는 경우.
- 새로 들어온 노드는 join 과정을 완료한 후 라우팅 테이블 update 패킷을 보내며(broadcasting), 이 패킷을 수신하는 경우.
- 노드가 데이터 패킷을 송신한 후 데이터 acknowledge를 받지 못해 라우팅 테이블 첫 항목의 hop 수가 변경된 경우에는 노드가 라우팅 테이블 update 패킷을 보내며(broadcasting), 이 패킷을 수신하는 경우.

이러한 라우팅 테이블 update 패킷을 수신한 경우, 각 노드는 자신의 라우팅 테이블을 수정한다. 이웃한 노드들과

이들의 hop 수를 포함하고 있는 라우팅 테이블 update 패킷을 참조하여, 각 노드는 자신의 라우팅 테이블을 수정한다. 만일 라우팅 테이블의 첫째 상위 노드와 이 노드의 hop 수가 변경된 경우에는 라우팅 테이블 update 패킷을 방송(broadcasting)으로 이웃 노드들로 송신한다. 만일 노드가 루트 노드와 네트워크에 연결되지 않으면, 라우팅 테이블 update 패킷을 송신하지 않는다.

2.4 라우팅 경로에서 loop가 발생한 경우 loop의 제거

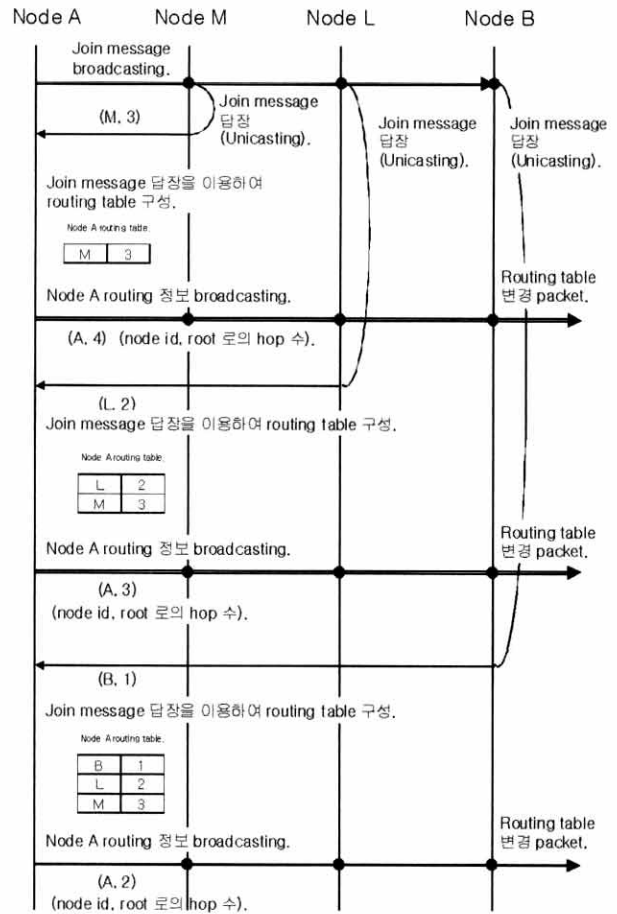
제안된 알고리즘을 이용하여 전체 경로를 구성할 경우 목적지 루트 노드로 연결되지 않은 loop 경로가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 각 노드는 라우팅 테이블 update 패킷을 송신할 때, 자신의 부모 노드(parent node)의 정보를 함께 송신한다. 라우팅 테이블 update 패킷을 받은 노드는 이 라우팅 테이블 update 패킷의 부모 노드(parent node)가 자신이 아닌 경우에만 노드의 라우팅 테이블을 수정한다. 만일 이 부모 노드(parent node)가 자신이라면 현재 노드와 라우팅 테이블 update 패킷 사이에 loop 가 있다는 의미이므로, 현재 노드에서 받은 라우팅 테이블 update 패킷을 버린다. 이 방법을 이용하여 한 hop 들 사이의 loop 를 제거할 수 있다. 만일 다수의 hop 에 걸치는 루트 노드와 경로가 단절된 loop가 생기는 경우, 이 경로를 따라서 노드의 루트 노드로의 hop count 가 점차 증가된다. 이 루트 노드로의 hop count 가 일정한 최대 hop count 값 이상이 되면 연결이 단절되었다고 판단하여 이 loop 경로가 제거된다. (그림 4)에 예제 네트워크 구성에 대한 라우팅 테이블 구성 결과 예를 보였다.



(그림 4) 네트워크 구성 결과 예제

3. 작은 라우팅 구성 트래픽을 위한 개선 방법들

본 장에서는 제안한 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘에서 라우팅 구성 트래픽을 줄이기 위한 방법과 초기 네트워크 구성 시간을 줄이는 방법에 대해서 기술한다. 제안된 방법은 일정 기간 동안 라우팅 메시지를 모아서 그 결과를 한번만 전송함으로써 라우팅 트래픽을 줄이며, 네트워크의 경로 설정을 위한 시간을 개선하기 위하여 첫 하나 또는 첫



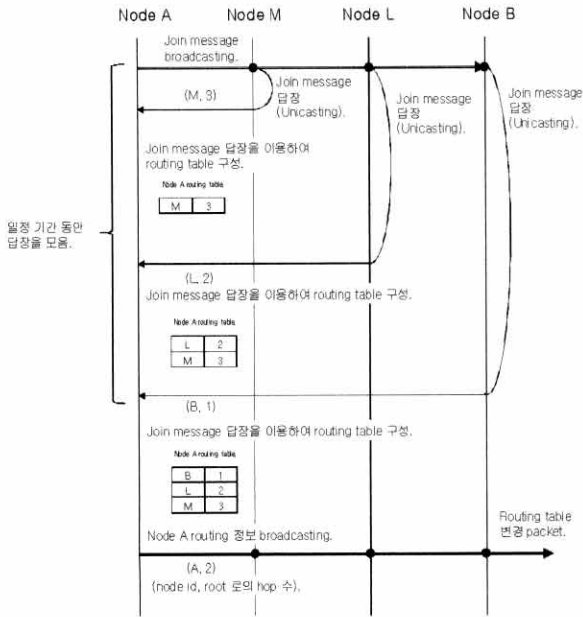
(그림 5) 라우팅 메시지를 모으지 않는 경우의 라우팅 테이블 update 패킷 송신 (3회)

몇 개의 라우팅 메시지는 즉시 전달하고 그 이후의 라우팅 메시지들은 일정 기간 동안 모아서 전달한다. 이러한 방법들을 사용할 경우 라우팅 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있는 장점이 있다.

3.1 라우팅 구성 트래픽을 줄이기 위한 방법

Ad-hoc 무선 센서 네트워크는 네트워크 연결 정보를 초기에 가지고 있지 않으며, 각 노드가 협력하여 네트워크 연결을 만든다. 새 노드가 네트워크에 참여하는 경우 그 존재를 주변에 방송으로 알리며, 주변의 이웃 노드들로부터의 응답을 받아 네트워크에 연결되는 과정을 반복함으로써 전체 노드가 네트워크에 연결이 될 수 있다. 보통 각 노드는 위의 이웃 노드들로부터의 응답을 받을 때 자신의 라우팅 테이블이 변경되면, 즉시 그 정보를 주위의 이웃들로 라우팅 테이블 update 패킷을 방송으로 알린다. 만일 일정 기간 동안 주위의 이웃 노드들로부터 라우팅 메시지를 모아서 그 결과인 라우팅 테이블 update 패킷을 한번만 전송하는 경우 라우팅 경로 설정에 필요한 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있다.

(그림 5)에 라우팅 메시지를 모으지 않는 경우의 라우팅 테이블 update 패킷 송수신의 예를 보였다. 이 예에서는 라우팅 테이블 update 패킷을 받을 때마다, 노드 A의 최단 경



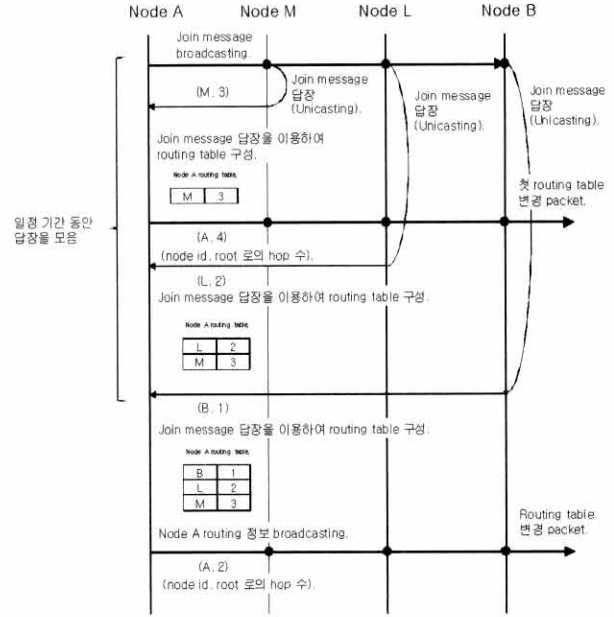
(그림 6) 라우팅 메시지를 모으는 경우의 라우팅 테이블 update 패킷 송신 (1회)

로가 바뀌기 때문에 라우팅 테이블 update 패킷을 3회 전송하게 된다. 이러한 경우 전체 네트워크가 빠르게 구성되는 장점이 있지만, 네트워크 구성을 위하여 전송하는 라우팅 테이블 update 패킷의 트래픽 수가 많은 단점이 있다.

(그림 6)에 각 노드가 전송받은 라우팅 메시지를 일정 기간 동안 모아서 그 결과를 한번 전송하는 경우의 예를 보았다. 이 예에서 송수신하는 라우팅 테이블 update 패킷의 수가 1회로 줄어들음을 알 수 있다. 이 방법은 join 요청 후 일정 기간 동안 라우팅 테이블 update 패킷을 모으기 때문에, join 요청도 최소한 이 기간 이상 간격으로 설정되어야 한다. 이 방법은 송수신하는 라우팅 테이블 update 패킷 수가 감소하는 장점이 있지만, 초기 네트워크 경로 설정 시간이 길어지는 단점이 있다.

### 3.2 네트워크 경로 구성 시간을 줄이기 위한 방법

위 1절에서 설명한 라우팅 트래픽을 일정 기간 모아서 전송하는 방법은 초기 네트워크의 경로 설정을 위한 시간이 증가하는 단점이 있다. 이러한 네트워크의 경로 설정을 위한 시간을 개선하고 네트워크 구성을 위한 라우팅 트래픽의 수를 줄이기 위하여, 첫 하나 또는 첫 몇 개의 라우팅 메시지는 즉시 전달하고 그 이후의 라우팅 메시지들은 일정 기간 동안 모아서 전달한다. 제안된 방법의 동작 예를 (그림 7)에 나타내었다. 이 방법을 사용할 경우, 비록 최적의 라우팅 경로는 아니라도 전체 네트워크의 구성이 빨리 되는 장점이 있으며, 일정 시간이 지난 후에는 최적의 네트워크가 구성된다. 네트워크 경로 설정은 네트워크 내 노드들을 목적지 루트로부터 너비 우선 탐색(breadth-first) 방식으로 진행되므로, 루트에 가까운 노드들의 경로 설정이 먼저 되는 특징이 있어, 첫 라우팅 메시지가 최단 경로일 가능성이 높



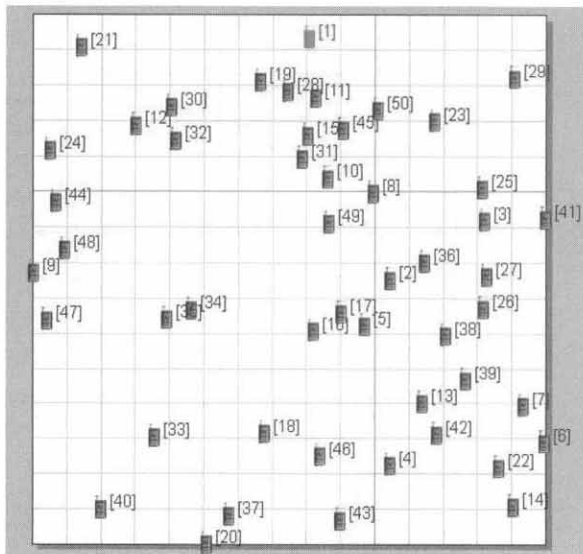
(그림 7) 첫 라우팅 메시지는 바로 전달하고, 그 후의 라우팅 메시지를 모으는 경우의 라우팅 테이블 update 패킷 송신 (2회)

다. 일단 목적지 루트 노드로의 경로가 빨리 설정되면, 각 노드는 데이터 패킷을 목적지 루트로 빨리 보낼 수 있는 장점이 있다.

## 4. 실험 결과

제안된 라우팅 알고리즘은 Qualnet 시뮬레이터를 이용하여 C 언어로 구현하였다[13]. 구현된 라우팅 알고리즘은 다양한 트래픽 부하(load)에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 기능과 성능을 검증하였다. 제안된 알고리즘과 AODV 알고리즘은 802.11 (무선 network) MAC 과 PHY를 사용하였다. 실험에서는 Qualnet의 random 배치 기능을 사용하여 50개의 노드를 1500 미터 \* 1500 미터의 공간에 random하게 배치하였다. 50개의 노드는 배치한 후에, 동시에 모든 전원이 켜진다고 가정하였고, simulation 도중에 노드의 추가 또는 삭제를 하지 않았으며, 노드들이 한번 배치된 후에는 움직이지 않는다고 가정하였다. 실험에서 사용한 50 개의 노드 배치를 (그림 8)에 나타내었으며, 그림에서 그림 상단 중앙의 [1] 노드가 루트 노드이다. 실험에서 simulation 시간은 500 초이며, 각 노드는 10 개의 패킷을 저장할 수 있는 queue 를 가진다. 실험에서 루트 노드를 제외한 다른 모든 노드는 루트 노드로 512 바이트 패킷을 고정 시간 간격(CBR)으로 전송하며, 고정 시간 간격은 0.1 초, 1 초, 10 초, 20 초, 30 초, 40 초, 50 초, 60 초, 70 초, 80 초, 90 초, 100 초로 변경하여 다양한 트래픽 부하(load)에 대해 실험을 수행하였다.

제안된 라우팅 구성을 위한 트래픽을 줄이기 위한 방법의 효율성을 평가하기 위하여 각 노드가 받은 라우팅 경로 설정 패킷을 모으는 시간을 1초(group 1), 10초(group 10)로 설정한 경우와, 각 경우에 라우팅 경로 설정 패킷을 2개 먼저 전



(그림 8) 실험에서 사용한 50개의 노드 배치도

송하고 그 후에 라우팅 경로 설정 패킷을 1 초(group 1 with fast forward) 및 10초 기간(group 10 with fast forward) 동안 모아서 전송하는 경우에 대한 실험을 수행하였다.

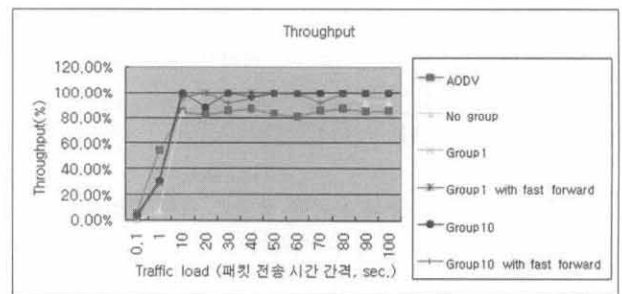
제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존의 AODV(Ad-hoc On-Demand Vector routing) 라우팅 알고리즘과 전송성공율(throughput) 및 종단 간 패킷 지연 시간(end-to-end delay)을 비교하였다[7]. 종단 간 패킷 지연 시간은 데이터 패킷의 생성 시간과 이 패킷이 목적지에 도착하는 시간의 차이로 구할 수 있다. 실험 결과로 제안된 알고리즘과 AODV 알고리즘의 전송성공율(throughput)과 종단 간 패킷 지연 시간을 각각 (그림 9)와 (그림 10)에 나타내었다. (그림 9)의 실험 결과에서 제안된 알고리즘이 기존의 AODV 알고리즘보다 전송성공율 성능이 향상되었음을 확인할 수 있으며, (그림 10)의 종단 간 패킷 지연 시간은 트래픽 부하(load)가 큰 경우에 제안된 알고리즘이 큰 값을 보이며, 트래픽 부하(load)가 작은 경우는 다른 알고리즘과 유사한 결과를 얻었다.

트래픽 부하(load)가 큰 경우에 제안된 알고리즘의 end-to-end 지연시간이 증가되는 이유는 다음과 같다.

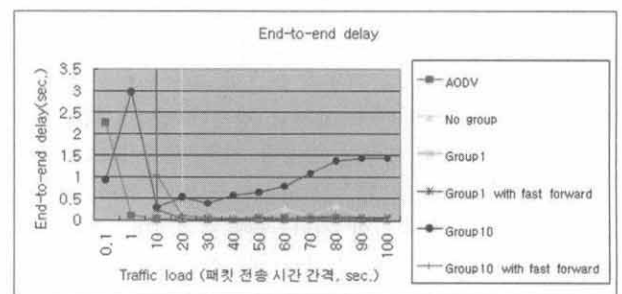
AODV 는 자료 전송을 실패한 경우 queue에 저장하거나 버리며 재전송을 시도하지 않는다. 반면, 제안된 방법은 전송에 실패한 경우 다른 대체 경로로 자료 전송을 계속 시도한다. 제안된 방법은 자료 전송 후 데이터 acknowledge를 기다리며, 데이터 acknowledge를 받지 못해 자료 전송에 실패한 경우 다른 후보 경로들로 다시 자료 전송을 시도한다. 트래픽 부하(load)가 큰 경우에는 패킷 손실(packet loss)이 많이 발생하게 되며, 노드가 상위 노드로 연결이 되어 있더라도, 데이터 자료 송신 acknowledge 를 받지 못하는 경우가 생겨서 다른 후보 노드로 재전송을 시도하는 과정을 반복하게 된다. 이에 따라 종단간 지연시간이 길어질 수 있다. 실제 구현 및 적용 예에서는 30분 ~ 몇 시간 이상 간격으로 노드가 트래픽을 생성하기 때문에, 실제로는 제안된 방법이

전송성공율(throughput)이 더 좋고, 종단간 지연시간도 문제가 되지 않을 것으로 예상된다. 대부분의 경우 제안된 알고리즘이 AODV 알고리즘보다 전송성공율이 20% 정도 좋은 결과를 얻어, 제안된 알고리즘의 자료 전송이 보다 신뢰성이 있음을 확인할 수 있다.

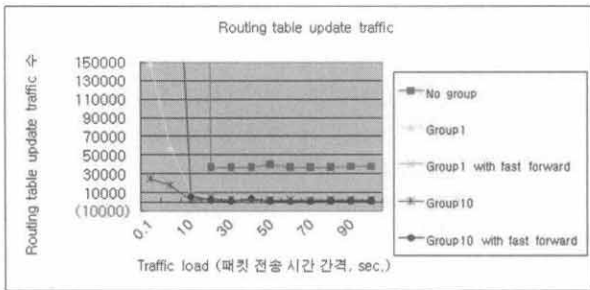
알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 라우팅 경로 설정을 위한 라우팅 테이블 update 트래픽의 수와 초기 라우팅 경로 설정 시간을 비교하여 각각 (그림 11)과 (그림 12)에 각각 나타내었다. 제안된 알고리즘들의 라우팅 테이블 update 트래픽의 수를 (그림 11) 비교하였으며, 라우팅 테이블 update 트래픽을 모으지 않는 경우보다 라우팅 테이블 update 트래픽을 모으는 경우에 라우팅 테이블 update 트래픽의 수가 월등히 작음을 알 수 있다. 전체 네트워크가 목적지 루트 노드에 연결되는 초기 네트워크 구성 시간의 실험 결과를 (그림 12)에 보였으며, 라우팅 테이블 update 트래픽을 모으는 경우보다 제안된 fast forward 방법을 사용하는 경우와 라우팅 테이블 update 트래픽을 모으지 않는 경우가 훨씬 빨리 초기 네트워크 구성이 되었다. 따라서, 제안된 알고리즘을 사용할 경우 라우팅 경로 설정을 위한 트래픽의 수가 작고 초기 라우팅 경로 설정 시간이 효과적으로 개선이 되었음을 알 수 있다. (그림 13(a))에 트래픽 전송 간격이 1초인 경우 노드의 join 시간 분포를 나타낸 그림이고, (그림 13(b))에 트래픽 전송 간격이 30초인 경우 노드의 join 시간 분포를 나타내었다. 실험 결과에서 group 을 사용하지 않는 경우와 fast forward 방법을 사용한 경우의 노드 join 시간이 fast forward 를 사용하지 않는 방법보다 join 시간이 월등히 작음을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 실험을 통하여 제안된 라우팅 알고리즘이 효율적으로 네트워크를 구성하고 패킷을 전달할 수 있음을 보였다.



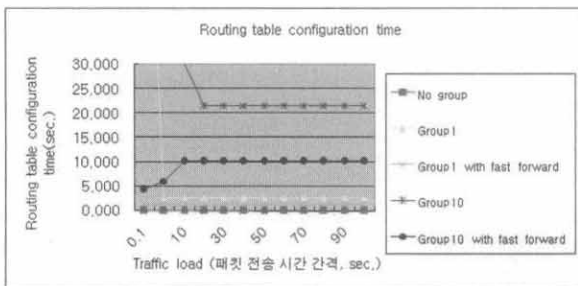
(그림 9) 제안된 알고리즘과 AODV 알고리즘의 전송성공율 비교



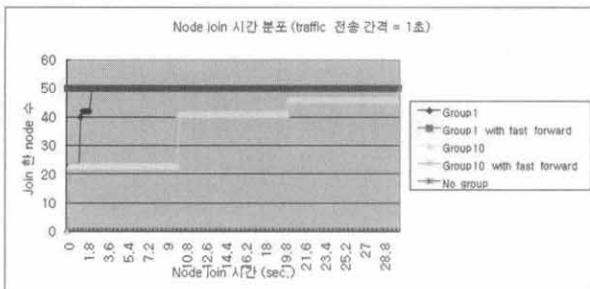
(그림 10) 제안된 알고리즘과 AODV 알고리즘의 종단 간 패킷 지연 시간 비교



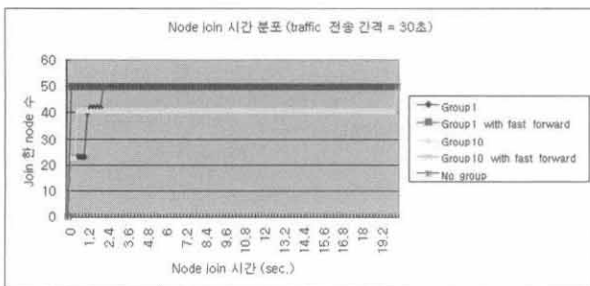
(그림 11) 제안된 알고리즘의 라우팅 테이블 update 트래픽 비교



(그림 12) 제안된 알고리즘의 초기 네트워크 구성 시간 비교



(a) 트래픽 전송 간격이 1초인 경우 노드의 join 시간 분포



(b) 트래픽 전송 간격이 30초인 경우 노드의 join 시간 분포

(그림 13) 노드의 join 시간 분포

### 5. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘에서 라우팅 구성을 위한 트래픽을 줄이기 위한 방법들을 제안하고, Qualnet 시뮬레이터와 C 언어를 이용하여 모델링하고 구현하였다. 제안된 알고리즘과 구조를 이용하여 라우팅 경로 설정에 필요한 트래픽을 줄이고, 네트워크 전체의 라우

팅 경로 설정 시간을 줄일 수 있다. 라우팅 트래픽을 줄이기 위하여 각 노드는 일정 기간 동안 라우팅 메시지를 모아서 그 결과를 한번만 전송하며, 네트워크의 경로 설정을 위한 시간을 줄이기 위하여 첫 몇 개의 라우팅 메시지는 즉시 전달하고 그 이후의 라우팅 메시지들은 일정 기간 동안 모아서 전달한다. 실험을 통하여 제안된 방법들이 라우팅 트래픽을 효과적으로 줄일 수 있음을 보였으며, 제안된 알고리즘은 라우팅 프로토콜의 효율성을 높일 수 있어 추후 인기에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] Wikipedia, List of ad hoc routing protocols, [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_ad\\_hoc\\_routing\\_protocols](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ad_hoc_routing_protocols).
- [2] Wireless Multi-Hop Routing, AWDS (Ad-hoc Wireless Distribution Service), <http://awds.berlios.de>.
- [3] Ching-Chuan Chiang, Hsiao-Kuang Wu, Winston Liu, Mario Gerla, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," IEEE Singapore International Conference on Networks, IEEE SICON'97, pp. 197-211, Singapore, 16.-17. April, 1997.
- [4] Yeng-Zhong Lee, Mario Gerla, Jason Chen, Jiwei Chen, Biao Zhou, Antonio Caruso, "Ad Hoc & Sensor Wireless Networks," Vol.2, No.2, 2006.
- [5] Dimitri P. Bertsekas, Robert G. Gallager, "Distributed Asynchronous Bellman-Ford Algorithm," Data Networks, pp.325-333, Prentice Hall, Englewood Cliffs, ISBN 0-13-196825-4, 1987.
- [6] C. E. Perkins, P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) for Mobile Computers," Proc. of the SIGCOMM 1994 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, pp.234-244, August, 1994.
- [7] Perkins, C.; Belding-Royer, E.; Das, S., Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF. RFC 3561, July, 2003.
- [8] S. Mandala, M. A. Ngadi, A.H. Abdullah and A.S Ismail, "A Variant of Merkle Signature Scheme to Protect AODV Routing Protocol, Recent Trends in Wireless and Mobile Networks," in Communications in Computer and Information Science (Springer), Vol.84, Part 1, pp.87-98, 2010.
- [9] Syed Rehan Afzal, Subir Biswas, Jong-bin Koh, Taqi Raza, Gunhee Lee, and Dong-kyoo Kim, "RSRP: A Robust Secure Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks," Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE, pp.2313-2318, March 31 2008-April 3 2008.
- [10] I. Chakeres AND C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand

Routing Protocol (DYMO)," Internet Draft, <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-dymo>, work in progress, RFC 4728, June, 2008.

- [11] Mesut Günes et al., "ARA - the ant-colony based routing algorithm for MANETs," In Stephan Olariu, editor, Proceedings of the 2002 ICPP Workshop on Ad Hoc Networks (IWAHN 2002), pp. 79-85, IEEE Computer Society Press, August, 2002.
- [12] M. Marina, S. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks," Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), pp. 14-23, IEEE Computer Society Press, 2001.
- [13] Scalable Network Technologies, <http://www.qualnet.com>.
- [14] 곽광훈, 이재기, "항만/야적장 적치 환경에 적합한 컨테이너 네트워크 라우팅 프로토콜: SAPDS(Simple Alternative Path Destined for Sink node)", 한국통신학회논문지 제36권 제6호 (네트워크 및 서비스), 2011년 6월.



### 최익성

e-mail : [pnk003@daum.net](mailto:pnk003@daum.net)  
 1992년 서강대학교 전자공학과(학사)  
 1994년 서강대학교 전자공학과(공학석사)  
 1999년 서강대학교 전자공학과(공학박사)  
 1999년~2005년 한국전자통신연구원 선임연구원

2007년~2008년 Maple Design Automation 이사/수석연구원  
 2011년~현 재 부산 동아대학교 미디어디바이스 연구센터  
 임시직 근무  
 관심분야: VLSI 설계자동화, 저전력 회로 설계, 네트워크 장비 설계, 소자 설계, VLSI testing, 컴퓨터 그래픽스, 컴퓨터 구조 등



### 곽광훈

e-mail : [paxpia@donga.ac.kr](mailto:paxpia@donga.ac.kr)  
 1989년 2월 부산대학교 전기공학과(공학사)  
 1999년 2월 포항공과대학교 정보통신공학과(공학석사)  
 2009년~현 재 동아대학교 항만물류시스템학과 박사과정

1989년~1999년 포스코, 포스테이타  
 2000년~2002년 i2Soft (연구소장)  
 2002년~2003년 한국전자통신연구원(선임연구원)  
 2005년~현 재 동아대학교 미디어디바이스연구센터 책임연구원 (U-Logistics팀장)  
 관심분야: WSN, IPv6, 유비쿼터스 네트워크, M2M/IOT, 퓨처인터넷



### 김근형

e-mail : [geunkim@deu.ac.kr](mailto:geunkim@deu.ac.kr)  
 1986년 서강대학교 전자공학과(학사)  
 1988년 서강대학교 전자공학과(공학석사)  
 2005년 포항공과대학교 컴퓨터공학과(공학박사)  
 1988년~1990년 LS 산전 연구소 연구원

1990년~1993년 삼성종합기술원 선임연구원  
 1996년~1997년 NIST Guest Researcher  
 1993년~2007년 8월 (주) KT BcN 본부 수석연구원  
 2007년 9월~현 재 동의대학교 영상정보공학과 조교수  
 관심분야: Mobile IPTV, 웹 기반 서비스 이동, P4P 스트리밍, Content Centric Network, 무선 네트워킹