

논문 2004-41TC-6-9

# 고정식 정보획득 노드로 구성된 센서 네트워크에 적용 가능한 에너지 밸런싱 저전력 라우팅 기법

(An Energy Balancing Low Power Routing Method for Sensor Network  
with Fixed Data Acquisition Nodes)

정 계 갑\*, 김 황 기\*\*, 이 남 일\*\*, 김 준 년\*

(Gye-Gab Jeong, Hwang-Gi Kim, Nam-Il Lee, and Jun-Nyun Kim)

## 요 약

반도체기술과 무선통신기술 그리고 센서기술의 비약적인 발전에 힘입어 검출기능, 프로세싱 기능, 무선통신기능, 배터리 등을 탑재한 초소형 저가의 정보취득 노드를 양산하는 것이 가능해지면서 센서 네트워크가 보편화되기 시작하였다. 센서 네트워크는 노드를 배치하는 것만으로 자체 라우팅 경로를 설정하고 의미 있는 데이터를 목적지 노드로 전송할 수 있는 자발적인 망이다. 센서 노드들은 대부분 배터리를 구동 전원으로 사용하기 때문에 저전력 동작이 중요하다. 센서 노드는 검출한 데이터를 목적지로 전송하는 역할과 다른 센서 노드들의 라우터 역할을 겸하고 있다. 많은 경우 센서 노드가 검출한 데이터를 전송하는 경우보다 라우터로서의 역할에 더 많은 에너지를 소비하기 때문에 저전력 라우팅은 무엇보다 중요하다. 센서 네트워크에서는 일반 무선 Ad-Hoc 네트워크와 같은 표준이 없기 때문에 본 논문에서는 센서 네트워크에 적용할 수 있는 전력 잔량에 따른 확률적 RREQ 폐기 방법을 적용한 저전력 라우팅 기법을 제안하고 모의실험을 통하여 결과를 전력 잔량에 따른 지연결과와 비교하여 살펴보았다. 실험 결과 제안 방법은 10-20% 정도 에너지 소모를 줄일 수 있었고 노드들 간에 에너지를 균등하게 소모하는 효과를 확인하였다.

## Abstract

Thanks to the development of microelectromechanical systems(MEMS), wireless communication technology and microsensor technology, it was possible to manufacture a very small and low cost data acquisition node with sensing function, processing function, wireless communication function and battery. Thus sensor networks begin to be prevailed. The sensor network is a spontaneous system which sets up automatically routing paths and transmits a significant data to the destination. Sensor nodes requires low-power operation because most of them use a battery as operating power. Sensor nodes transmit a sensing data to the destination. Moreover, they play a router. In fact, because the later consumes more energy than the former, the low-power routing is very important. Sensor networks don't have a routing standard unlike general wireless Ad-hoc networks. So This paper proposes a low-power routing method for applying to sensor networks. It is based on AODV and adapts a method to drop probably RREQ depending on remaining power. We examined it through simulations. From simulation results, we could confirm to reduce power consumption about 10-20% and distribute equally power consumption among nodes.

**Keywords :** Sensor Network, Ad-Hoc, Routing, AODV

## I. 서 론

반도체기술과 무선통신기술 그리고 센서기술의 비약

적인 발전에 힘입어 검출기능, 프로세싱 기능, 무선통신 기능, 배터리 등을 탑재한 초소형 저가의 정보 취득 노드를 양산하는 것이 가능해 졌다. 따라서 과거에는 고비용의 특수한 환경에만 적용되었던 무선 정보취득 시스템이 센서 네트워크라는 용어로 일반화되기 시작하였다. 무선 센서 네트워크의 큰 장점은 유선 센서 시스템들에 비해 유지관리 비용이 절감되고 사람이 근접하기

\* 정희원, \*\*학생회원, 중앙대학교 전자공학과 컴퓨터통신연구실 (Chung-Ang University)

※ 본 연구는 학국과학재단 목적기초연구(R-01-2001-000-00303-0(2002)) 지원으로 수행되었습니다.

접수일자: 2003년12월1일, 수정완료일: 2004년6월4일

어렵거나 위험한 장소에 센서 노드들을 배치하는 것만으로도 자체 라우팅 경로를 구축하여 필요한 정보들을 얻을 수 있는 데 있다. 센서 네트워크의 큰 특징은 기존 인프라를 사용하지 않고 무선 센서 노드들 사이에 통신 경로가 설정되고 네트워크가 유지된다는 점이다. 이동성이 없는 노드로 구성된 센서 네트워크의 노드들은 제한된 배터리 전력을 가지고 있기 때문에 장시간 센서 노드로서의 역할을 수행하기 위해서는 고용량의 배터리 사용과 더불어 배터리 사용 효율을 극대화할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 특히 이동이 없는 노드들은 이동을 전제로 한 라우팅 프로토콜보다 에너지 소모를 많이 줄일 수 있으며 이런 이동성이 없는 노드들은 토목구조물과 건설현장의 안전 또는 구조물 유지관리를 위한 분야에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 과거에는 건설이나 유지관리현장에 수백여 개 이상의 센서들을 유선으로 연결하여 데이터 취득업무를 수행하였으나 케이블 포설 및 유지관리 비용이 본연의 데이터 취득업무보다 크기 때문에 많은 부담이 되었다.

센서 네트워크의 출현은 UCLA와 Rockwell에서 검출, 프로세싱 그리고 무선통신 시스템을 하나의 소형 장치로 개발하는 프로젝트 WINS(Wireless Integrated Network Sensor)에서 시작되었다. WINS 개발 프로젝트는 전력 소모를 극소화할 수 있는 LWIM (Low-power Wireless Integrated Microsensor) 기술로 이루어졌으며 자발적인 네트워크 구성과 다중 홉 통신 기능을 가졌다. MEMS(Micro Electric Mechanical Sensor)에 기초를 둔 Smart-Dust 모니터링 센서는 수 밀리미터 크기의 주사위 형태로 기지국과는 빛을 이용하여 통신한다. 이 노드는 1 주울 미만의 에너지를 가지고 있으며 전력 소모는 수 마이크로 와트 수준이다. 수백 미터 거리에 수Kbps의 속도로 통신을 할 수 있다.

uAMPS(micro Adaptive Multi domain Power aware Sensor)는 전력 인지가능이 있는 노드와 노드 운영을 위한 소프트웨어 그리고 통신을 위한 프로토콜로 구성되어 있다. 전원 절약 모드를 위한 동적 전압 조정 기능과 소프트웨어를 통한 전원관리 기능을 가지고 있다. PicoRadio 프로젝트는 500uW 이하의 전력을 소모하는 다수의 노드로 네트워크를 구축할 수 있는 무선 디바이스 개발을 목표로 하였다. 이 기술은 무선 네트워크 기능 중 특히 물리 계층과 매체 접근 계층, 네트워크 계층의 최적화를 통하여 구현하였다.

센서 노드의 일반화를 위해서는 여러 업체들에서 생산된 제품들이 상호연동이 가능해야한다. 이런 목적을

위하여 IEEE802.15.4 Task Group에서 PHY 계층과 MAC 계층에 관한 표준화를 진행하고 있으나 MAC 상위 계층에 대한 표준화는 포함하지 않고 있다.

MANET(Mobile Ad-Hoc Network)에서는 무선 네트워크 라우팅 프로토콜로 AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)<sup>[1][2]</sup>, DSR(Dynamic Source Routing)<sup>[4][5]</sup>, DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)<sup>[3]</sup> 등을 제안하고 있다. 이 프로토콜들은 무선 노드들이 이동을 하면서 상호 통신을 수행하는 통신주체로서 역할과 다른 노드들을 위한 라우터 역할을 동시에 수행하는 것을 전제로 개발된 라우팅 기법들이다. MANET(Mobile Ad-Hoc Network)에서 제안한 라우팅 프로토콜들을 이동성이 없는 고정된 센서 노드에 그대로 적용할 경우 에너지 사용효율이 떨어진다. 센서 네트워크의 노드들은 배터리 구동유형으로 제한된 에너지를 가지고 있고 검출, 프로세싱, 전송 등 센서 노드 본연의 기능과 다른 노드들의 다중 홉 통신을 지원하기 위한 라우터로서 기능을 수행하여야 한다. 이런 기능을 장기간 안정적으로 수행하기 위해서는 에너지 관리 기능이 필수적이다. 또한, MANET(Mobile Ad-Hoc Network)에서 제안한 라우팅 기법들보다는 에너지 소모를 줄인 저전력 라우팅 기법이 필요하다.

본 논문의 구성은 II장에서는 센서 네트워크에 대해 살펴보고, III장에서는 대표적인 Ad-Hoc 라우팅 기법인 DSDV(Destination Sequence Distance Vector), DSR(Dynamic Source Routing), AODV(Ad-Hoc On-demand Distance Vector)에 대하여 살펴본다. IV장에서는 AODV 라우팅 기법을 기본으로 한 이동성이 없는 무선 센서 네트워크에 적합한 저전력 AODV 라우팅 기법을 제안한다. V장에서는 모의실험을 통하여 기존 방법들과 성능을 비교 분석하였으며 VI장에서 결론을 제시하였다.

## II. 센서 네트워크

센서 네트워크란 센서 노드들 상호 간에 통신을 할 수 있도록 자발적으로 구축된 네트워크를 의미하며 내부적으로는 네트워크를 설정하고 유지하는 과정이라 볼 수 있다. 이 과정에서 무엇보다 중요한 것이 저전력 노드 구조와 저전력 라우팅방법이다. 센서 네트워크의 Ad-Hoc 라우팅은 독자적인 네트워크 구축, 링크의 낮은 대역폭, 높은 에러 발생률, 버스트 에러 특성 등에서 기존 유선 환경과 큰 차이가 있다. 센서 노드의 특징은 자신이 통신 주체이면서 다른 노드들을 위한 라우터 역

할을 동시에 수행한다는 점이다. 대량 생산에 따른 소형 저가의 무선 통신기능을 탑재한 센서 노드는 특별한 유지관리가 필요하지 않다. 무선 전송거리는 수십 미터 이내이며 장시간 센서 노드로서 기능을 수행하기 위해서 저전력(<100uW)으로 작동이 되어야 한다. 센서 노드는 고속의 연산 기능이나 대용량의 메모리가 필요하지 않기 때문에 싱글 칩 형태의 주변기기들을 탑재한 ASIC(Application Specific IC)을 사용하게 된다. 센서 노드는 다수의 노드를 설치하여 중복된 검출을 하는 경우가 많기 때문에 개개의 노드의 비중이 상대적으로 작다. 노드의 중요한 기능은 검출된 데이터를 목적지까지 보내는 과정으로 데이터 중심의 통신이 이루어진다. 노드들은 외부에 노출되는 경우가 많기 때문에 보안에 취약하다는 단점이 있다. 센서 노드에 대한 전반적인 표준화 작업은 아직 미진한 상태이나 IEEE802.15.4 WPA N(Wireless personal Area Network)에서 MAC (Medium Access Control )계층에 대한 표준화를 진행하고 있다.

1. 센서 네트워크 전체 구조

센서 네트워크는 그림 1과 같이 무선 센서 노드들로 구성된 Ad-Hoc 네트워크와 데이터 관리 센터를 상호 연결하는 인프라 네트워크로 구성된다. 계측 대상지역에 설치된 센서 노드들은 상호 무선통신 네트워크로 연결되기 때문에 설치시 케이블 포설과 인건비 등 많은 비용을 절감할 수 있는 이점이 있다. 공사 현장 특성상 케이블이나 노드의 파손이 빈번하기 때문에 그에 따른 네트워크의 유지관리 비용도 유선 센서 시스템에 비해 크게 절감되고 네트워크의 운영이 쉽다는 장점이 있다. 데이터 관리 센터의 계측 관리 컴퓨터는 센서 노드들에게 검출 및 전송을 요구하고 결과를 취합하여 의미 있는 정보 형태로 보여줄 수 있다.

2. 센서 노드의 구조

센서 노드는 제어부, 통신부, 검출부, 전원부로 크게 나눌 수 있다. 노드 전체는 전력소모가 작고 각종 부가 기능이 하나의 칩 안에 구현된 ASIC(Application Specific IC) 형태의 단일 칩이 선호된다. 제어부의 중추적인 역할을 담당하는 MCU(Micro Control Unit)는 다양한 동작 모드(Active, Idle, Sleep)를 지원하며 내부에 ROM, RAM, Timer, I/O Port, ADC 등이 내장된 경우가 보편적이다. 또한, 제어부는 전력 인지기능이 있어 노드의 전력사정을 파악하고 전력 보유량에 따라 동작 속도와 무선출력의 세기 그리고 라우팅 방법 등을 다르

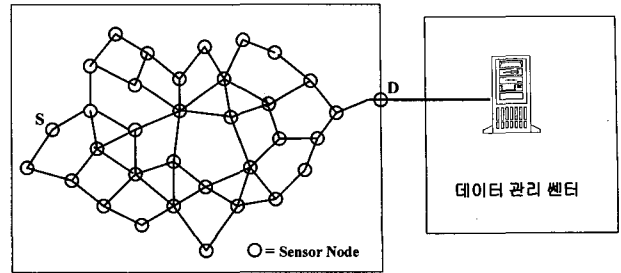


그림 1. 센서 네트워크 전체 모형  
Fig. 1. Sensor Network Structure.

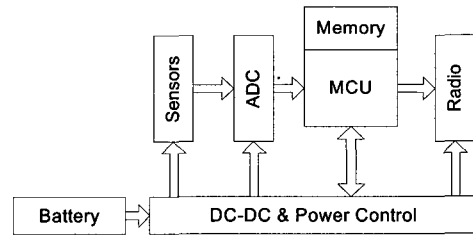


그림 2. 센서 노드 구조  
Fig. 2. Architecture of Sensor Node.

게 할 수도 있다. 전력 인지 라우팅은 라우팅 경로 설정 시에 에너지 잔량에 따라 적절한 경로를 선택할 수 있고 네트워크 전체를 봤을 때 전력 소모를 고르게 하여 네트워크의 수명을 늘리는 것이 가능하다<sup>[8][13]</sup>. 대부분의 센서 노드는 배터리에 의해 구동되며 짧게는 수 시간에서 길게는 수년이란 수명이 있다. 대부분 배터리 교환이 어려운 경우가 많기 때문에 저전력 설계, 동작, 라우팅이 아주 중요하다.

2. 다중 홉의 에너지 효율성

무선 매체는 거리에 따른 감쇠 효과가 아주 크기 때문에 단일 홉보다는 다중 홉 방식이 에너지 소모가 작다는 이점이 있다. 노드의 전력 소모 가운데 큰 비중을 차지하는 부분이 무선 송신전력이며 전파손실 L과 관련이 있다.

$$L = Const \times R^{\alpha}$$

여기서 R은 두 지점 간 거리이며  $\alpha$ 는 전파상수로서 이론상 자유공간 전파에 대하여 2 라는 값을 갖는다. 그러나 현실에서는 3이나 4의 값을 가진다. 일정한 수신 잡음 레벨에서 정확한 수신을 위하여 최소 수신전력  $P_{RXmin}$ 이 필요하다.

거리(R)의 1홉에 대한 송신전력은

$$P_{TX1} = P_{RXmin} \times Const \times R^{\alpha}$$

거리(R)가 N홉으로 이루어지면 개별 홉은

$$P_{TX1} = P_{RXmin} \times Const \times (R/N)^{\alpha}$$

여기서  $1/N$  인수는 1 보다 훨씬 작은 값이고 전체 홉 수  $N$ 을 곱하면  $N/N = N - 1$  된다. 수식에서 불균등한 홉 거리, 재전송, 페이딩, 채널의 특성 등 여러 가지 불리한 요소를 제외시켰다.  $\alpha = 3.5$  와  $N=16$  일 경우, 단일 홉의 경우와 비교하여 보면 노드 사이에 패킷 당 송신전력은 단일 홉에 비해 1024배로 줄어들게 된다. 다중 홉 통신은 송신 전력을 줄이는 것 이외에도 부가적으로 간섭을 경감시키고 각 노드들의 분산 처리 및 무선 매체 재사용 등 장점이 있다.

#### 4. 무선 Ad-Hoc 라우팅

무선 Ad-Hoc 라우팅 기법은 크게 나누어 테이블에 기반한 프로 액티브 구동방식과 요구기반인 리액티브 구동방식으로 나눌 수 있다. 프로 액티브 라우팅 기법은 모든 노드가 꾸준히 네트워크 전체 노드들의 상태를 갱신하여 가지고 있어야 하는 라우팅 기법으로 토폴로지 변화에 빠르게 적용할 수 있는 장점이 있으나 네트워크 관리를 위한 트래픽이 상대적으로 많아 링크 효율성 면에서는 불리한 면을 가지고 있다. 각각의 노드는 하나 또는 그 이상의 라우팅 정보를 보관하기 위한 테이블을 가지고 있으며 네트워크의 토폴로지 변화에 따라 꾸준히 라우팅 테이블을 갱신한다. 프로 액티브 방식은 네트워크 전체 노드가 네트워크 상황을 항상 파악하고 있어야 하므로 네트워크 트래픽 부담이 크고 각 노드의 라우팅 테이블이 수시로 변경되어야 하기 때문에 노드의 전력 소모도 크다는 단점이 있다. 그러나 데이터 전송 요구 시 빠른 대응을 할 수 있는 장점이 있다. 프로액티브 방식은 DSDV(Destination Sequence Distance Vector)를 예로 들 수 있다.

상대적으로 리액티브 방식은 네트워크 관리 차원에서 트래픽 부담은 줄고 전력을 효율적으로 사용할 수 있으나 전송 요구시 라우팅 경로를 설정해야 하기 때문에 반응이 느린 단점이 있다. 리액티브 방식은 DSR(Dynamic Source Routing), AODV(Ad-Hoc Distance Vector) 등이 있다. 그러나 빈번한 노드의 이동은 경로 유지를 어렵게 만들고 꾸준한 경로 설정을 요구하게 된다. 이 과정에서 전송되어야 할 데이터는 버퍼에 쌓이게 되며 전체적인 네트워크의 효율성을 악화시킨다.

### III. Ad-Hoc 라우팅

이동 Ad-Hoc 네트워크는 이동성을 가진 다수의 노드들에 의해 자율적으로 구성되는 네트워크로서 인프라

네트워크가 존재하지 않거나 인프라 네트워크에 기반한 네트워크의 구축이 어려운 상황에서 임시로 네트워크를 구성하기 위한 목적으로 연구되어 왔다. 그림 3은 Ad-Hoc 네트워크의 예로 무선 인터페이스를 사용하여 이동 노드들 간에 Peer-to-Peer 통신을 수행하는 모습을 보여준다. Ad-Hoc 라우팅이란 인프라 네트워크나 액세스 포인트 없이 무선 이동 노드들로 구성된 네트워크에 적용되는 라우팅 기법이다. 노드들을 현장에 설치하고 전원을 인가시키는 것만으로 자발적인 네트워크를 구축할 수 있다. 기본적으로 다중 홉 통신을 수행하기 때문에 모든 이동 노드들은 라우터 역할을 노드의 기본 기능과 병행하여 수행하여야 한다.

이동 Ad-Hoc 네트워크는 초기에는 군사적인 목적에서 연구가 시작되었으나 앞으로 다양한 응용 분야로 적용이 예상된다. 예상 사용 용도는 긴급구조, 재난, 전쟁, 홉 네트워크, 백화점, 임시작업현장, 사무실, 센서 네트워크 등이다. 또한, 이동 Ad-Hoc 네트워크 기술은 홈 네트워킹이나 센서 네트워크, PAN(Personal Area Network) 등의 응용분야로 적용이 가능하며 차세대 네트워킹 방식의 하나로서 자리를 잡아가고 있다. 그러나 아직까지 우리 실생활에 응용되어 실용화된 경우는 드문 실정이다.

이동 Ad-Hoc 네트워크 기술이 다양한 응용 분야에 실제 적용되기 위해서는 라우팅 프로토콜에 대한 연구뿐만 아니라 무선 접속 기술, 응용 계층 기술에 이르기까지 다양한 분야에 걸친 연구가 필요하다.

이동 Ad-Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜은 이동 Ad-Hoc 노드들 간의 통신 경로 설정을 가능하게 하는 기술로 이동 Ad-Hoc 네트워크의 핵심 기능이다. 이동 Ad-Hoc 네트워크 라우팅 프로토콜에 대한 본격적인 연구는 1997년에 구성된 IETF MANET (Mobile Ad-Hoc Network) 작업 그룹을 중심으로 표준화 작업이 진행되면서부터이다. IETF MANET 작업 그룹 내에서는 AODV 라우팅 프로토콜이 가장 먼저 표준으로 자리 잡아가고 있으며, DSR, ZRP 등에 대한 연구도 진행 중이다.

#### 1. DSDV

DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)는 유선 네트워크에서 사용되고 있는 Bellman-Ford 라우팅 방식인 DV(Distance Vector)에 기초하고 있으며 DV라우팅 기법에 목적지 순차 번호(Destination Sequence Number)를 추가하여 토폴로지 변화에 의한 라

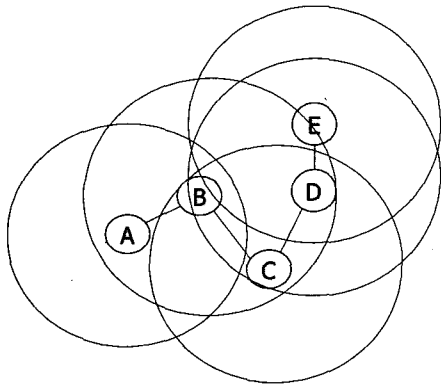


그림 3. Ad-Hoc 무선 통신 네트워크  
Fig. 3. Wireless Ad-Hoc Communication Network.

우팅 루프의 발생을 방지하고 있다. 각 노드는 다른 모든 노드로 향한 경로 정보를 라우팅 테이블에 유지하고 있다. 라우팅 테이블의 갱신은 Full Dump와 Incremental Dump 형태로 이루어진다. Full Dump는 노드 자신이 가진 모든 라우팅 정보를 이웃 노드로 브로드캐스트하는 방식으로 갱신할 라우팅 정보가 많을 경우에 사용한다. 반면에 Incremental Dump는 라우팅 정보의 변경이 있을 경우에 새로 변경된 라우팅 정보만을 브로드캐스트하는 방식이다. 각 노드가 유지하고 있는 경로 정보는 [Destination Address, Metric, Sequence Number, Next Hop]의 형태를 가지고 있으며 이 중에서 [Destination Address, Metric, Sequence Number] 정보는 Full/Incremental Dump를 통해 이웃 노드로 브로드캐스트된다. 순차 번호는 새로운 라우팅 정보의 생성시와 갱신시에 증가된다.

## 2. DSR

DSR(Dynamic Source Routing) 라우팅 프로토콜은 Source Routing에 기반한 On-demand 라우팅 프로토콜이다. 이 DSR은 카네기 멜론 대학의 Monarch (Mobile Networking Architecture) 프로젝트에서 제안된 방법으로 주기적인 라우팅 패킷이 없기 때문에 대역폭의 낭비를 줄일 수 있다. DSR 프로토콜은 데이터를 보내는 노드가 목적지까지 경로를 패킷 헤더에 지정하여 보내는 방식이다. 이 방식의 장점은 테이블 구동 방식과는 다르게 주기적으로 경로를 전파하는 과정이 없다. 그리고 이동성이 있는 노드들에게도 쉽게 적용하여 동적인 네트워크 변화에 적응할 수 있으며 양방향과 단방향 링크를 모두 지원할 수 있다.

DSR 네트워크에서 모든 노드들은 라우터 역할을 수행하며 목적지까지 경로를 보관하기 위한 라우팅 테이블

을 갖는다. DSR 프로토콜의 동작은 경로설정 단계와 유지단계로 구분할 수 있다. 경로설정 과정은 목적지에 대하여 처음 데이터 전송이 이루어질 때 수행되며 유지 단계는 설정된 경로를 네트워크의 변화에 적응할 수 있도록 하는 단계이다.

경로발견 단계는 소스가 목적지를 찾기 위하여 인접한 노드들에게 RREQ(Route Request Packet) 패킷을 전송하면서 시작된다. 이 RREQ 패킷은 소스 주소, 목적지 주소, 요구 식별자, 경로 레코드 등을 포함한다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 자신이 목적지가 아닌 경우 즉, 중간 라우터 역할을 수행하는 노드인 경우, 수신한 RREQ 패킷의 소스 주소와 요구 식별자를 확인하여 과거에 수신한 경력이 있거나 수신한 RREQ 패킷의 경로 레코드에 자신의 주소가 이미 있는지 확인하고 있는 경우에는 RREQ를 폐기하고 없는 경우 자신의 주소를 RREQ 패킷의 경로 레코드에 추가하여 RREQ 패킷을 다시 이웃한 다른 노드에 브로드캐스트한다. RREQ 패킷을 수신한 중간 노드가 목적지 노드는 아니지만 목적지까지 경로 정보를 자신의 경로 캐시에 저장하고 있는 경우에는 목적 노드까지 경로 정보를 RREP(Route Reply) 패킷에 추가하여 소스 노드로 전달한다. RREQ를 수신한 노드가 목적지인 경우 수신한 RREQ의 경로 레코드에 자신의 주소를 추가하고 이 경로 레코드를 역순으로 하여 RREP 패킷에 복사한 후 소스 노드로 전송한다. 단방향 링크인 경우는 RREP 패킷은 처음 RREQ 패킷과 같은 브로드캐스트 과정을 밟아 소스 노드를 찾아가게 된다.

## 3. AODV

AODV(Ad-Hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜은 1999년에 노키아 연구 센터에 C. Perkins에 의해서 제안된 방안이다. 이 라우팅 프로토콜은 기본적으로 Table-driven 알고리즘인 DSDV와 On-demand 알고리즘인 DSR의 장점을 혼합한 프로토콜이다. AODV는 DSDV와 같이 목적지 순차 번호를 사용하여 라우팅 루프를 방지하며 DSR과 유사한 경로 탐색 절차를 사용한다. 경로 탐색이 필요한 경우 RREQ 패킷이 생성되어 이웃 노드로 브로드캐스트되며 목적 노드로의 경로 정보를 가진 중간 노드 또는 목적 노드가 RREQ 패킷을 수신하면 RREP 패킷으로 응답한다.

중간 노드가 목적 노드로의 경로 정보를 가지고 있지 않을 경우 RREQ 패킷을 이웃 노드로 다시 브로드캐스트한다. RREP 패킷은 RREQ 패킷이 전달된 경로의 반

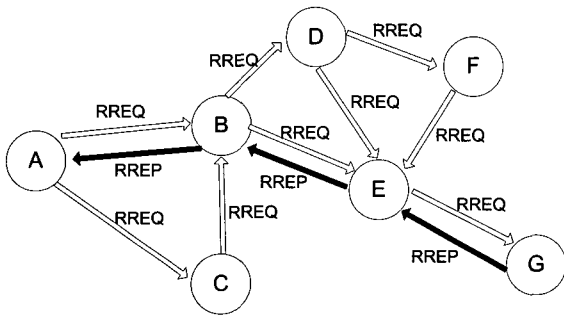


그림 4. AODV 경로 발견 동작  
Fig. 4. AODV Route Discover.

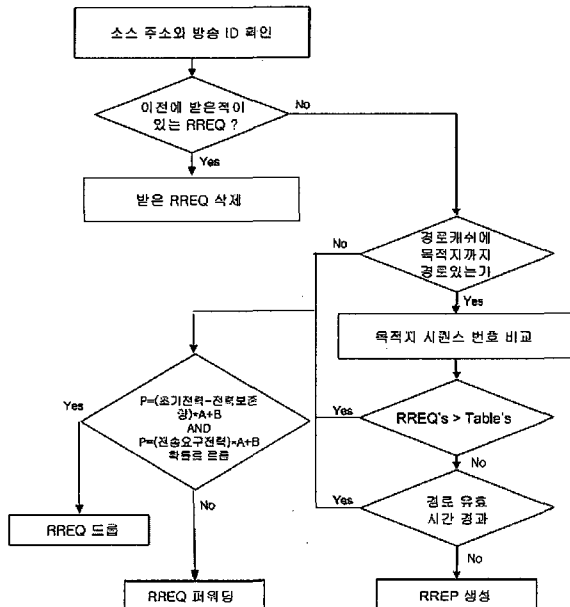


그림 5. 에너지에 따른 확률 폐기 라우팅 흐름도  
Fig. 5. The Flow of Stochastic Drop Routing by Energy.

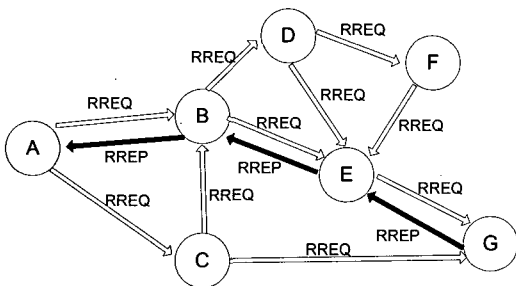


그림 6. 저전력 에너지 라우팅 동작  
Fig. 6. The Operation of Low Power Routing.

대 방향으로 유니캐스트된다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 역방향 경로 정보를 생성하여 저장하며 RREP 패킷을 수신한 노드는 순방향 경로 정보를 생성하여 저장한다. 하나의 노드가 동일한 RREQ 패킷을 중복 수신한 경우 최초로 수신된 것만 사용한다. 경로 내의 특정 링크에서 오류가 발생한 경우 지역적인 경로 재탐색 절차를 수행하거나 또는 RERR 패킷을 생성한 후 소스 노

드로 전달하여 소스 노드가 경로 재탐색 절차를 수행하게 한다. RERR 패킷을 수신한 모든 노드는 오류가 발생한 링크와 관련된 경로 정보를 자신의 경로 테이블에서 삭제한다.

AODV는 앞에서 언급한 바와 같이 기본적으로 경로 정보 관리는 DSDV와 유사한 방식을 따르고 경로를 획득하는 절차는 DSR과 유사한 방식을 따른다. AODV에서 사용하는 패킷의 종류는 DSR과 같고 요구 기반 알고리즘을 사용하기 때문에 같은 AODV는 DSR과 같은 형태의 프로토콜로 분류될 수 있다.

#### IV. 제안한 저전력 라우팅 방법

##### 1. 에너지 잔량에 따른 경로 선택 알고리즘

노드가 자신의 에너지 잔량과 이웃 노드로 패킷을 보내기 위하여 요구되는 에너지를 알고 있는 경우에는 에너지 효율적인 라우팅이 가능하다. 본 논문에서는 노드의 에너지 잔량을 경로 설정에 반영할 수 있는 방법을 제안하였다. AODV에서 경로 발견은 먼저 도착한 RREQ 패킷에 대하여 우선 순위가 주어지기 때문에 RREQ 패킷을 지연시키거나 또는 폐기시킴으로써 자신이 새로 발견된 경로에 포함될 가능성을 낮추는 것이 가능하다. 경로 발견 과정에서 경로 중간에 있는 노드들은 자신의 에너지 잔량에 비례하여 지연 시간을 거쳐 RREQ 패킷을 재 브로드캐스트 하거나 또는 에너지 잔량과 관련이 있는 확률 값으로 폐기시킨다. 따라서 동일한 홉 수를 가진 경우라도 에너지 잔량이 큰 쪽의 경로가 선택될 가능성이 높게 된다. 적용은 각각의 노드가 경로 발견 단계에서 수신한 RREQ 패킷을 재 브로드캐스트할때 에너지 보유량과 전송시 필요한 에너지를 고려하여 에너지 잔량이나 전송시 요구되는 전력과 관련된 지연시간이나 폐기 확률을 줌으로써 에너지 효율적인 라우팅 구현이 가능하다.

##### 2. 제안된 알고리즘 동작

소스는 RREQ 패킷 전송 후 일정 시간 동안 RREP 패킷을 기다린다. 그림 5에서 RREQ 패킷을 수신한 중간 노드는 자신의 라우팅 테이블에 해당 목적지 항목이 있고 그리고 해당 항목의 목적지 시퀀스 번호가 RREQ 패킷의 시퀀스번호 값보다 작지 않으면 RREP 패킷으로 응답하고 그렇지 않으면나중에 받게 될 RREP 패킷을 소스로 되돌려 주기 위해 소스 방향 역방향 경로를 저장하고 에너지 보존량에 따른 확률적 폐기를 적용한

후 폐기되지 않은 RREQ를 재 브로드캐스트한다. 그림 6에서 노드 C는 자신의 전력 보존량이 작기 때문에 비교적 높은 확률 P로 RREQ 패킷을 폐기하게 되고 따라서 노드 C에서 목적지 G로 가는 경로는 선택되지 않는 경우를 그림으로 보여준다.

$$P = (\text{초기전력} - \text{전력보존량}) \times A + B$$

$$P = (\text{전송요구전력}) \times A + B$$

(A, B = 에너지 확률변환상수)

### V. 모의 실험 및 결과

모의실험은 물리적으로 구현된 실험 장비를 가지고 수행할 경우 비용, 현장배치, 노드 구현 등 현실적으로 어려움이 크기 때문에 컴퓨터에 의한 모의실험을 하였다. 본 논문에서는 NS-2 소프트웨어 시뮬레이터를 사용하였다<sup>[11][12]</sup>. NS-2는 다양한운영체제에서 동작 가능한 유무선 통신 네트워크 모의실험에 적합하도록 구성된 디스크리트 이벤트 시뮬레이터이다.

#### 1. 시나리오 1

On 상태 진입 후 전송 지연 시간이 0, 1.5\*Rand(), 3\*Rand()인 세 가지 경우에 대하여 경로 유효 시간을 기본 값인 6 Sec로 설정하고 에너지 잔량에 따른 RREQ 전달 지연 ((초기E-현재E)/100)을 적용하여 모의실험을 수행하였다. 에너지 소모 특성, RREQ 트래픽 발생 개수 등을 지연을 적용하지 않은 결과와 비교 분석하는 것을 목표로 하였다.

#### 2. 시나리오 2

모의실험은 AODV 와 제안된 저전력 AODV 라우팅 프로토콜에 대하여 에너지 잔량에 따른 확률적 폐기를 적용하여 시간 흐름에 따른 평균 에너지 소모, 에너지 소모 표준 편차, RREQ 누적 발생 수를 모의실험을 수행하고 결과를 상호 비교 분석하는 것을 목표로 하였다. 시나리오에서 사용된 파라미터들은 표 1과 같다. 노드가 ON 상태에 진입하고 전송을 개시하기 전에 세 가지 지연 시간 0, 1.5\*Rand(), 3\*Rand()을 거치는 경우에 대하여 확률 값  $P = (\text{초기E} - \text{현재E}) / (\text{초기E} * 80 + 10)$ 로 RREQ를 폐기하는 경우를 모의실험 하였다. 경로유효 시간은 기본 값인 6Sec로 설정하였다.

### 3. 공통 파라미터

표 1. 시나리오에서 사용된 파라미터

Table 1. Parameters.

영역	50m X 1500m (한 개 공구의 지하철 건설구간 크기)
전송거리	50m(IEEE802.11b)
노드 수	300
모의실험 시간	36000Sec
이동 속도	0/s
대역폭	2Mbps
UDP 연결 수	30
UDP 패킷 크기	4byte(일시)+2byte(센서ID)+3byte(Data)
UDP 패킷 레이트	360초마다 발생

### 4. 모의실험 결과

#### (1) 시나리오 1

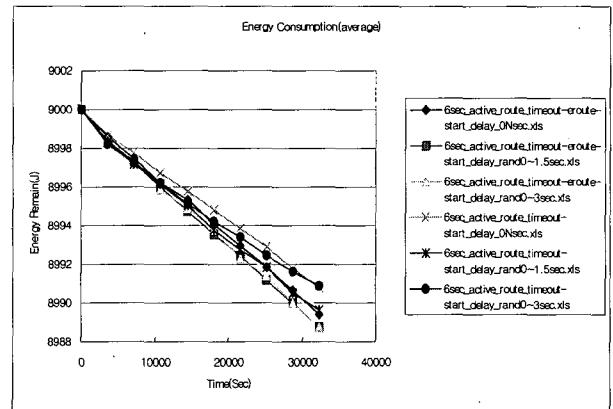


그림 7. 에너지 잔량에 따른 지연 라우팅 에너지 소모 특성(평균)

Fig. 7 Energy Consumption of Delay Routing by Energy Left(Avg).

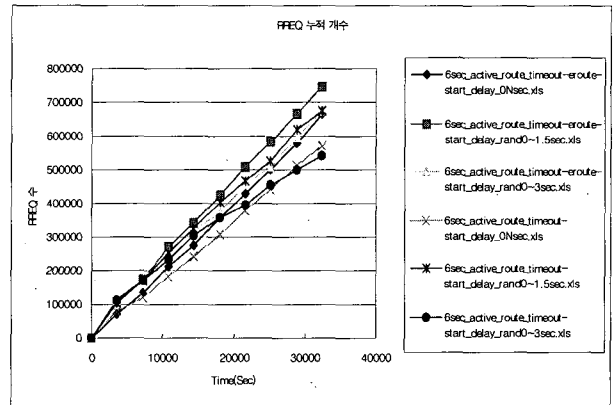


그림 8. 에너지 잔량에 따른 지연 라우팅 RREQ 발생 누적 개수

Fig. 8. Accumulated Sum of RREQ in Delay Routing by Energy Left.

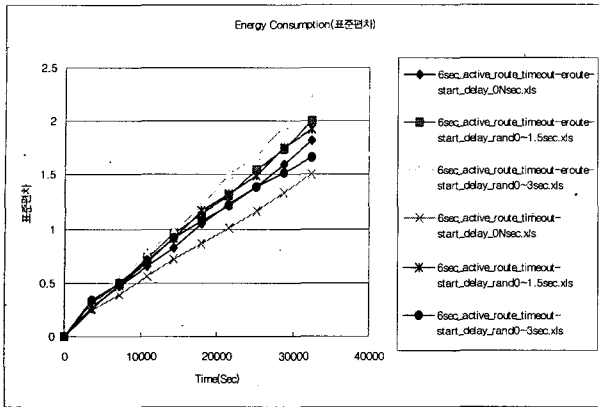


그림 9. 에너지 잔량에 따른 지연 라우팅 에너지 소모 표준편차  
 Fig. 9. Energy Consumption Standard Deviation of Delay Routing by Energy Left

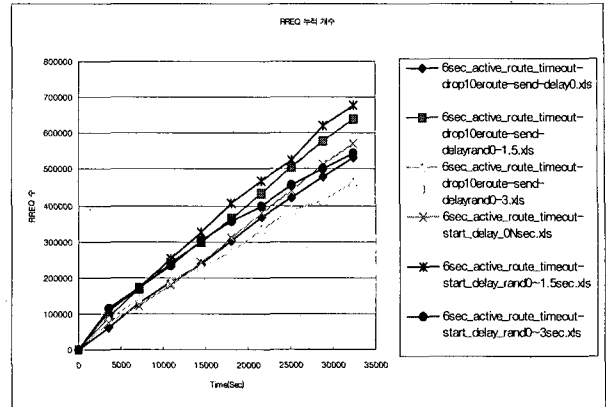


그림 12. 에너지 잔량에 따른 확률 DROP 라우팅 에너지 소모 표준편차  
 Fig. 12. Energy Consumption Standard Deviation of Stochastic RREQ Drop Routing by Energy Left.

(2) 시나리오 2

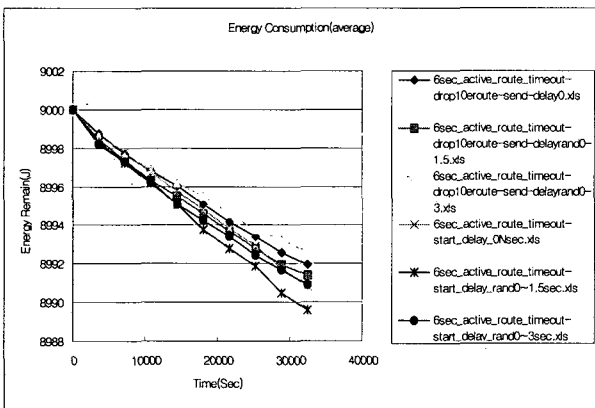


그림 10. 에너지 잔량에 따른 확률 DROP 라우팅 에너지 소모 특성(평균)  
 Fig. 10. Energy Consumption of Stochastic RREQ Drop Routing by Energy Left (Avg).

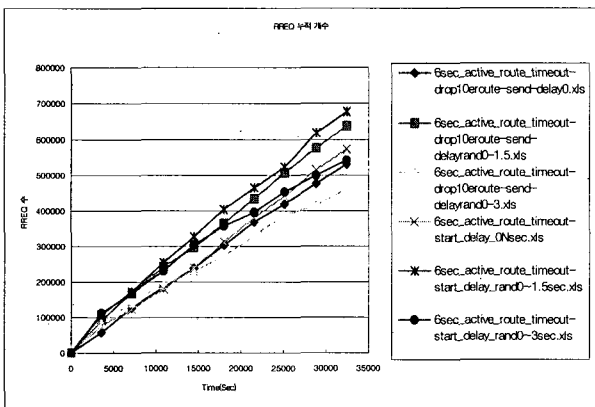


그림 11. 에너지 잔량에 따른 확률 DROP 라우팅 RREQ 발생 누적 개수  
 Fig. 11. Accumulated Sum of RREQ in Stochastic RREQ Drop Routing by Energy Left.

VI. 결 론

1. 요약

본 논문에서는 이동성이 없는 고정식 센서 노드들에 대하여 AODV 및 제안한 저전력 AODV에 대하여 NS-2 모의실험 툴을 사용하여 가상 실험을 수행하였다.

시나리오 1은 AODV 라우팅 과정이 RREQ가 도착한 순서에 따라 경로가 설정된다는 점에서 착안하여 노드의 에너지 상태에 따라서 RREQ 전달을 지연 시키는 라우팅 기법을 모의실험한 것이다. 모의실험을 수행한 결과 고정식 센서네트워크의 특성이 데이터 트래픽이 적기 때문에 기대와는 달리 저조한 특성을 보였다. 이유는 지연된 RREQ 패키트가 브로드캐스트 속성을 가지고 있기 때문에 수신 가능한 모든 노드들이 내용을 파악해서 버리기까지 과정이 필요하고 또한, 신규로 RREQ 패키트를 수신한 노드는 받은 RREQ패킷을 재 브로드캐스트하는 과정이 수반되기 때문이다. 실험 결과는 수신한 RREQ 패키트를 재 브로드캐스트하는 시기가 네트워크에 트래픽이 많아진 시기와 일치하기 때문에 오히려 더 불리한 결과를 보였다.

On 지연 0, 1.5\*Rand(), 3\*Rand() 순서로 다음과 결과를 얻을 수 있었다.

- 에너지 소모 : 15.6%, 8.7%, 23.5 에너지 소모 증가
- RREQ 누적 발생 수 : 16.8%, 10.5%, 24.2% 증가
- 에너지 소모 표준 편차 : 0.32, 0.07, 0.55씩 증가

시나리오 2는 On 상태 진입 후 전송 지연 시간이 0,



1.5\*Rand(), 3\*Rand()인 경우에 대하여 경로 유효 시간은 기본 값인 6Sec로 설정하고 에너지 잔량에 따른 RREQ 패킷의 확률적 폐기를 적용하여 에너지 소모 특성, 경로 발견 트래픽 발생 개수 등을 모의실험을 수행하고 결과를 폐기를 적용하지 않은 경우와 비교 분석하는 것을 목표로 하였다. 실험 결과 전반적으로 에너지에 따른 RREQ 확률적 폐기를 적용한 경우가 에너지 소모가 작다는 것을 알 수 있었는데 이는 RREQ가 폐기되기 때문에 망에 RREQ가 폭발적으로 증가되는 것을 예방하고 에너지 잔량이 작은 노드가 발견된 라우팅 경로에 포함될 가능성이 줄어들기 때문이다.

On 지연 0, 1.5\*Rand(), 3\*Rand() 순서로 다음과 같은 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

에너지 소모 : 11.9%, 16.8%, 18.4 에너지 소모 감소  
RREQ 누적 발생 수 : 6.7%, 5.7%, 14.6% 감소  
에너지 소모 표준 편차 : 0.09, 0.35, 0.25씩 감소

## 2. 향후 과제

향후 연구과제로는 확률적인 폐기 방법에서 확률을 계산하는 방법에 이웃 노드의 에너지 상태나 과거 RREQ 폐기 자료 등을 활용하는 방법을 연구중이다.

## 참 고 문 헌

- [1] C. Perkins, "Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing," Internet draft, draft-ietf-manet-aodv-00.txt.
- [2] C.E. Perkins and E.M.Royer, "Ad-hoc On Demand Distance Vector Routing," Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, LA, February 1999, pages 90-100.
- [3] C.E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers", Computer Communications Review, pages 234-244, October 1994.
- [4] D.B. Johnson, D.A. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks", IETF Draft, October 1999, <http://www.ietf.org/ID.html>.
- [5] David B. Johnson and David A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networks," Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, pages 153-181, 1996
- [6] Haas Z.J. and Pearlman M.R., The Zone Routing Protocol(ZRP) for Ad-Hoc Networks, Internet draft - Mobile Ad-Hoc NETworking (MANET) Working Group of the Internet Engineering Task Force (IETF), November 1997.
- [7] IEEE 802 Group-Part 11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) Layers Specifications", 1999 Edition.
- [8] L. Feeney, "An energy consumption model for performance analysis of routing protocols for mobile Ad-Hoc networks," ACM Journal of Mobile Networks and Applications, vol. 6, pp. 239-49, 2001.
- [9] Sung-Ju Lee and Mario Gerla, "A Simulation Study of Table-Driven and On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks," IEEE Network, pages 48-54, July/August 1999.
- [10] Suresh Singh, C.S. Raghavendra and James Step anek, "Power-Aware Broadcasting in Mobile Ad-Hoc Networks," Proceedings of IEEE PIMR C'99, Osaka, Japan, September 1999.
- [11] The Network Simulator ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [12] The ns Manual(formerly ns Notes and Documentation), The VINT Project, A Collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC., October 29, 2003.
- [13] T.M. Trung and S.-L. Kim, "Implementation of an Energy-Efficient Routing Protocol: Time Delay On-Demand Routing Algorithm (TDOR)," submitted to IEEE Vehicular Technology Conference Fall, Orlando, FL, 2003.

저 자 소 개



정 계 갑(정회원)  
 1989년 중앙대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1993년 중앙대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2004년 중앙대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

<주관심분야: Mobile IP, Ad-Hoc Network, Sensor Network>



이 남 일(학생회원)  
 2003년 중앙대학교 전자전기공학부  
 학사 졸업.  
 2004년 중앙대학교 전자전기공학부  
 석사 과정.

<주관심분야: Sensor Network, Multimedia QoS>



김 황 기(학생회원)  
 1998년 서울산업대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 2000년 연세대학교 공학대학원  
 졸업  
 2004년 중앙대학교 전자전기공학부  
 박사 과정.

<주관심분야: Sensor Network, Ad-Hoc Network>



김 준 년(정회원)  
 1978년 서울대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1986년 아이오와 주립대 컴퓨터공학  
 석사 졸업.  
 1987년 아이오와 주립대 컴퓨터공학  
 박사 졸업.

<주관심분야: 네트워크 성능분석, Multimedia QoS, 표준화>