

논문 2008-1-5

# 모바일 Ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 안정된 경로의 Life-Time을 지원하기 위한 엔트로피 기반의 라우팅 프로토콜

## An Entropy-Based Routing Protocol for Supporting Stable Route Life-Time in Mobile Ad-hoc Wireless Sensor Networks

안병구\*, 이주상\*\*

Beong Ku An\*, Joo Sang Lee\*\*

### 요 약

본 논문에서는 모바일 ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 안정된 경로의 설정 및 설정된 경로의 lifetime 을 효과적으로 지원하기 위한 엔트로피 기반의 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 아이디어 및 특징은 다음과 같다. 첫째, 모바일 노드들의 이동성 정보를 이용한 엔트로피 기반의 안정된 경로 설정. 둘째, 기존의 센서 네트워크는 주로 고정된 노드 환경에서 많은 연구가 되어 왔지만, 본 연구에서는 노드들의 이동성을 고려한 환경에서 연구가 이루어진다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 사용한 시뮬레이션과 분석을 통하여 이루어졌다. 성능평가를 통하여 제안한 라우팅 프로토콜은 모바일 ad-hoc 무선 센서 네트워크 하에서 안정된 경로의 설정 및 경로의 lifetime을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

### Abstract

In this paper, we propose an entropy-based routing protocol to effectively support both stable route construction and route lifetime in Mobile Ad-hoc Wireless Sensor Networks (MAWSN). The basic idea and feature of the proposed routing protocol are as follows. First, we construct the stable routing routes based on entropy concept using mobility of mobile nodes. Second, we consider a realistic approach, in the points of view of the MAWSN, based on mobile sensor nodes as well as fixed sensor nodes in sensor fields while the conventional research for sensor networks focus on mainly fixed sensor nodes. The performance evaluation of the proposed routing protocol is performed via simulation using OPNET(Optimized Network Engineering Tool) and analysis. The results of the performance evaluation show that the proposed routing protocol can efficiently support both the construction of stable route and route lifetime in mobile ad-hoc wireless networks.

**Key Words** : Network life-time, Diversity, Route stability, Ad-hoc networks, Sensor networks

\*중신회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

\*\*정회원, 홍익대학교 전자전산공학과

접수일자 2007.11.15, 수정완료 2008.1.28

## I. 서 론

모바일 ad-hoc 센서 네트워크는 민간과 군사 응용을 위한 긴급한 통신망 설립을 허용하는 중요한 기술이다. 협동, 분산 모바일 컴퓨팅(센서, 회의, 교실 등) 에서부터 재난복구(홍수, 화재, 지진) 범집행(군중제어, 수색과 구조), 그리고 전술적인 통신(디지털 전장) 에까지 이른다. 기존의 네트워크에서 사용되고 있는 RIP(Routing Information Protocol) 또는 OSPF(Open Shortest Path First) 와 같은 인터넷 라우팅 프로토콜들이 유동성이 적은 안정된 네트워크 환경에서 주기적인 라우팅 테이블 관리로 동작하므로 주기적인 메시지의 교환이 요구되어 대역폭의 낭비가 심하고 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하지 못하므로 이를 그대로 모바일 ad-hoc 센서 네트워크에 적용하기에는 많은 오버헤드가 생기는 문제점이 있다. 본 논문은 다음처럼 구성되어 있다. I 장 서론에 이어 II 장 관련연구에서는 모바일 ad-hoc 센서네트워크와 AODV 라우팅 프로토콜 그리고 DSR 라우팅 프로토콜의 특성과 문제점에 대해 살펴보고 III 장에서는 그에 따른 제안된 라우팅 프로토콜 및 구조에 대해 설명하고, IV 장에서는 엔트로피와 제안된 라우팅 프로토콜의 이론적인 분석에 대하여 설명을 한다. V 장에서는 시뮬레이션 환경과 결과 값에 대하여 설명하고 마지막으로 VI 장에서는 본 논문의 결과와 향후과제에 대해 살펴보고 결론을 맺도록 한다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 모바일 ad-hoc 무선 센서 네트워크와 AODV 라우팅 프로토콜 그리고 DSR 라우팅 프로토콜에 대해 간략히 알아보고 문제점에 대해 설명한다.

모바일 ad-hoc 네트워크는 고정된 라우터가 없이 모든 노드들이 이동 할 수 있으며 임의의 방법

으로 동적으로 접속할 수 있다. 이러한 네트워크의 노드들은 라우터로서 네트워크 내의 다른 노드로의 라우팅 경로를 찾아내고 유지하는 기능을 한다. 또한 모바일 ad-hoc 네트워크를 위한 다양한 프로토콜들이 개발되고 개발되어 왔으며, 높은 전력소비, 낮은 대역폭, 높은 에러율을 다룰 수 있어야 한다[3,4].

모바일 ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 안정하게 데이터를 전송하기 위해서는 일정한 시간동안 경로가 안정되게 유지 되어야할 뿐만 아니라 그 경로 상에 있는 노드들은 충분한 전력을 유지 하고 있어야 한다[1].

AODV[5]는 경로 설정을 할 때 사용자의 요청이 있을 시에만 경로 탐색을 한다. 이로 인해 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있으나 항상 경로를 유지 하고 있는 것이 아니기 때문에 그에 따른 지연이 발생하는 문제점이 있다.

DSR은 On-Demand 방식의 대표적인 프로토콜로서 기본적으로 소스 라우팅의 알고리즘을 사용한다. 소스 라우팅을 DSR에서 사용함으로써 출발지 이동 단말은 경로가 필요할 때, 경로 획득절차를 수행하여 얻은 경로를 데이터 헤더에 추가하여 전송한다[6,7]. 소스 노드가 목적지 노드로의 경로를 모두 알고 있어 소스에서 목적지로 전송되는 모든 데이터를 헤더에 그 경로를 포함하고 있어서 복잡한 경로를 가진 경우에는 전송되는 패킷의 데이터 보다 헤더가 더 많을 수도 있는 문제점을 가지고 있다.

## III. 제안된 엔트로피 기반 라우팅 프로토콜

모바일 ad-hoc 센서 네트워크에서 소스(source) 노드와 목적지(destination) 노드 사이에 여러 개의 경로가 존재할 때 경로 안정도(route stability)가 가장 높은 경로 즉, 가장 안정적인 lifetime을 가진 경로를 찾는 데 모바일 노드의 이동성 정보를 이용

한 엔트로피[2]기반 라우팅 방법을 제안 사용한다.

### 3.1 제안된 라우팅 프로토콜

**step1** : 소스노드에서 REQUEST 메시지를 이웃노드로 브로드캐스트(broadcast) 한다. 이때 REQUEST 메시지는 소스노드 ID 및 이동성 정보와 그리고 목적지노드 ID 정보를 저장하고 있다.

**step2** : 소스노드에서 보낸 REQUEST 메시지를 이웃노드가 받았을 때 REQUEST-TABLE (이하 REQT) 을 만드는데 REQT에는 이전노드 ID 및 이동성 정보와 자신의 ID 및 이동성정보를 저장하고 브로드캐스트 하게 되며 목적지 노드에 도착할 때까지 반복 수행 한다.

**step3** : 목적지 노드가 REQUEST 메시지를 수신하면 REPLY 메시지를 생성하고 이전노드로 전송 한다. REPLY 메시지 안에는 목적지 노드 ID 및 이동성정보 그리고 소스노드 ID 와 이동성정보를 저장 하고 있으며 REPLY message를 보내면서 식(4)에서 설명된 것처럼 엔트로피를 계산한다.

**step4** : 엔트로피 계산은 목적지 노드에서 REPLY 메시지를 브로드캐스트 하면 REPLY 메시지를 받은 노드가 소스노드의 이동성 정보와 자신의 이동성정보 그리고 REQT 에 저장되어 있는 다음 노드의 이동성 정보를 가지고 식(4)에서처럼 엔트로피를 계산한다. 엔트로피 계산은 REPLY 메시지가 소스 노드에 도착할 때까지 반복 수행한다. 엔트로피 계산방법은 n과 m 그리고 p 라는 세 노드가 탐색된 경로위에 노드 m 을 중심으로 서로 이웃하게 있을 때 m노드에 대한 엔트로피를 구하고자할 때 m의 이웃노드인 n과 p 노드와의 상대 속도를 식(2)를 사용하여 구한다. 상대속도를 구하는 방법은 m과 n의 상대 속도,m과 m의 상대 속도, m과 p의 상대 속도를 구한다. 세 노드의 이동 방향이 같다면 상대속도는 0이 되며, 각각 다른 방향으로 움직

인다고 했을 때 같은 선상에서(즉, x축 또는 y축)놓고 계산을 해야 하고 상대 속도가 나왔다면 step5를 수행한다.

**step5** : 경로의 안정도를 측정 하여 어느 경로가 가장 안정적인지를 정량적으로 측정 하는데 본 논문 4이론적 분석의 4.1 엔트로피의 식(5) 와 식(6)번을 사용한다. 식(5)는 각 노드마다 엔트로피를 계산하여 곱하여 1에 가까울수록 경로의 안정성이 좋은 것이고 0에 가까울수록 경로의 안정성이 떨어지는 것이다. 식(6)은 엔트로피를 계산 하였을 때 최소값 경로를 찾아 사용한다. 이러한 경로안정도의 정량적인 값은 각 노드의 REPLY-TABLE (REPT)에 저장된다. 어떤 노드에서 목적지 노드로 향하는 경로가 하나 이상일 때 그 노드의 REPT 에 그 노드로부터 목적지 노드에 이르는 경로의 안정도에 대한 정량적인 값이 저장된다. 그리고 이 값들은 그 노드에서 경로의 설정에 사용된다.

**step6** : 경로설정이 끝난 후 소스노드는 데이터를 설정된 경로위로 목적지 노드를 향해 전송 한다. 그로 인해 데이터 수신률 그리고 경로 및 네트워크의 lifetime이 효과적으로 향상 된다.

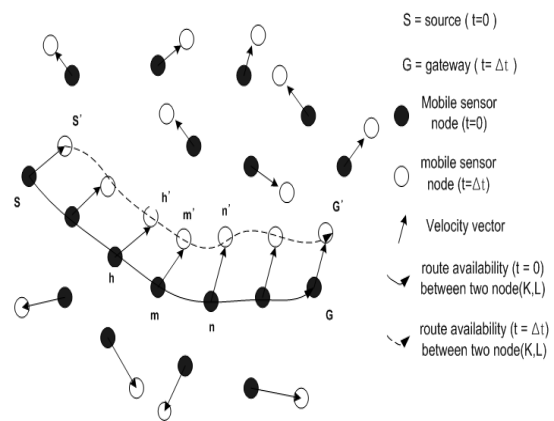


그림 1. 이동성 정보를 이용한 엔트로피 기반의 경로설정의 기본 개념  
Fig. 1 The basic concept of Entropy-based route construction

#### IV. 이론적 분석

##### 4.1 이동성 정보를 이용한 엔트로피 기반의 경로 설정 방법

엔트로피 기반 경로 안정성 모델에 대한 내용은 다음 논문[2]에 잘 설명되어 있다. 본 논문에서는 이러한 모델링을 이용한 라우팅 경로를 설정하는 과정에서 간략하게 설명한다. 모바일 ad-hoc 네트워크를 고려하고 모바일 노드  $m$ 의 인근 노드의 수  $M_m$  등으로 표현한다. 노드  $n$ 이 노드  $m$ 의 이웃이라고 나타내어진 다양한 특징의 집합  $S_m$ 으로 각각의 노드  $m$ 을 연관 지을 수 있다. 여기서, 두 개의 노드가 한 홉으로 도달할 경우 두 노드는 이웃한 노드로 간주한다. 그리고 이 특징은  $a_{m,n}$ 은 두 노드 사이에 일정한 상대 속도를 나타낸다. 시스템의 변화는 일정 시간 동안 ( $\Delta_t$ ) 특정한 특징의 값의 변화로 나타낸다.

$$a_{m,n}(t) \rightarrow a_{m,n}(t + \Delta_t) \quad (1)$$

시간  $t$ 에서 노드  $m$ 의 속도는  $v(m, t)$ , 그리고 노드  $n$ 의 속도는  $v(n, t)$ 에 의해 표시 된다. 그리고  $v(n, t)$ 는 속도와 방향을 나타내는 두 개의 파라미터를 가지고 있다. 시간  $t$ 에서 노드  $m$ 과  $n$  사이의 상대 속도  $v(m, n, t)$ 는 아래와 같이 정의 된다.

$$v(m, n, t) = v(m, t) - v(n, t) \quad (2)$$

여기서, 어떤 시간간격 동안 두 노드 ( $m, n$ ) 사이에 노드의 상대속도는 상대적인 평균 속도로 정의된다. 앞에서 언급된 바와 같이 고려된 다양한 특징 값  $a_{(m,n)}$ 은 두 노드 사이의 상대적인 이동성을 나타낸다.

$$a_{(m,n)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v(m, n, t_i) \quad (3)$$

여기서,  $N$ 은 시간 간격 내에 다른 인근 노드에 계 계산하여 전달될 수 있는 속도 정보 의 연속적인 시간의 수이다. 이를 바탕으로 일정 시간 간격 동안에 노드  $m$ 에서 엔트로피  $H_m(t, \Delta_t)$ 를 정의할 수 있다. 엔트로피는 노드  $m$ 의 전체 이웃 범위 내 또는 인근 노드의 어떠한 부분집합으로 정의될 수 있다. 일반적으로 노드  $m$ 에서 엔트로피  $H_m(t, \Delta_t)$ 는 아래와 같이 계산 된다.

$$H_m(t, \Delta_t) = \frac{- \sum_{k \in F_m} p_k(t, \Delta_t) \log p_k(t, \Delta_t)}{\log C(F_m)} \quad (4)$$

where

$$P_k(t, \Delta_t) = \frac{a_{m,k}}{\sum_{i \in F_m} a_{m,i}}$$

노드  $m$ 의 이웃 노드의 집합은  $F_m$ 의해 정의할 수 있으며, 집합의 크기 정도는  $C(F_m)$ 로 나타낼 수 있다. 노드  $m$ 에 대한 네트워크 안정성을 산출하는 경우,  $F_m$ 은 모바일 노드  $m$ 의 이웃 노드를 포함한 집합을 포함하지만, 특정 경로의 부분의 안정성을 계산하기 위해서는  $F_m$ 은 경로 상의 모바일 노드  $m$ 의 이웃하는 두 노드로 표현된다. 앞에서 본바와 같은 관계로부터, 엔트로피  $H_m(t, \Delta_t)$ 는  $0 \leq H_m(t, \Delta_t) \leq 1$  범위 내에서 정규화 된다. 다음은, 경로 안정도를 평가하기 위해 모델 프레임워크를 어떻게 적용할 것인지를 설명한다. 중간 노드간의 링크로 표시되는 지역적 경로에서  $H_m(t, \Delta_t)$ 이 작으면 불안정하고, 반면에  $H_m(t, \Delta_t)$ 가 크면 지역적 경로는 안정적이다. 그러나 모바일 ad-hoc 네트워크에서 일반적으로 근원지와 목적지 사이의 경로는 중간 노드(홉)을 경유할 수 있다.

일정 시간 간격  $\Delta_t$  동안에 노드  $S$ 와  $G$  사이의 경로 안정성  $r = RS_{s,g}(t, \Delta_t)$ 을 보여 준다.

식(5)의  $r^1 = RS^1_{s,g}(t, \Delta_t)$  과 식 (6)의  $r^2 = RS^2_{s,g}(t, \Delta_t)$  에 의해 정의되는 종단 간 (즉, 소스 노드와 목적지 노드 사이의) 경로 안정성을 산정함으로써 두 가지 다른 측면에서 경로 안정성을 평가하고 정의할 수 있다.

$$r^1 = RS^1_{s,g}(t, \Delta_t) = \prod_{i=1}^{N_r} [H_i(t, \Delta_t)] \quad (5)$$

$$r^2 = RS^2_{s,g}(t, \Delta_t) = \min [H_i(t, \Delta_t)] \quad (6)$$

여기서  $N_r$ 은 두 개의 종단 노드 ( $s, g$ )사이 경로 상에 존재하는 중간 모바일 노드의 수를 의미한다. 파라미터는  $r^1(r^2)$  는 경로 가용성과 안정성을 측정하는 데 사용 될 수 있다. 즉 다시 말하면,  $r^1(r^2)$ 이 클 경우 일정한 시간 간격  $\Delta_t$  동안에 존재하는 가용 경로는 안정적이며, 반면에  $r^1(r^2)$ 이 작으면 하나의 가용 경로가 존재하여도 경로는 불안정 하다.

## V. 성능 평가

### 5.1 시뮬레이션 환경 및 파라미터 값들

실험을 수행하기 위한 환경 및 파라미터 값들은 다음과 같다.

표. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Network Size	1 km x 1 km
No. of Mobile Node	50
Random Mobility	speed : 0~80km/h
	direction : 0~2π
Random Time Interval	5sec
Radio Range	250m

### 5.2 시뮬레이션 결과

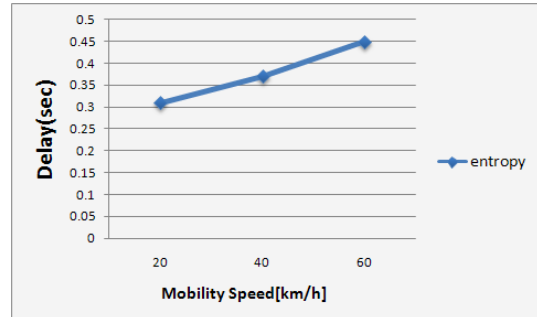


그림 2. 시간지연/경로설정  
Fig. 2 delay/route\_setup

그림 2는, 경로 형성에 요구되는 지연 시간을 나타낸다. 경로를 형성할 때 노드들의 이동성이 증가함에 따라서 경로 형성을 위한 REQUEST, REPLY의 횟수가 증가함으로 경로 형성에 요구되는 지연시간이 증가함을 볼 수 있다.

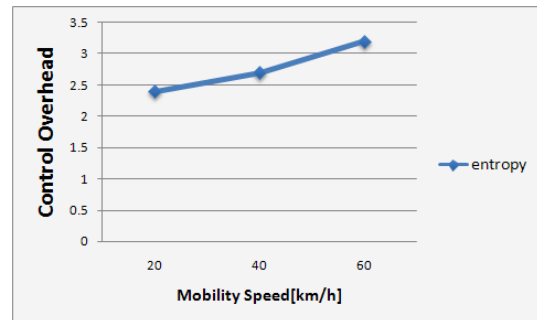


그림 3. 컨트롤 오버헤드/경로설정/노드  
Fig. 3 Control overhead/route\_setup/node

그림 3은, 경로를 형성하기 위해서 요구되는 노드 당 컨트롤 오버헤드(Control overhead)를 나타내며 노드 이동성이 증가함에 따라서 REQUEST 및 REPLY의 횟수가 증가함으로 컨트롤 오버헤드가 증가함을 볼 수 있다.

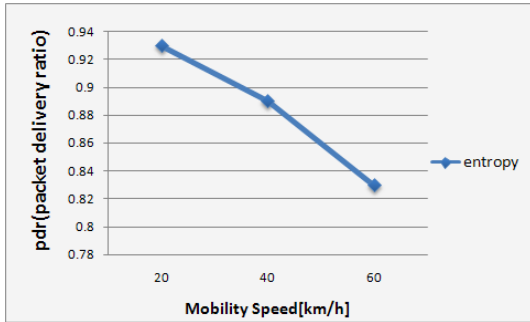


그림 4. 패킷 전달효율  
Fig. 4 Packet delivery ratio

그림 4는 데이터 전송률(pdr, packet delivery ratio)을 나타낸다. 그림 5에서 보는 것처럼 노드들의 이동성 정보를 사용하여 안정된 경로 위로 데이터를 전송함으로써 랜덤 모빌리티(random mobility) 상에서 비교적 높은 전송률(pdr)을 나타내고 있음을 보여준다.

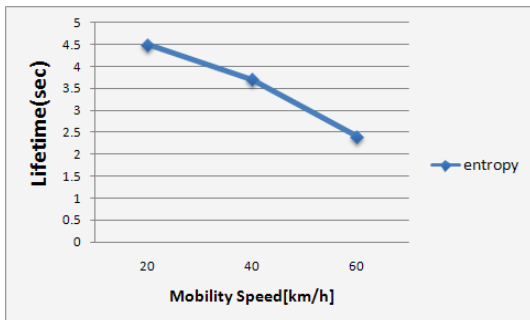


그림 5. 경로 생존시간  
Fig. 5 Route Life-Time

그림 5는 경로의 생존시간(Route Life-Time)을 나타낸다. 그림 6에서 보는 것처럼 노드들의 이동성이 증가함에 따라서 경로 생존시간이 감소하는 것을 볼 수 있다.

마지막으로 그림 4와 5에서 보는 것처럼 그림 5에서 경로 lifetime이 줄어들면서 그림 4의 데이터 전송률이 감소하는 것을 볼 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 모바일 ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 안정된 경로의 설정 및 설정된 경로의 lifetime을 효과적으로 지원하여 데이터 전송효율을 향상시키기 위한 엔트로피 기반의 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 아이디어 및 특징은 다음과 같다. 첫째, 소스노드와 목적지 노드 사이의 안정된 라우팅 경로의 설정이다. 본 연구에서는 모바일 노드들의 이동성 정보를 이용한 엔트로피 기반의 안정된 경로 설정방법을 제안 사용한다. 둘째, 기존의 센서 네트워크는 주로 고정된 노드 환경에서 많은 연구가 되어 왔지만, 본 연구에서는 노드들의 이동성을 고려한 환경에서 연구가 이루어진다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 OPNET을 사용하여 이루어졌으며 성능평가를 통하여 제안한 프로토콜은 안정된 경로의 설정 및 데이터 전송효율을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 현재까지 진행된 내용은 랜덤 이동성(random mobility)을 가진 노드들로 구성된 네트워크 환경에서 연구가 이루어졌으나 실제적으로 본 논문에서 제안된 방법이 가장 효과적으로 응용 적용될 수 있는 그룹 이동성(group mobility)를 가진 노드들로 구성된 네트워크에서의 연구가 현재 진행 중에 있으며, 그 결과는 랜덤 이동성 환경에서 보다 많은 향상이 있는 성능평가 결과를 기대한다.

## 참고 문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci Gorgia Institute of Technology, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine August 2002.
- [2] Beoungku An and Symeon Papavassiliou, "An Entropy-Based Model for Supporting and Evaluating Route Stability in mobile ad hoc Wireless Networks," IEEE Communication

- LETTERS, vol .6, no. 8, August 2002.
- [3] Elizabeth m, Chai-Keong Toh, "A Review of Current Routing protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communication April 1999.
- [4] Sachin, Dharma P. Agrawal "Distributed mobility-Aware Route Selection for Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of the Performance, Computing, and Communications Conference, 2002. on 21st IEEE International.
- [5] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceeding of the second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, New Orleans, February 1999.
- [6] D. Johnson and D. Maltz, Y. Hu "Dynamic Source Routing for Mobile Ad-hoc Networks," IETF MANET Working Group, Internet Draft, work in progress, July 2004.
- [7] D.B. Johnson and D.A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad-hoc Wireless Networks," Mobile Computing, vol. 353, Kluwer Academic, 1996.

※ Acknolodgement: 이 논문은 2006학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

저 자 소 개



안병구(중신회원)

- 1988년: 경북대학교 전자공학 (BS),
- 1996년:(미)Polytechnic Univ. Dept. of Electrical & Computer Eng.(MS),
- 2002년:(미)New Jersey Institute of Technology(NJIT), Dept. of

Electrical & Computer Eng. (Ph.D),

- 1990년-1994년:포항산업과학기술연구(RIST), 선임연구원,
- 1998년-2002년:Lecturer, New Jersey Institute of Technology(NJIT). USA,
- 2003년-현재: 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수,
- 2005-2007: Marquis Who's Who in Science and Engineering (세계과학기술 인명사전) 등재,
- 2006-2008: Marquis Who's Who in the World (세계인명사전) 등재

<관심분야:Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Multicast Routing Protocols Mobility Management, QoS, Location-Based Technology>



이주상(정회원)

- 2006년 홍익대학교 컴퓨터정보통신 공학과 졸업 (학사)
- 2008년 홍익대학교 전자전산공학과 졸업 (석사)
- 2008년 현재 홍익대학교 전자전산공학과 박사과정 재학중

<주관심분야 : Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Routing, Cooperative Communication>