

# 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 트리 라우팅 프로토콜

정희원 황 소 영\*, 진 광 자\*\*, 신 창 섭\*, 김 봉 수\*

## Energy-aware Tree Routing Protocol for Wireless Sensor Networks

Soyoung Hwang\*, Gwang-Ja Jin\*\*, Changsub Shin\*, Bongsoo Kim\* *Regular Members*

### 요 약

에너지 효율성과 신뢰성을 설계의 기본 요소로 하여 센서 네트워크를 위한 다양한 라우팅 프로토콜이 제시되었다. 본 논문은 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 트리 라우팅 방법에 관한 것이다. 제안한 기법은 데이터 전달 경로를 노드의 에너지 잔량을 고려하여 선정하게 함으로써 노드의 에너지 소진을 분산시켜 네트워크의 수명을 향상시키고, 상위 부모 노드로 데이터 전달에 실패하였을 경우 우회할 수 있는 후보 부모 정보에서 새로운 부모를 선택하여 데이터를 전달함으로써 데이터 전달의 신뢰성을 제공한다. 제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 PARSEC 기반 시뮬레이션 환경을 구성하여 기존의 트리 라우팅과 성능을 비교하였으며, 제안한 기법이 트리 라우팅에 비해 네트워크 수명에 있어 23.5% 개선된 결과를 보인다.

**Key Words** : Sensor networks, Energy efficiency, Routing protocol, Network lifetime

### ABSTRACT

Many routing protocols have been proposed for sensor networks where energy awareness and reliability are essential design issues. This paper proposes an Energy-aware Tree Routing Protocol (ETRP) for Wireless Sensor Networks. The proposed scheme relates to reliable and energy efficient data routing by selecting a data transmission path in consideration of residual energy at each node to disperse energy consumption across the networks and reliably transmit the data through a detour path when there is link or node failure. Simulation results show that the proposed method outperformed traditional Tree Routing (TR) by 23.5% in network lifetime.

### I. 서 론

센서 네트워크는 센싱 기능과 계산처리, 무선 통신 능력을 가진 센서 노드와 싱크 노드로 구성된 무선 네트워크로 정의된다. 이러한 센서 네트워크는 산업 전반에 걸쳐 활용될 수 있으며, 대표적인 응용

분야로 군사, 환경, 디지털 홈, 지능형 빌딩, 의료 분야, 물류 관리 및 텔레메틱스 등이 있다. 이러한 센서 네트워크 응용 분야는 그 동작에 있어 공통적인 특성을 가지고 있는데, 이는 센서 노드가 감지한 실제 데이터에 해당하는 소스로부터 데이터를 수집하는 싱크 노드까지 데이터 전달이 이루어져야 한

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2005-S-038-02 UHF RF-ID 및 Ubiquitous 네트워크 기술 개발]

\* 한국전자통신연구원 RFID/USN연구본부 USN네트워크연구팀 (soyoung@etri.re.kr, shincs@etri.re.kr, bskim@etri.re.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 텔레메틱스연구부 측위시스템연구팀 (gjin@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2008-02-108, 접수일자 : 2008년 2월 27일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 23일

다는 것이다. 그 과정에서 센서 노드들은 기존에 미리 설치된 네트워크의 이용 없이 스스로 애드 혹 네트워크를 구성하여 싱크 노드에 데이터를 전송한다<sup>1,2,3)</sup>.

이러한 데이터 전달 과정은 공통적으로 다음의 요구 사항을 만족시킬 수 있도록 개발되어야 한다. 첫째로 저전력 설계로 센서 노드 수명 최대화가 필요하다. 센서 노드가 설치되는 장소는 물리적인 접근이 불편하거나 용이하지 않은 곳이 많기 때문에 배터리를 사람이 손으로 교체한다든지 충전하는 방법은 현실적이지 않으므로 최대한 전력 소모가 적게 설계하여 센서 노드의 수명을 최대화 하여야 한다. 둘째로 네트워크 토폴로지 변화의 수용 및 해결 능력이 요구된다. 센서 필드에 배치되는 센서 노드들은 인터넷과 같은 고정된 인프라 네트워크에 직접 연결되는 것이 아니라 자동 구성이 가능한 애드 혹 네트워크를 형성한 후 내부에서 통신하며, 인터넷과 같은 외부로의 통신은 게이트웨이 역할을 하는 싱크 노드를 통하게 된다. 센서 노드가 이동을 하거나 고장이 나거나 새로운 노드들이 추가적으로 배치되는 등의 상황에 의해서 네트워크 토폴로지는 항상 변할 수 있는 소지가 있다. 이러한 변화를 적절히 받아들여 해결할 수 있는 능력이 요구된다.

이와 같이 에너지 효율성과 신뢰성을 설계의 기본 요소로 하여 센서 네트워크를 위한 다양한 라우팅 프로토콜이 제시되었다. Directed Diffusion (DD<sup>4)</sup>)은 소스로부터 싱크에 데이터를 전달하는 대표적인 라우팅 프로토콜 중 하나이다. DD는 Interest, Gradient, Data transmission과 Reinforcement라는 4가지 단계를 통해 소스와 싱크간 최적의 라우팅 경로를 찾아낸다. DD는 구해진 최적의 경로를 통해 데이터 전달을 수행하게 되는데, 해당 경로를 통한 데이터 전달이 지속적으로 이루어지므로 이 경로에 속한 센서 노드의 에너지가 집중적으로 소모된다는 단점이 있다.

DD의 단점을 보완하기 위해 제안된 프로토콜로 Energy Aware Routing (EAR<sup>5)</sup>)이 있다. EAR은 데이터 전달을 위해 선택되는 중계 노드를 임의 선정하게 함으로써 노드의 에너지 소모를 네트워크 전체로 균일하게 이루어지도록 하였다. 그러나, EAR도 이웃노드의 에너지 정보를 갱신하지 않기 때문에 에너지 효율성에 있어 한계를 가지고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 에너지 효율성뿐만 아니라 신뢰성있는 데이터 전달 또한 센서 네트워크 라우팅의 주요 이슈이다. 데이터 전달의 신뢰성을 보

장하기 위해 소스와 싱크간 다중경로를 설정하는 기법<sup>6)</sup> 및 불안정한 경로를 통한 데이터의 재전송을 줄이는 기법<sup>7)</sup> 등이 제시되었다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 트리 라우팅 프로토콜을 제시한다. 제안한 기법은 신뢰성과 에너지 효율성을 고려한 소스와 싱크간 데이터 전달 기법으로 노드의 에너지 잔량을 고려하여 데이터 전달 노드를 선정함으로써 노드의 에너지 소모를 분산시켜 네트워크의 수명을 개선하고, 노드 혹은 링크 결함시 우회할 수 있는 노드를 돕으로써 데이터 전달의 신뢰성을 향상시킨다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안하는 라우팅 프로토콜에 대해 기술하고, III장에서 제안한 기법의 성능을 분석한다. 마지막 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 에너지 효율성을 고려한 트리 라우팅 프로토콜

본 장에서는 논문에서 제안하는 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 트리 라우팅 프로토콜 (ETRP: Energy-aware Tree Routing Protocol)에 대해 기술한다. 제안하는 라우팅 방법은 (a) 싱크 노드로부터 각 센서 노드까지 트리 토폴로지 기반의 경로 설정 단계와 (b) 형성된 트리 토폴로지 기반 경로를 통해 소스 노드로부터 싱크 노드까지 신뢰성 및 에너지 효율성을 고려한 데이터 전달 단계 및 (c) 노드의 에너지 잔량을 고려한 경로 관리 단계를 포함하며 다음의 동작 환경을 가정한다.

- 모든 노드는 유일한 주소를 갖는다.
- 네트워크는 하나의 싱크 노드와 데이터를 생성하는 다수의 센서 노드로 구성된다.
- 모든 노드는 동일한 전송 거리를 갖는다.
- 센서 네트워크의 수명은 노드가 가진 에너지를 모두 소진하는 첫번째 노드가 나타나기까지 걸리는 시간이다<sup>5,6)</sup>.

### 2.1 경로 설정

경로 설정 단계에서는 싱크 노드로부터 시작하여 계층적인 트리 구조가 형성되고, 네트워크의 수명과 노드 혹은 링크 결함을 관리하기 위한 후보 부모 리스트를 생성한다. 그림 1은 경로 설정 방법이 수행된 무선 센서 네트워크를 예시한 것이다.

루트 노드에 해당하는 싱크 노드는 자신의 레벨을 0으로 설정하고, 자신의 주소와 레벨을 포함한

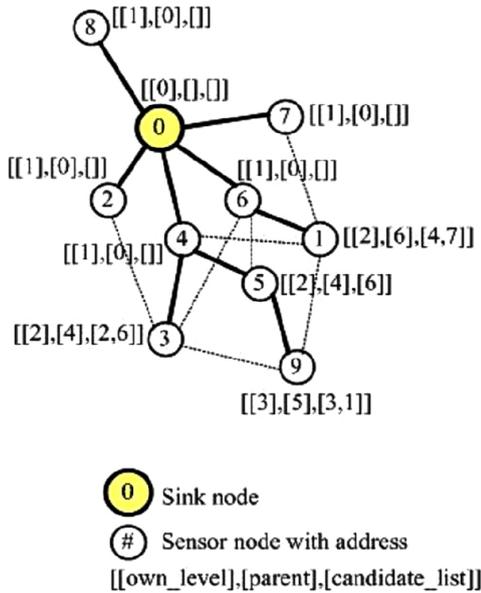


그림 1. 경로 설정

라우팅 설정 메시지 (route setup message)를 방송한다. 네트워크의 각 센서 노드는 자신의 레벨이 설정되지 않은 경우 방송한 라우팅 설정 메시지를 미리 정의한 시간 (listen interval)동안 수신하여 수신된 라우팅 설정 메시지에 포함된 송신 노드의 주소 및 레벨정보를 저장한다. 센서 노드는 송신 노드의 무선전송범위 내에 있는 경우에 라우팅 설정 메시지를 수신할 수 있으며, 역으로, 송신 노드는 센서 노드의 무선수신범위 내에 있는 이웃센서 노드가 된다. 노드는 저장한 정보를 이용하여 자신의 부모 노드를 선정하고, 나머지 정보는 후보 부모 노드 테이블에 저장한다. 그리고, 자신의 주소와 {부모 레벨+1}로 설정된 자신의 레벨 정보를 포함하는 라우팅 설정 메시지를 방송한다.

네트워크의 각 센서 노드가 모두 자신의 레벨을 설정할 때까지 앞의 과정을 반복수행하게 되고, 결과적으로 그림 1에서 도시된 바와 같이 무선 센서 네트워크의 모든 센서 노드는 레벨을 할당 받아 트리를 형성된다.

노드가 라우팅 설정 메시지를 받지 못했거나, 새로운 노드가 네트워크에 합류했을 때 레벨을 할당받기 위해 미리 정의된 시간 동안 기다린다. 그 동안 레벨을 할당 받지 못하면, 라우팅 설정 요청 메시지 (route setup request message)를 방송하고 이웃 노드의 응답 메시지를 이용하여 레벨을 설정하

고 후보 부모 정보를 저장한다. 센서 노드의 레벨이 설정된 이후에는 이웃 센서 노드들로부터 라우팅 설정 메시지들을 수신하지 않는다. 이는 트리 토폴로지 상의 하위 노드를 부모 노드로 선정하는 것을 방지하기 위함이다.

### 2.2 데이터 전달 및 경로 관리

데이터 전달 및 경로 관리에서는 앞서 생성된 트리 토폴로지에 기반하여 싱크 노드로 데이터가 전달된다. 이 과정에서 각 노드의 에너지 잔량을 고려하여 데이터 전달 경로를 유동적으로 선정함으로써 노드의 에너지 소진을 네트워크 전체로 분산시킨다. 그림 2는 데이터 전달 및 경로 관리 방법이 수행된 무선 센서 네트워크를 예시한 것이다.

센싱 데이터를 생성하거나 다른 센서 노드로부터 센싱 데이터를 전달받은 센서 노드는 자신의 주소, 자신의 부모 주소로 설정된 목적지 주소 및 전달할 데이터를 포함하는 데이터 메시지 (data message)를 부모 노드로 전송한다. 데이터 메시지를 수신한 부모 노드는 데이터 메시지를 전송한 센서 노드에 자신의 주소 및 자식의 주소로 설정된 목적지 주소, 자신의 에너지 잔량을 포함하는 수신 성공 응답 메시지 (acknowledgement message)를 전송한다. 부모 노드로부터 수신 성공 응답 메시지를 정해진 시간 내에 수신하지 못했을 경우, 센서 노드는 설정된 재전송 횟수 이내에서 데이터 메시지를 부모 노드에 재전송한다. 설정된 재전송 횟수를 초과한 경우에는 부모 노드로 데이터 전달이 실패한 것으로 판단하고, 후보 부모 노드에서 에너지 잔량

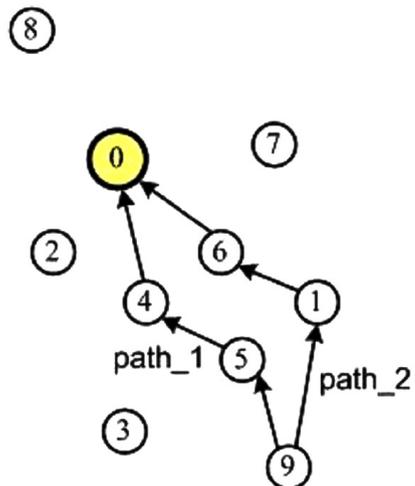


그림 2. 데이터 전달 및 관리

이 가장 높은 노드를 부모 노드로 재선정하여 새로운 부모 노드로 데이터 메시지를 전송한다.

싱크 노드에 이르기까지 각 센서 노드가 이 과정을 수행하게 되면 그림 2에서 도시된 바와 같이 센싱 데이터를 생성한 센서 노드(9번 노드)로부터 싱크 노드(0번 노드)로 센싱 데이터가 전달되게 된다.

이 과정에서 노드의 에너지 잔량을 고려한 경로 관리 단계는 다음과 같다. 무선 환경에서 송, 수신되는 메시지는 송신 노드의 전송 범위 내에 있는 모든 노드가 수신하게 된다. 이러한 특성 및 응답 메시지를 활용하여 경로 관리를 수행한다. 데이터 메시지를 수신한 수신 노드는 데이터 메시지를 송신한 송신 노드에 자신의 에너지 잔량을 포함한 수신 성공 응답 메시지를 전송하는데, 이 경우 송신 노드의 무선 전송 범위에 있는 노드들은 수신 성공 응답 메시지를 오버헤어하게 된다. 이러한 응답 메시지를 수신한 각각의 노드들은 응답 메시지를 전송한 송신 노드가 자신의 부모 및 후보 부모 노드들 중 하나에 해당하는지 살펴보고 그에 해당하는 경우라면 해당 노드의 에너지 잔량 정보를 수신 성공 응답 메시지에 포함된 송신 노드의 에너지 잔량 정보로 갱신한다. 그리고, 갱신된 에너지 잔량이 현재 부모 노드의 에너지 잔량에 따라 설정된 임계값(δ)보다 클 경우 부모 노드를 오버헤어된 수신 성공 응답 메시지의 송신 노드로 갱신하고, 이전 부모의 정보는 후보 부모 정보에 저장한다.

### III. 성능 평가

#### 3.1 시뮬레이션 환경

제안한 기법의 성능 평가를 위해 PARSEC 플랫폼 기반에서 시뮬레이션 환경을 구축하였다<sup>[8,9]</sup>. 150개의 노드를 100×100 크기의 센싱 지역에 균일하게 무작위 형태로 배치하고, 각 노드의 무선 전송 거리는 28로 설정하였다. 데이터 전송 속도는 UC Berkeley MICA Motes와 비슷한 19.2kb/s이며 CSMA MAC을 포함한다. 모든 패킷은 128비트 고정 길이이다<sup>[9]</sup>.

에너지 모델은 ns-2 시뮬레이터의 에너지 모델을 참조하여 적용시켰다. 이는 각 노드의 전체 에너지를 유지한다. 싱크 노드를 제외한 모든 센서 노드는 초기 에너지 값으로 1000이 설정되었다. 싱크 노드의 에너지는 무한하다고 가정하였다. 송수신 에너지 소모량은 1로 설정되었다<sup>[10]</sup>. 에너지 잔량을 고려한 유동적 경로 설정을 위해 에너지 잔량 차이

임계값 δ는 100으로 설정하였다.

실험에서, 데이터를 생성하는 소스 노드는 3개로 구성되었고, 각 소스 노드는 동일한 데이터 생성 주기를 갖도록 하였다.

#### 3.2 성능 평가 척도

제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 다음과 같은 평가 척도를 정의하였다.

- 평균 에너지 잔량: 싱크 노드를 제외한 모든 센서 노드의 에너지 잔량의 합을 전체 노드의 수로 나눈 값이다.
- 최소 에너지 잔량: 센서 네트워크 상에서 최소 에너지 잔량값을 가진 노드의 에너지 값으로 네트워크 수명을 나타내는 지표가 될 수 있다.
- 평균 전송 지연: 소스 노드로부터 싱크 노드에 이르기까지 데이터 전달 지연의 합을 전체 라우팅 회수로 나눈 것이다.

평균 에너지 잔량 및 최소 에너지 잔량은 에너지 효율성을 평가하는 지표이다. 특히 최소 에너지 잔량이 0에 이르기까지의 시간은 네트워크 수명에 해당한다. 평균 전송 지연은 소스로부터 싱크에 이르기까지 데이터 전달 지연의 평균값으로 시뮬레이션 시간 단위로 표시된다. 높은 에너지 효율성 및 최소 전송 지연은 신뢰성 있는 센서 네트워크 라우팅의 주요 요구사항으로 제시되고 있다<sup>[7]</sup>.

#### 3.3 시뮬레이션 결과

실험에서 싱크 노드를 제외한 모든 노드는 동일한 초기 에너지를 갖는 것으로 설정하였다. 따라서, 라우팅 설정 메시지를 수신하여 부모 노드는 임의 노드가 선정되고, 나머지 정보는 후보 부모 테이블에 저장하도록 하였다. 성능 평가는 기존의 트리

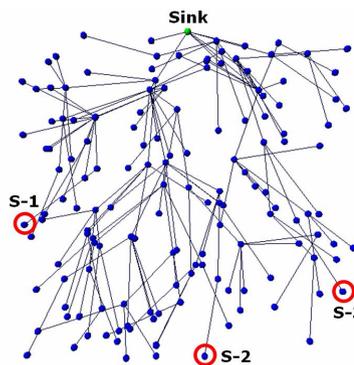


그림 3. 경로 설정 결과

라우팅 (Tree Routing: TR)과 비교 분석하였다.

그림 3은 경로 설정 단계를 수행한 결과이다. 싱크 노드는 (50, 0)의 위치에 있고, 원 안에 표시된 노드는 소스 노드로 선정된 노드이다. 초기 경로 설정 결과는 기존의 TR과 동일하게 하였다.

그림 4는 라우팅이 수행됨에 따라 평균 에너지 잔량의 결과를 나타낸 것이다. 평균 에너지 잔량에 있어서는 제안한 ETRP가 기존의 TR과 비교하여 큰 차이를 보이지는 않으나 다소 개선된 결과를 보인다.

그림 5는 최소 에너지 잔량을 나타낸 것이다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 노드의 모든 에너지를 소진하는 첫번째 노드가 나타나기까지의 시간인 네트워크 수명을 보여주는 지표가 된다. 결과 그래프에서 보는 바와 같이 제안한 ETRP가 TR과 비교하여 23.5% 개선된 성능을 보인다. 이는 데이터 전달 시 노드의 에너지 잔량을 고려하여 상위 전달 노드를 선정하기 때문에 특정 경로에 국한하지 않고 데이터 전달이 이루어지므로 노드의 에너지 소진이 네트워크에 분산되는 효과가 있기 때문이다. 또한,

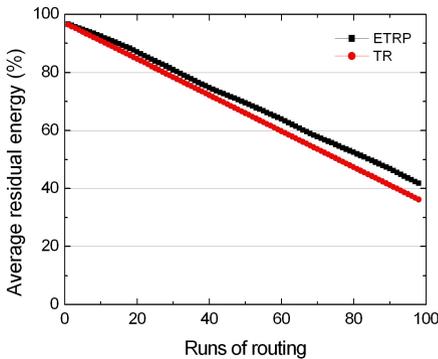


그림 4. 평균 에너지 잔량

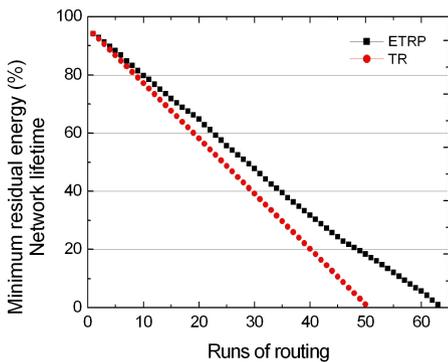


그림 5. 최소 에너지 잔량 (네트워크 수명)

표 1. 노드 결함이 없을 때의 평균 데이터 전달 지연

	S-1	S-2	S-3
ETRP	24	37	25
TR	35	35	31

표 2. 노드 결함이 있을 때의 평균 데이터 전달 지연

	S-1	S-2	S-3
ETRP	35	26	29
TR	44	41	28

경로 관리시 오버헤어 되는 메시지를 활용하기 때문에 추가의 처리 비용이 절감되어 에너지 효율의 향상을 이룬다. 반면 TR의 경우는 처음 설정된 경로를 통해 데이터 전달이 지속적으로 이루어지기 때문에 라우팅 경로 상에 있는 노드들의 에너지 소진이 집중적으로 발생하게 된다.

표 1은 네트워크 내 노드의 결함이 없을 때 개별 소스 노드로부터 싱크 노드에 이르기까지 평균 데이터 전달 지연을 나타낸 것이다.

표 2는 네트워크 내 노드의 결함이 발생했을 때 개별 소스 노드로부터 싱크 노드에 이르기까지 평균 데이터 전달 지연을 나타낸 것이다. 상위 데이터 전달 노드의 결함은 지정한 재전송 회수 동안 데이터 전달에 대한 응답 메시지를 수신하지 못할 때 결함 노드로 판정하도록 하였다. 본 실험에서 재전송 회수는 4회로 지정하였다. 제안한 ETRP에서는 상위 노드의 결함시 후보 부모 리스트에서 새로운 노드를 선정하여 데이터 전달이 이루어지도록 하였기 때문에 전송 지연이 개선되는 효과가 있다.

#### IV. 결 론

센서 네트워크의 여러 기술 (하드웨어 플랫폼, OS, 네트워크 프로토콜, 미들웨어, 시각 동기 및 위치 인식 등) 중 라우팅은 주요 요소 기술 하나이다. 에너지 효율성과 신뢰성을 설계의 기본 요소로 하여 센서 네트워크를 위한 다양한 라우팅 프로토콜이 제시되었다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 트리 라우팅 프로토콜을 제시하였다. 제안한 기법은 신뢰성과 에너지 효율성을 고려한 소스와 싱크간 데이터 전달 기법으로 노드의 에너지 잔량을 고려하여 데이터 전달 노드를 선정함으로써 노드의 에너지 소모를 분산시켜 네트워크의 수명을 개선하고, 상위 노드로 데이터

전달에 실패하였을 경우 우회할 수 있는 후보 부모 정보에서 새로운 부모를 선택하여 데이터를 전달함으로써 데이터 전달의 신뢰성을 향상시켰다. 제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 PARSEC 기반 시뮬레이션 환경을 구성하여 기존의 트리 라우팅과 성능을 비교하였으며, 제안한 기법이 트리 라우팅에 비해 네트워크 수명에 있어 23.5% 개선된 결과를 보였다.

**참 고 문 헌**

- [1] H. Karl, A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, pp.6-28, December 2004.
- [3] K. Akkaya, M. Younis, "A Survey on routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Elsevier Ad Hoc Networks Journal* 3(3), pp.325-349, 2005.
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion: a Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," *ACM Mobicom'00*, pp.56-67, August 2000.
- [5] R.C. Shah and J.M Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE WCNC'02*, pp.350-355, March 2002.
- [6] S. Coleri and P. Varajya, "Fault Tolerant and Energy Efficient Routing for Sensor Networks," *IEEE GlobeCOM'04*, pp.10-15, November 2004.
- [7] H. Hassanein and J. Luo, "Reliable Energy Aware Routing in Wireless Sensor Networks," *IEEE DSSNS'06*, pp.54-64, April 2006.
- [8] PARSEC User Manual, 1999.
- [9] S. Ganeriwal, V. Tsatsis, C. Schurgers, and M.B. Srivastava, "NESLsim: A Parsec Based Simulation Platform for Sensor Networks," *NESL*, 2004.
- [10] The Network Simulator: NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

**황 소 영 (Soyoung Hwang)**

정회원



1999년 2월 부산대학교 전자계산학과 학사  
 2001년 2월 부산대학교 전자계산학과 석사  
 2006년 2월 부산대학교 전자계산학과 박사  
 2006년~현재 한국전자통신연구원 RFID/USN연구본부 연구원

<관심분야> 센서네트워크, 임베디드시스템, 시각동기

**진 광 자 (Gwang-Ja Jin)**

정회원



1987년 2월 건국대학교 전자공학 학사  
 1990년 2월 건국대학교 전자공학 석사  
 1990년~현재 한국전자통신연구원 텔레매틱스연구부 책임연구원

<관심분야> 위성통신시스템, 센서네트워크, 측위기술

**신 창 섭 (Changsub Shin)**

정회원



1998년 2월 경일대학교 컴퓨터공학 학사  
 2001년 2월 경북대학교 컴퓨터공학 석사  
 2001년~현재 한국전자통신연구원 RFID/USN연구본부 선임연구원

<관심분야> 센서네트워크, 시각동기

**김 봉 수 (Bongsoo Kim)**

정회원



1982년 2월 홍익대학교 전자공학 학사  
 1984년 2월 홍익대학교 전자공학 석사  
 1984년~현재 한국전자통신연구원 RFID/USN연구본부 책임연구원

<관심분야> 센서네트워크, 임베디드시스템, 통신시스템