

불규칙적 무선센서네트워크에 강한 위치기반 다중경로 제공 방안

정회원 김 성 휘*, 박 호 성*, 이 정 철*, 준회원 오 승 민*, 종신회원 김 상 하*

A Robust Disjoint Multipath Scheme based on Geographic Routing in Irregular Wireless Sensor Networks

Sunghwi Kim*, Hosung Park*, Jeongcheol Lee* *Regular Members*
Seungmin Oh* *Associate Member*, Sang-Ha Kim*^o *Lifelong Member*

요 약

무선센서네트워크는 전력 공급이 제한적인 대규모의 센서 노드들로 구성되어 있다. 에너지 비용의 최소화와 여러 홉을 거쳐 싱크 노드까지 안정적으로 데이터전송의 신뢰성을 높이는 것은 매우 중요한 요소이다. 데이터 전송의 신뢰성을 높이는 방안으로 다중경로 라우팅 방안이 제시되고 있다. 플러딩 기반의 다중경로 라우팅 방식은 불규칙적 무선센서네트워크에서도 효과적으로 다중경로를 구성할 수 있는 장점이 있지만 전원 공급에서 제약이 많은 무선센서네트워크에서는 적합하지 않은 라우팅 방식이다. 그러나 최소의 오버헤드를 가진 지역 위치정보를 이용하는 위치기반 라우팅 방식은 비플러딩 방식으로 무선센서네트워크에서 효율적인 방식이지만 다중경로 구성 시 데이터 패킷의 충돌을 유발할 수 있다. 패킷 충돌을 제어할 수 있는 방안으로 다중경로 파이프라인 개념을 도입 하였지만 홀과 같은 불규칙적 네트워크에서는 파이프라인을 구성하기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 가상 그리드 좌표 상에서 위치기반 포워딩 방식과 다중경로 상의 홀 회피 알고리즘이 결합된 새로운 다중경로 라우팅 방식을 제안한다. 제안된 다중경로 방식은 불규칙적 무선센서네트워크에서 효율적이고 전송 신뢰성을 높일 수 있는 노드 분리된 다중경로(multipath) 파이프라인을 구성할 수 있는 방식이다. 시뮬레이션 결과는 이러한 주장의 타당성을 제공한다.

Key Words : Disjoint Multipath, Geographic Routing, Wireless Sensor Networks, Irregular Networks, Hole Detouring

ABSTRACT

Sensor networks are composed of a great number of sensor nodes with constrained battery. Disjoint multipath scheme based flooding method has a merit that efficiently construct multipath in irregular networks, but causes lots of energy consumption in networks. Flooding method is not a suitable technology in wireless sensor networks with constrained battery. We introduce energy-efficient geographic routing scheme considered as an efficient, simple, and scalable routing protocol for wireless sensor networks. The geographic routing scheme on multipath generates a problem with a congestion. So we introduce the concept of multipath pipeline as a congestion avoidance strategy. But multipath pipelines have a big problem on the boundary of holes under irregular networks. We propose a novel disjoint multipath scheme as combined method with geographic routing scheme and hole detouring algorithm on multipath. A novel disjoint multipath scheme constructs disjoint multipath pipelines efficiently for reliability without a collision in irregular wireless sensor networks. Simulation results are provided to validate the claims.

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실({hspark, jcle, smoh}@cclab.cnu.ac.kr, {spation, shkim^o}@cnu.ac.kr) (° : 교신저자)
논문번호 : #KICS2011-04-200, 접수일자 : 2011년 4월 27일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 10일

I. 서 론

산불 화재 감지, 오염지역 모니터, 군사 감시용, 생태환경 오염 모니터 등의 목적을 위해 무선센서 네트워크가 활용되고 단기간에 쉽게 네트워크를 구성할 수 있는 장점을 가지고 있다.^[13] 그러나 무선센서 네트워크는 수많은 센서들을 공중에서 살포하여 네트워크를 구성하기 때문에 배치 중에 지형에 의해 또는 센서 노드들의 손상으로 홀(hole)이 발생될 확률이 높다. 일반적인 네트워크는 노드들의 위치를 계획적으로 배치하지만 무선센서네트워크는 랜덤하게 노드들이 살포되기 때문에 확률적으로 불규칙적(irregular) 네트워크를 구성하기가 쉽다. 여기서 불규칙적 네트워크는 지형에 의해 노드가 배치될 수 없는 환경 또는 노드의 에너지 고갈과 파손으로 인해 노드가 작동되지 않는 영역을 홀(hole)이라 하며 홀을 포함한 센서네트워크를 총칭한다. 그리고 센서에 감지된 데이터를 필요로 하는 목적지까지는 여러 홉을 거쳐야 하기 때문에 여러 발생률이 높아 다중 홉 무선센서네트워크에서는 데이터 전송 신뢰성이 중요한 이슈이다. 이러한 문제점을 보완하기 위한 최적의 방안으로 경로가 독립된 여러 가지 다중경로 방식이 제안되고 있다.^[3-7]

위치기반(geographic)의 다중경로(multipath) 라우팅 방식^{[5][7][13]}은 데이터 패킷을 전송하기 위해 네트워크 전역의 정보를 사용하는 대신 노드 간에 이웃노드의 지역(local) 정보를 이용하여 목적지까지 가까운 노드를 찾아 데이터를 전송하기 때문에 무선센서네트워크에서 에너지 효율적인 장점이 있다. 그래서 위치 기반 라우팅 방안은 무선센서네트워크에서 라우팅 프로토콜이 더 효율적이고, 단순하며, 확장성을 갖게 만든다. 이런 장점에도 불구하고 홀(hole)이 있는 불규칙적 센서네트워크에서는 홀 주위 노드에서 데이터 충돌이 발생하여 홀 주위 노드들의 에너지 고갈 현상들을 유발한다. 그리고 불규칙적 다중 홉 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 경로가 분리된 다중경로를 구성하기가 어렵다. 몇몇 잘 알려진 다중경로 라우팅 방안^{[5][7][8][11]}들은 노드가 분리된 다중경로를 구성할 수 있으나 에너지측면에서 비효율적이고 에너지 효율적인 위치기반 라우팅 방식^[1]은 홀과 같은 불규칙적인 네트워크에서 명시적 분리된 다중경로를 구성하기 어렵다. 본 논문에서는 에너지 효율적 위치기반 라우팅 방식을 적용하여 불규칙적 센서네트워크에서 데이터 충돌과 간섭 없이 명시적 분리된 다중경로를 구성할 수 있는 방안을 제시하는 것에 그 목적이 있다. 그리고 홀(hole)이 있는 불규칙적 센서 네트워크에서

에너지 효율적인 위치기반(geographic) 포워딩(forwarding) 방식과 충돌 없이 다중경로 상에서 홀을 피할 수 있는 규칙(rule)을 포함하는 분리된(disjoint) 다중경로(multipath) 라우팅 방식을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 다중경로와 홀 우회 방법의 선행 연구들에 대해 고찰하고 문제점을 분석한다. 3장은 고찰한 문제점을 해결하기 위한 새로운 다중경로 라우팅 방안으로 불규칙적 센서네트워크에 강한 분리된 다중경로 방식을 제안하고 동작 알고리즘을 자세히 설명한다. 4장은 시뮬레이션 결과가 다른 다중경로 방식 보다 에너지 효율적인 다중경로가 구성됨을 보여주고 다중경로가 홀을 만날 경우 최소의 제어 오버헤드로 홀을 효율적으로 피하고 새로운 안정된 다중경로를 구성함을 보여준다. 그리고 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

앞서 언급했듯이, 무선센서네트워크에는 많은 다중경로 라우팅 기술들이 있다. 다중경로를 구성하는 방식들은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 다중경로를 구성하는 방식에는 플러딩(flooding) 방식^{[4-5][8]}과 비플러딩(non-flooding) 방식^{[1][11]}이 있다. 먼저 플러딩 방식은 다중경로를 찾기 위해 전체 네트워크를 통해 목적지로 경로요구 메시지를 보낸다. 메시지를 통해 받은 노드 정보들을 이용하여 목적지 노드는 최적의 다중경로를 설정하고 소스 노드에게 보낸다. 이런 방식은 소스 노드와 목적지 노드까지 단대단(end-to-end) 신호 처리가 필요하고 다중경로의 루트 상의 모든 노드의 상태 정보를 관리해야 하는 방식이다. 그리고 다른 수정된 플러딩 방식은 목적지 노드에서 전체 노드로 메시지를 플러딩하고 트리를 만들어 다중경로를 설정하는 방식도 있다.

또 다른 플러딩 방식으로 확률이라는 비용을 이용하여 응용 분야에서 필요한 비용들을 만족하는 다중경로를 설정하고 데이터를 전송하는 방식 등이 있다. 플러딩 루트 비용 기반의 확률적 다중 경로 방식은 구성 중에 다중 경로가 겹치기도(overlap) 한다. 경로가 중복된 노드에 장애가 발생할 때 다중 경로도 장애가 발생되고 전송 성능은 감소된다. 이런 방식들은 다중 경로 발견 과정에서 전체 네트워크로 메시지를 플러딩을 한다. 그러므로 다중 경로를 구성하기 위해 모든 센서 노드가 시그널링(signaling)에 참여하고 많은 시그널링 오버헤드로 에너지 소비가 많다. 많은 센서 노드로 구성되어 있고 에너지 제약이 많은 무선센서네트

크에서는 부적합한 프로토콜 방식이다.

두 번째 방식은 비플러딩 방식으로 센서네트워크에서 가장 매력적인 라우팅 방식으로 위치기반 라우팅 방식^[11]이 있으며 로컬 노드 정보를 이용하여 소스 노드와 목적지 노드 사이에 가장 단거리 경로인 주 경로를 찾은 다음 주 경로의 노드에 근접해 있는 이웃노드를 찾아 다중 경로를 구성한다. 그리고 소스가 주 경로와 분리된 대체 다중 경로를 설정한다. 이 방식에서는 루트의 상태 관리 없이 다중 경로를 구성하며 단대단 시그널링 대신 지역적 시그널링으로 다중 경로를 구성하는 장점이 있다. 그래서 다중 경로를 구성할 때 상태 관리 오버헤드를 획기적으로 줄여 줄 수 있다. 노드에 장애가 발생 시 플러딩 방식은 전체적으로 다시 단대단의 플러딩을 통해 다중경로를 구성하지만, 위치기반 라우팅은 지역적이고 분산된 방식으로 장애를 처리할 수 있다. 이러한 비플러딩 방식은 시그널링 오버헤드가 적고 전체 네트워크의 에너지 소비를 줄여 줄 수 있어 대규모의 센서 노드로 구성된 무선센서네트워크에 적합한 프로토콜 방식이다.

또 다른 흥미있는 주제로 이 논문의 핵심인 홀(Hole) 우회(detouring) 알고리즘^{[12][8][12]}이다. 소스 노드에서 데이터 패킷을 목적지로 보내는 데 홀이 존재할 경우 이런 문제를 해결하기 위한 많은 연구가 있다. 이러한 연구들은 크게 두 분류로 나눌 수 있다. 첫째는 FACE 라우팅^[11]이 있고 두 번째로 배압(backpressure) 라우팅^[12]이 있다. 먼저 FACE 라우팅은 홀의 경계를 따라 데이터 패킷을 라우팅하고 배압 라우팅은 목적지 노드로 가기 위해 막힘(stuck) 노드를 발견하면 다른 경로를 찾는 방법으로 소스 노드 방향으로 거슬러 데이터 패킷을 리턴한다. 이 방법은 SPEED^[12]에서 제안되었고, 만약 현재 노드가 막혀 있으면 역 방향으로 데이터를 보내고 새로운 루트를 찾도록 비컨 메시지를 보낸다.

이 메커니즘은 경로 재발견을 위해 부가적인 오버헤드가 필요하고 홀의 경계를 따라 데이터를 포워딩하는 것을 피할 수 있다. 데이터 충돌과 홀 주위 노드에서 지나친 에너지 소비를 효과적으로 막을 수 있는 장점이 있다. 그러나 FACE 라우팅은 만약 다중 경로로 데이터 패킷이 전달되면 홀을 피하기 위해 동시적으로 우회하게 되고 홀 주위의 노드에서 불필요한 데이터 충돌이 발생한다. 홀 주위의 노드에서는 에너지 소비가 급속히 증가하고 홀이 확장되는 현상이 발생한다. 두 방식 모두 다중경로의 수가 증가하면 오버헤드가 증가하거나 홀 주위의 노드에서 불필요한 데이터 충돌이 발생하여 에너지가 급속하게 증가되는 현상이 발생

한다. 이 논문에서는 수많은 노드를 가진 대규모 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 위치기반 라우팅 방식과 다중경로에서 충돌 없이 효과적으로 피할 수 있는 새로운 홀 우회 규칙(rule)을 포함한 다중경로 라우팅 방식을 제안한다.

III. 제안 방안

일반적으로 다중경로 설정 중에 중첩된 노드가 발생하면 그 노드에서 에러가 발생 시 데이터 전송에 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 완전히 분리된 다중경로를 설정하는 것이 중요한 요소가 된다. 크게 분리된 다중경로를 설정하기 위한 방법으로 노드 분리(node disjoint)^{[3][5]}, 링크 분리(link disjoint)^[3], 영역 분리(zone disjoint) 방식^[14]이 있다. 여기에서는 기존의 다중경로 파이프라인(multipath-pipeline)의 개념^[11]을 도입하여 노드 분리와 영역 분리를 통해 완전히 분리된 무선 간섭이 적은 다중경로를 설정할 수 있다. 그러나 홀(hole)이 존재하면 구성된 다중경로 파이프라인을 통해 데이터 패킷 전송이 어려워지고 새로운 다중 경로 파이프라인을 구성해야 한다. 다음은 새로운 다중경로 라우팅 방식을 설명하기 전에 네트워크 모델과 초기화 과정을 설명하고자 한다.

3.1 네트워크 초기화

이 단원에서는 소스노드가 다중경로를 설정을 시작하기 위한 네트워크 초기화 단계를 순차적으로 설명한다. 네트워크 전개 후, 네트워크를 구성하는 센서 노드들 중 한 노드가 베이스 노드로 선택된다. 센서 네트워크는 특정한 목적을 가지고 특정한 위치에 전개되기 때문에 그 중심점의 위치에서 가장 가까운 노드를 베이스 노드로 선택할 수 있다. 베이스 노드는 네트워크 초기화 (Network Initialization (NI)) 메시지를 생성하여 네트워크 전체로 플러딩 한다. 초기 플러딩을 통해서 가상 그리드를 형성한다.

즉 무선센서네트워크는 2차원적 평면 영역에 N개의 노드가 랜덤하게 분포되고 각 노드들의 위치정보를 이용하여 그림1과 같이 무선센서네트워크는 가상의 그리드 구조를 구성한다. 임의의 주어진 셀 면적 a^2 내에 최소 한 개 이상의 센서 노드가 존재한다고 가정한다. a 는 정사각형 셀의 한 변의 길이로서 가상 그리드 구조에서 노드가 살포되는 면적과 노드의 수에 의해 초기에 결정되는 크기로 센서 노드의 전송 반경(R)보다 작게 설정된다. 그리고 여기에 적용된 위치기반

(geographic) 라우팅 방식은 세 가지 조건을 가정한다. 첫 번째, 각 노드는 GPS 또는 다른 위치서비스를 통해 자신의 위치정보를 알고 있다는 가정과 두 번째, 각 노드는 비컨 메시지를 통해 하나의 홉(one-hop) 이웃 노드의 위치를 알고 있다. 마지막으로, 소스 노드는 목적지 노드의 위치를 알고 있다는 가정이다. 위의 가정에서 모든 센서 노드가 자신의 위치 정보와 목적지의 위치를 안다. 그래서 센서 노드는 이웃 노드와 목적지 노드의 위치를 이용하여 그림1과 같이 가상 그리드 구조를 설정할 수 있다¹¹⁾.

위의 그림에서 임의의 a^2 영역은 1개 이상의 센서 노드가 존재할 수 있는 면적이다. a^2 의 최소값은 A 영역내에 센서 노드가 1개 이상 존재한다. 여기서 A는 a^2 면적을 나타내고 a는 가상그리드의 한 셀의 가로와 세로의 길이이다.

가상그리드 구조가 생성되면 다음과 같이 다중경로 파이프라인이 생성된다. 경로가 가장 짧은 다중경로(multipath) 파이프라인(pipeline) MP_0 은 소스 노드에서 목적지까지 A(0,0)의 연속체이다. 여기서 A(0,0) 위치는 소스노드가 위치하고 있는 좌표 (0,0) 지점을 중심으로 가로와 세로 길이가 a인 셀(정사각형 면적)로 정의된다. MP_0 은 A(0,0) 위치에서 목적지까지 같은 크기의 셀들이 이어진 연속체를 파이프라인으로 정의를 했고 각 데이터 패킷은 정의된 가상의 파이프라인을 통해서 목적지까지 전송된다. 파이프라인을 이용하면 이웃 경로 간에 간섭없이 독립적이고 분리된 경로를 만들 수 있다. 즉 가상적으로 구성된 다중경로 파이프라인을 통해서 여러 개의 경로가 설정된다. 수학적으로는 (1)과 같이 표기할 수 있다.

$$MP_0 = \sum_{j=0}^n A_{(j\alpha, 0)}, \text{ where } n = 0, 1, 2, 3, \dots (1)$$

MP_i 파이프라인은 다음 식(2)와 같이 표기할 수 있다.

$$MP_i = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n A_{(j\alpha, (-1)^i\alpha)}, i = 0, 1, 2, \dots (2)$$

소스 노드는 위와 같은 계산으로 그림2와 같이 다중경로 파이프라인을 구성한다. 다중경로 파이프라인의 구성을 통해서 노드-분리와 영역-분리된 경로를 구성할 수 있고, 다중경로 상에서 발생하는 간섭을 줄일 수 있는 파이프라인으로 구현할 수 있다.

그리고 소스노드에서 출발한 데이터 패킷은 목적지까지 데이터 충돌 없이 보내기 위해 중간 지점에서 방향키 역할을 하는 가상의 앵커 포인트 AP (anchor point)를 둔다. 소스 노드는 필요한 k개의 다중경로 만

컴 소스 노드와 목적지 노드 사이의 가상의 중간 지점에 y축으로 k개의 경로를 안내하는 앵커 포인트 (Anchor Point)를 설정한다. 그리고 다음 (3)식으로 앵커 포인트의 위치를 소스 노드가 계산하고 설정한다. 결정된 다중경로의 수만큼 앵커 포인트가 결정되며 이 지점을 목표로 데이터 패킷이 전달된 노드는 노드 마킹과정¹¹⁾을 통해 해당 노드가 선택되고 동일한 파이프라인의 경로로 선정된 후 목적지까지 데이터 패킷을 전송할 수 있다. 만약 앵커 포인트 주위에 노드가 없어 데이터 패킷을 전달할 수 없을 경우에는 홀이 존재하는 경우와 똑 같이 홀을 우회하게 되고 새로운 앵커 포인트가 결정된다.

$$AP_0 = \left(\frac{x_D - x_S}{2}, \frac{y_D - y_S}{2} \right),$$

$$AP_1 = \left(\frac{x_D - x_S}{2}, \frac{y_D - y_S}{2} + \alpha \right),$$

$$AP_2 = \left(\frac{x_D - x_S}{2}, \frac{y_D - y_S}{2} - \alpha \right),$$

$$AP_k = \left(\frac{x_D - x_S}{2}, \frac{y_D - y_S}{2} + (-1)^k \alpha \right). \quad (3)$$

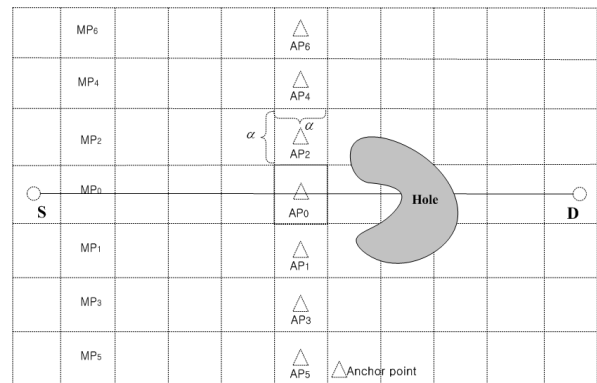


그림 1. 네트워크 모델과 가상그리드 구조

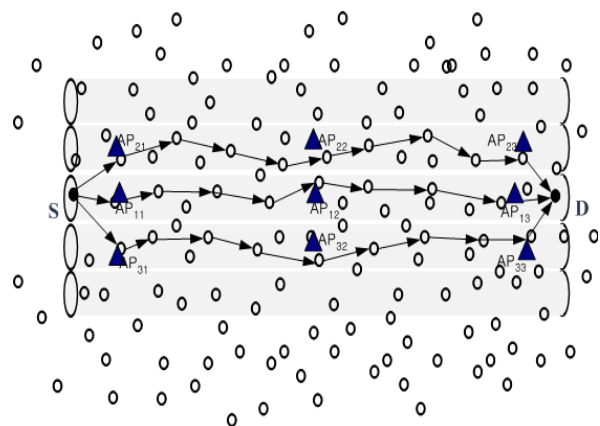


그림 2. 다중경로 파이프라인 구조

여기서 소스 노드와 목적지 노드의 중간지점을 (0,0) 좌표라고 가정했을 때, x_D 는 목적지 노드의 x 축 좌표, y_D 는 목적지의 y 축 좌표이고, x_S 는 소스 노드의 x 축 좌표, y_S 는 소스 노드의 y 축 좌표, a 는 정사각형 셀의 한 변의 길이이다.

3.2 다중경로 상에서 홀 우회 방식

데이터 패킷의 전송 장애 없이 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하기 위해서는 분리된 다중경로 파이프라인 구성이 중요하다. 그러나 홀이 존재하면 파이프라인은 구성될 수 없으며 데이터 전송에 큰 장애 요인이 된다. 무선네트워크에서 피할 수 없는 홀(hole)은 다중경로 파이프라인을 구성하기 어렵게 만들고 새로운 파이프라인을 구성해야 한다. 그러기 위해서 두 가지 방안을 추가하여야 한다. 첫째로 다중경로 상에서 홀 우회 방식과 두 번째로 홀 경계(hole boundary) 감지 알고리즘이 있다. 두 방안을 통해서 홀(hole)을 피한 다중경로 파이프라인을 구성하여 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하다. 첫 번째 방식인 다중경로 상에서 홀 우회 방식에 대해 설명하고자 한다.

센서네트워크에 홀(hole)이 존재할 시, 우회할 수 있는 여러 방법들이 제안되고 있다. 이러한 방법은 단일 경로(single path)의 경우이다. 다중경로를 통해서 데이터 패킷이 전달되다가 홀을 만나면 홀을 만난 경로는 홀을 피하기 위해 다른 경로의 파이프라인으로 넘어가게 된다. 그러면 다른 경로로 전달되는 데이터 패킷과 충돌하게 된다. 분리된 다중경로를 보장하고 다중경로 상에서 홀 문제를 해소하기 다중경로 상에서 홀 우회 규칙(hole detouring rule)이 필요하다. 다중경로 상에서 홀 우회 규칙은 다중경로 상에서 동시에 홀을 만났을 경우 충돌 없이 홀을 우회하는 규칙이다. 모든 소스 노드는 다음과 같은 정책 기반 홀 우회 규칙(rule)을 가진다.:

- ① 처음에 소스 노드에서 출발하는 데이터 패킷의 초기 모드는 목적지 모드로, 설정되고 목적지 주소로 포워딩(forwarding)한다.
- ② 다중경로에서 홀을 만날 경우, 최단거리 경로인 P_0 와 $P_k(k=짝수)$ 경로일 경우, 홀 주위 노드를 시계방향(clockwise)으로 우회한다.
- ③ 다중경로에서 홀을 만날 경우, $P_k(k=홀수)$ 인 경로일 경우, 홀 주위 노드를 반시계방향(counter clockwise)으로 우회한다.
- ④ 소스 노드로부터 포워딩하는 패킷이 홀을 만나면 목적지 모드에서 주변(perimeter) 모드로 전환되고

홀의 주위를 시계방향, 반시계방향으로 우회하는데 처음과 같은 P_k 경로로 올 때까지만 우회하고 목적지로 포워딩한다.

⑤ 다중경로가 홀을 동시에 만났을 경우 다음과 같이 경로의 우선순위에 의해 홀 주위를 우회한다.

⑥ 다중경로가 동시에 홀을 만났을 경우 우선순위가 있는 경로만 홀 주위로 우회하고 우선순위가 없는 경로는 데이터 패킷을 보내는 것을 멈추고 소스 노드에게 기다림(waiting) 메시지를 보낸다. 새로운 다중경로를 만들 때까지 기다린다.

시나리오의 경우 즉 홀(hole)이 여러 개 존재할 경우에도 위와 같이 홀 우회 규칙(rule)과 이웃 노드 선택을 위한 위치기반 라우팅 방법이 결합된 방식이 적용된다. 다음 그림은 다중경로 상에서 홀 우회 방식들이다. (가)의 그림에서는 기존의 위치기반 라우팅 방식으로 홀을 우회할 경우, 소스 노드에서 출발한 데이터 패킷이 A, B, C를 거쳐 데이터 패킷을 전송하면 E, F 노드에서 패킷 충돌이 발생한다. 그러나 새로 제안된 홀 우회 규칙(rule)이 적용된 위치기반 라우팅 방식은 (나)의 그림처럼 E, F 노드에서 패킷 충돌 없이 홀 주위를 우회하여 목적지까지 데이터 패킷을 보낼 수 있다.

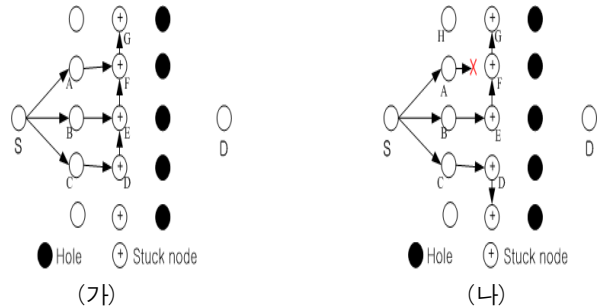


그림 3. (가) 기존 방식과 (나) 새로 제안된 방식

다음은 이 논문에서 두 번째 핵심 개념인 소스 노드가 보낸 데이터 패킷을 이용하여 홀의 경계(boundary) 정보를 파악할 수 있는 홀 경계 감지 알고리즘(hole boundary detection algorithm)에 대해 설명하고자 한다.

3.3 홀 경계 감지 알고리즘

소스 노드와 목적지 노드 사이에 홀이 존재하는 불규칙적 네트워크에서 다중경로를 구성한다고 가정한다. 단거리 경로인 P_0 를 포함한 3개의 다중경로가 동시에 홀을 만날 경우 그림2의 (나)와 같이 홀 주위를 우회한다.

처음에 소스 노드에서 다중경로를 설정하고 데이터 패킷에 목적지 모드로 설정하고 데이터를 전송한다.

그림3과 같이 소스 노드에서 데이터 패킷이 3개의 경로로 다중경로를 구성해서 보낸다고 가정하고 P_0 , P_1 와 P_2 는 홀 우회 규칙에 따라 홀 주위를 우회한다. 구체적으로 홀(hole) 경계 감지 알고리즘은 다음과 같다.

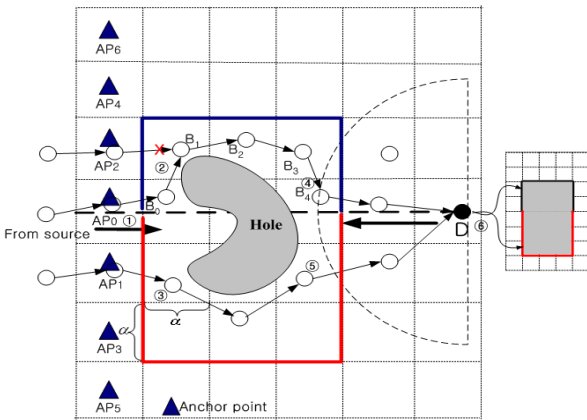


그림 4. 홀 경계 감지 절차

① P_0 경로를 통한 데이터 패킷은 홀 주위의 노드 B_0 에서 다른 경로로 이동 시 주변 모드로 전환하고 시계방향에 의해 홀 경계 감지(Hole Boundary Detection: HBD) 패킷으로 전환되어 보낸다. HBD 패킷의 목적은 홀 주위의 모든 노드들의 위치 정보를 패킷에 저장한다.

② 그림4에서 처럼 노드 B_0 은 위치 좌표 정보를 저장하고, 홀 주위 이웃 노드 B_1 로 HBD 패킷 전송한다. 노드 B_1 은 받은 위치 정보를 HBD패킷에 삽입하고 시계방향에 의해 이웃 노드로 포워딩한다.

③ 노드 B_2 는 받은 위치 정보를 HBD패킷에 삽입하고 B_3 노드로 포워딩을 하고, B_4 까지 홀 상단 경계(boundary) 정보를 저장한다. 이런 과정은 B_0 경로가 있는 같은 경로에 올 때 까지 반복된다.

④ 다른 경로 P_1 도 ②와 같은 과정을 거치고 홀(hole) 하단 경계(boundary) 정보를 저장하고 데이터 패킷에서 목적지 모드로 전환되어 목적지 노드를 향해 포워딩된다.

⑤ 홀 주위 노드인 B_0, B_1, \dots, B_n 가 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 의 좌표를 가진다고 가정하면, 목적지 노드는 노드 B_4 에서 보내온 두 위치 정보 최대 P 값과 최소 Q 값을 이용하여 가상 그리드 구조 상에서 홀의 전체영역을 포함하는 사각형의 셀을 계산한 후 소스 노드에 패킷에 홀의 위치 정보를 실어 보낸다.

$$P \left\{ \begin{array}{l} (x_p, y_p) | x_p = \max \{ x_0, x_1, \dots, x_n \}, \\ y_p = \max \{ y_0, y_1, \dots, y_n \} \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$Q \left\{ \begin{array}{l} (x_q, y_q) | x_q = \min \{ x_0, x_1, \dots, x_n \}, \\ y_q = \min \{ y_0, y_1, \dots, y_n \} \end{array} \right\}$$

위와 같은 방법으로 홀의 주위 노드를 통해 홀 위치 정보를 가상그리드 상에서 셀 기반으로 위치 정보를 수집하고 홀의 위치 정보를 패킷에 실어 목적지 노드에게 보낸다. 목적지 노드는 두 경로 P_0, P_1 양쪽에서 보내 온 홀의 위치 정보를 통해 홀 전체의 경계(boundary) 정보를 홀 주위 노드들을 포함하여 계산한 후 소스 노드에 전달된 똑같은 경로를 경유하여 전송한다. 다음은 앞에서 설명한 다중경로 상에서 홀 우회 규칙과 홀 경계(boundary) 감지 알고리즘을 이용하여 가상 그리드 상에서 동시에 다중경로를 구성할 수 있는 다중경로 라우팅 방식을 설명하고자 한다.

3.4 제안된 다중경로 라우팅 방식

제안된 방안은 다중경로 파이프라인 상에서 홀 회피 알고리즘과 결합된 불규칙적 센서네트워크에 강한 명시적(explicit) 분리된 다중경로(Robust Disjoint Multipath) 방식을 제안한다. 제안된 방식은 에너지 효율적인 위치기반 라우팅 방식이 다중경로 상에서 발생하는 문제점을 해소한 홀 우회 알고리즘과 결합된 방식으로 홀이 존재하는 불규칙적 네트워크에서 효과적으로 다중경로 파이프라인을 구성할 수 있는 방식이다.

초기에 소스 노드는 가상 그리드 상에서 파이프라인을 구성하고 센서네트워크의 환경과 응용서비스에 따라 다중 경로의 수를 결정하여 위치기반 라우팅으로 목적지 노드를 향해 데이터 패킷을 보낸다. 각 데이터 패킷 헤드에 앵커 위치 정보 필드, 목적지 위치 정보 필드와 주변 위치 정보 필드 그리고 플래그 필드로 구성되어 있고 플래그 필드는 0, 1비트로 구성되어 있어 패킷이 목적지 모드(0) 인지, 앵커 모드(1) 인지를 나타낸다.

① 모든 데이터 패킷은 초기에 목적지 모드로 설정되고 앵커 위치 정보는 빈 공간으로 설정되고 각 데이터 패킷은 목적지의 위치 정보를 포함한다.

② 만약 데이터 패킷이 홀을 만나면 주변 모드로 전환된다.

③ 홀 주변의 노드를 통해서 데이터 패킷이 처음 경로와 같은 경로에 올 때까지 우회한 후 주변 노드의 위치 정보가 주변 모드에 저장된다.

④ 목적지 모드로 전환되고 위치기반 라우팅으로 목적지 노드를 향해 포워딩한다.

⑤ 목적지 노드는 전달된 패킷의 가상 그리드 네트워크 구조상에서 홉 수(hop count)와 홀 경계 정보(hole boundary information)를 계산하고 홀 지역을 피한 최적의 앵커 포인트의 위치를 소스 노드로 데이

터 패킷에 실어 보낸다.

소스 노드는 받은 정보를 이용하여 앵커 모드로 전환하여 그림 5와 같이 새로운 다중경로를 구성하여 계산된 앵커 위치와 목적지의 위치를 데이터 패킷 헤더에 실고 데이터 패킷을 포워딩한다. 포워딩된 데이터 패킷은 먼저 앵커 포인트 위치에 있는 노드에 도착하면 앵커 위치 정보는 삭제되고 목적지 위치 정보를 갖고 목적지 노드로 위치기반 라우팅에 의해 포워딩한다. 만약 앵커 위치 주위에 노드가 없으면 우회해서 다른 파이프라인에 있는 노드를 찾아서 데이터 패킷을 목적지까지 전송한다. 전송된 데이터를 목적지 노드에서 비교하여 앵크 포인트 위치를 다시 설정하여 소스 노드에게 보내면 소스 노드는 새로운 다중경로를 설정하여 데이터 패킷을 안전하게 보낼 수 있다.

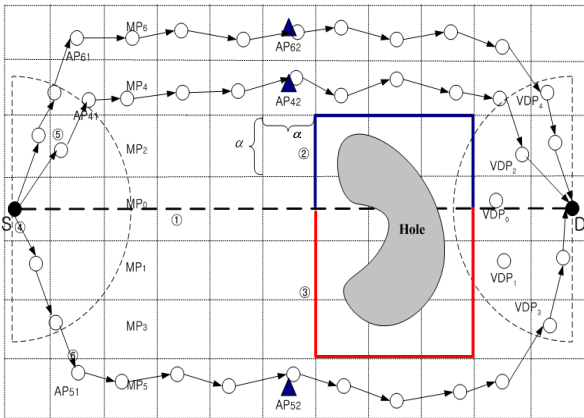


그림 5. RDM(Robust Disjoint Multipath) 라우팅 방식

IV. 성능 평가

이 장에서는, 기존에 제안된 방식과 성능을 비교 분석하고 시뮬레이션 결과를 제시하고자 한다. 기존에 제안된 여러 방식 중 비교 대상인 방식은 플러딩 방식으로 다중경로를 구성하는 SMR(Split multipath routing)^[4] 방식과 비플러딩 방식으로 가상 파이프라인을 이용하여 명백한 다중경로를 구성하는 EDM(Explicit Disjoint Multipath) 방식^[11]과 비교하였다.

4.1 시뮬레이션 환경과 성능 평가 항목

우리는 제안한 네트워크 모델링은 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 4.0^[10] 이용하여 구현하였다. 센서 노드들은 MICA2^[13]의 표준을 따른다. 센서 노드의 전송 범위는 60m이다. 시뮬레이션을 수행하기 위한 무선센서네트워크 모델은 1000×1000 m² 영역에서 센서 노드 400개가 랜덤으로 분포되어 있다고 가정한다. 홀의 사이즈가 1, 4, 9×α²로 구성하여 홀이 있는 불규칙

적 네트워크로 모델화 하였다. 각 프로토콜의 주기는 100초로 설정하였다.

우리는 제안한 다중경로 라우팅 방식의 성능을 분석하고 비교하기 위해 다음과 같은 세가지 성능 평가 항목을 사용한다.

제어 부하는 시뮬레이션 시간 동안 다중경로 설정을 위해 전송되는 제어 메시지의 총 개수로 정의된다.

에너지 소비량은 제어 메시지의 송수신을 위해 센서 노드들이 소비하는 에너지의 총합으로 정의한다. 에너지 소비량은 제어 메시지를 송수신하는 횟수뿐만 아니라 각 메시지의 바이트 수에도 영향을 받는다.

다중경로 전송 지연 시간은 소스 노드가 싱크에게 전송하는데 필요한 시간으로 정의한다. 이 지연 시간이 작을수록 데이터 전송 시간 역시 빨라진다.

4.2 시뮬레이션 결과

이 시나리오에서는 하나의 소스 노드와 하나의 싱크(목적지)가 네트워크에 임의적으로 위치해 있다.

그림6의 결과는 제어 부하(시그널링 오버헤드)를 보여주며, SMR 방식은 홀의 존재 여부와 상관없이 전체 네트워크 토폴로지 정보를 얻기 위해 시그널링 오버헤드가 노드의 수에 따라 일정하게 증가함을 보여 주고 있다. EDM 방식은 홀이 없을 경우 다중경로 설정을 위해 시그널링 오버헤드가 적고 우수하게 다중경로를 구성할 수 있지만, 홀이 존재하면 홀 주위에서 다중경로의 충돌 현상이 발생하여 홀 주위를 우회하기 위해 오버헤드가 많이 발생한다. 그러나 제안된 RDM방식은 홀에 대한 다중경로상의 홀 우회 알고리즘으로 홀 주위에서 충돌 현상이 없으며 홀의 정보를 얻기 위한 약간의 오버헤드가 발생한다.

그림7은 전체 네트워크 에너지 소비량을 보여주고 있다. 플러딩 방식인 SMR방식은 노드의 수가 증가함에 따라 급격하게 에너지 소비량이 급증하며 EDM 방식은 노드의 수와 관계없이 전체 네트워크 에너지 소비가 적게 들지만 홀이 있으면 홀로 인해 발생하는 에너지 소비량이 증가하게 된다. 그러나 RDM 방식은 홀을 피할 수 있는 규칙을 가지고 있어 홀 정보를 수집할 때에 만 약간의 에너지 소비가 추가로 발생된다.

그림8은 다중경로의 수에 따라 전체 다중경로 전송 시간을 보여준다. 다중경로의 수가 증가함에 따라 플러딩 방식의 SMR은 전송 시간이 급격하게 증가함을 볼 수 있었고 비플러딩 방식의 EDM과 제안된 RDM은 전송시간에 차이가 없음을 보여준다. 그림9는 홀의 사이즈에 따라 전체 에너지 소비량을 보여준다. 플러딩 기반의 SMR은 다중경로를 구성하기 위해 전체 네

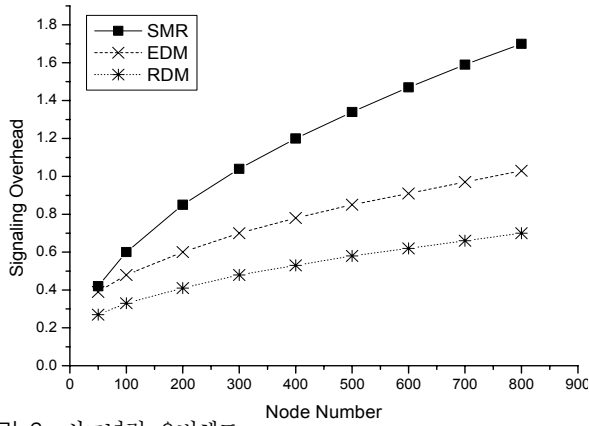


그림 6. 시그널링 오버헤드

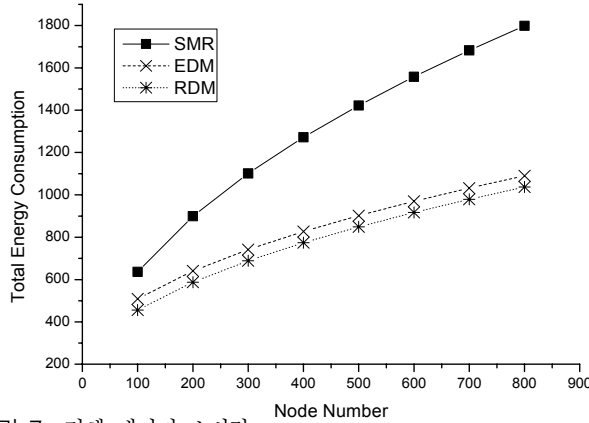


그림 7. 전체 에너지 소비량

트위크로 경로 설정을 위한 요구 메시지를 플래딩하기 때문에 홀 사이즈의 증가에 상관없이 노드의 수에 의해 결정되므로 전체 네트워크 소비에너지량은 일정함을 보여준다. 그러나 비플러딩 방식의 EDM은 홀의 사이즈가 증가함에 따라 홀을 피하기 위해 홀 주위에서 충돌이 많이 발생하여 경로 재설정을 위한 에너지 소비량이 많아짐을 보여준다. 제안된 RDM 방식은 다중경로에서도 홀을 피할 수 있는 알고리즘과 홀의 정보를 수집하는 홀 경계 감지 알고리즘을 통해 홀을 피한 다중경로를 구성하기 때문에 홀에 의한 에너지 소비량이 과다하게 발생하지 않는 장점을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 현재 무선센서네트워크에서 가장 매력적인 위치기반 라우팅 프로토콜을 적용하여 다중경로를 구성하지만 홀이 있는 불규칙 네트워크에서 명시적 노드 분리된 다중경로를 구성하기가 어렵다. 그리고 홀이 존재하는 불규칙 센서네트워크에서는 다중 경로 파이프라인을 구성하지 못하고 홀 주위 노드에

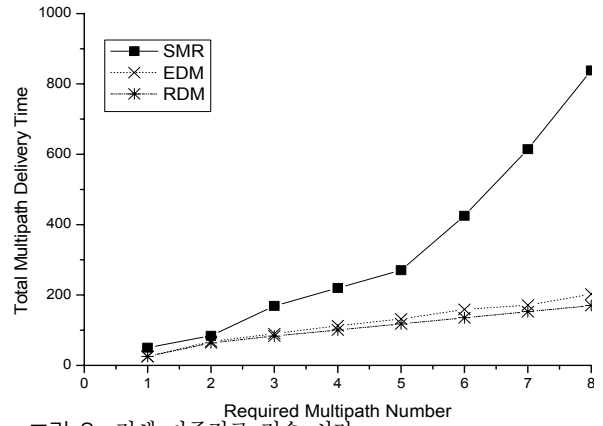


그림 8. 전체 다중경로 전송 시간

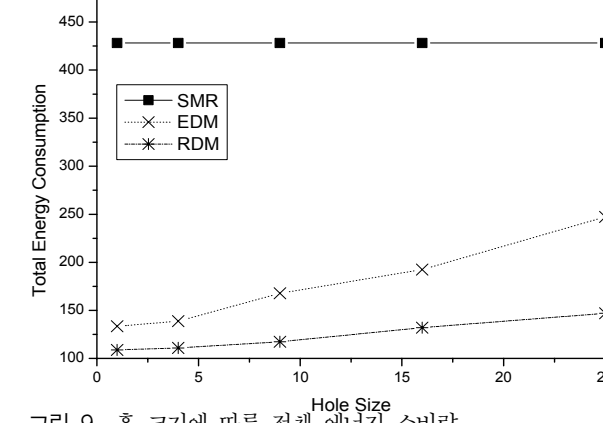


그림 9. 홀 크기에 따른 전체 에너지 소비량

서 데이터 패킷의 충돌 현상이 발생하여 에너지의 고갈 현상이 나타난다. 이러한 문제점을 효과적으로 개선하기 위해 다중경로 파이프라인 상에서도 패킷 충돌 없이 홀 우회 알고리즘과 홀 영역 감지하는 홀 경계 감지 알고리즘을 이용하여 효과적으로 노드가 분리된 다중경로를 구성할 수 있었고 분리된 다중경로를 통해서 간섭 없이 신뢰있는 데이터 패킷 전송이 가능함을 실험 결과를 통해서 볼 수 있었다. 제안된 방식은 홀이 존재하는 불규칙 무선센서네트워크에서 명시적 노드가 분리된 다중경로를 구성할 수 있으며 데이터 패킷 충돌현상 없이 에너지 효율적이고 간섭이 적은 개선된 다중경로를 제공해 주는 라우팅 방식을 보여준다.

참 고 문 헌

[1] B. Karp and H.T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," In *Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and*

- Networking*. Boston: ACM Press, 2000. pp. 243-254.
- [2] Q. Fang, J. Gao, and L. J. Guibas, "Locating and bypassing routing holes in sensor networks," In Proc. of IEEE INFOCOM, vol. 4, pp. 2458-2468, March 2004.
- [3] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, D. Estrin, "Highly-Resilient, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol. 5, Nu. 4, pp10-24, 2004.
- [4] S. J. Lee and M. Geria, "Split Multipath with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks," IEEE ICC, pp.3201-3205, 2001.
- [5] X. Li and L. Cuthbert, "A Reliable Node-Disjoint Multipath Routing with Low Overhead in wireless Ad hoc networks", ACM MSWiM, pp. 230-233, Oct. 2004.
- [6] R. Xiuli and Y. Haibin, "A Novel Multipath Disjoint Routing to support ad hoc wireless sensor networks", IEEE ISORC, April 2006.
- [7] S. Waharte and R. Boutaba, "Totally Disjoint Multipath Routing in Multihop wireless networks", IEEE ICC, pp. 5576-5581, June 2006.
- [8] W. Lou, W. Liu, Y.Fang, "SPREAD: Enhancing Data Confidentiality in Mobile Ad Hoc Networks", IEEE INFOCOM, pp.2404-2413, 2004.
- [9] W Lou, "An Efficient N-to-1 Multipath Routing Protocol in wireless sensor networks", IEEE MASS, Nov. 2005.
- [10] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.
- [11] H. W. Oh, J. H. Jang, K. D. Moon, S. C. Park, E. S. Lee and S. H. Kim, "An Explicit Disjoint Multipath Algorithm for Cost Efficiency in wireless sensor networks," PIMRC, Sep. 2010.
- [12] T. He, J.A. Stankovic, C. Lu, and T.F. Abdelzaher, "A Spatiotemporal Communication Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.16, No.10, October 2005, pp. 995-1006.
- [13] I.F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Seonsor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [14] S. J. Baek, G. d. Veciana, "Spatial Energy Balancing Through Proactive Multipath Routing in Wireless Multihop Networks," *IEEE TRANSACTIONS ON NETWORKIG*, Vol. 15, No.1, Feb. 2007

김 성 휘 (Sunghwi Kim)

정회원



1990년 2월 부산대학교 학사
2000년 2월 포항공과대학교 석사
2008년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 박사수료
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks 등

박 호 성 (Hosung Park)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET 등

이 정 철 (Jeongcheol Lee)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
2010년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, Multicast 등

오 승 민 (Seungmin Oh)

준회원



2009년 2월 충남대학교 전기정

보통신공학부 컴퓨터전공

2009년 3월~현재 충남대학교

컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

종신회원



1980년 서울대학교 학사

1984년 University of Houston

석사

1989년 University of Houston

박사

1992년~현재 충남대학교 전기

정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor

Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등