

# 비정형적인 무선 센서 네트워크에서 음영지역 자가 구성 실시간 라우팅 프로토콜

김상대\*, 김천용\*, 조현중\*, 임용빈\*, 김상하<sup>o</sup>

## A Hole Self-Organization Real-Time Routing Protocol for Irregular Wireless Sensor Networks

Sangdae Kim\*, Cheonyong Kim\*, Hyunchong Cho\*, Yongbin Yim\*, Sang-Ha Kim<sup>o</sup>

### 요약

무선 센서 네트워크의 실시간성은 단대단 거리를 기반으로 각 노드에서 유지해야할 최소 전송 속도를 정의하고 이를 만족하는 노드들을 매 홉마다 선택함으로써 일정 시간 내에 목적지까지 도달하는 것을 보장하는 것이다. 따라서 실시간성은 소스와 싱크사이의 거리에 매우 의존적이다. 하지만 전달과정 중 음영지역을 만난 경우에 이를 우회하기 위한 탐지 시간과 전송 노드에서는 예상할 수 없는 음영지역의 크기 때문에 이동 거리를 예상할 수 없게 된다. 따라서 노드는 실시간성을 위해 유지해야할 최소한의 전송속도를 정의할 수 없게 되고 실시간 전송에 문제가 발생한다. 따라서 이 문제를 해결하고자 음영지역 주변 노드 스스로 음영지역을 탐지하고, 이를 이용하여 소스는 음영지역을 탐지하지 않고 우회지점을 통해 고정된 거리를 우회함으로써 전송 중 음영지역으로 인한 문제를 해결하는 방안을 제안한다. 제안된 방안은 음영지역 경계노드들이 스스로 음영지역 근처에 위치하고 있는 것을 인지하고 상호간에 통신을 통하여 음영지역을 모델링함으로써, 데이터를 전송할 소스는 해당 음영지역 정보를 탐지하지 않고 우회하는 방법을 사용한다. 시뮬레이션은 기존방안에 비해 더 나은 실시간성을 가지는 것을 보인다.

**Key Words** : real-time service, hole problem, irregularity, routing, sensor networks

### ABSTRACT

The real-time data dissemination schemes exploit the spatiotemporal communication approach which forwards data at the delivery speed calculated with the desired time deadline and the end-to-end distance in wireless sensor networks (WSNs). In practical environments, however, the performance of the real-time data dissemination might be degraded by additional and inevitable delay due to some holes. Namely, the holes lengthen the data delivery path and the spatiotemporal approach could not estimate a distance of the data delivery path. To deal with this, we propose A Hole Self-Organization Real-time Routing Protocol for Irregular Wireless Sensor Networks. In proposed protocol, nodes around holes could detect them at deploying phase. A hole is represented as a circle with center point and radius. This hole information is processed and provided as a form of location service. When a source queries a destination location, location provider replies certain points for avoiding holes as well as destination location. Thus, the source could set desired speed toward the destination via the points. Performance evaluation shows that provides better real-time service in practical environments.

\* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2012R1A1A2044460)

• First Author : Chungnam National Univ. Department of Computer Engineering, sdkim@cclab.cnu.ac.kr, 정회원

o Corresponding Author : Chungnam National Univ. Department of Computer Engineering, shkim@cnu.ac.kr, 종신회원

\* 충남대학교 컴퓨터 공학과 네트워크 연구실 ({sdkim, cykim, hcho, ybyim}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2014-02-063, Received February 20, 2014; Revised May 8, 2014; Accepted May 8, 2014

## I. 서 론

무선 센서 네트워크에서 위치기반 라우팅<sup>1-2)</sup>은 데이터를 전송할 때 전체 토폴로지 정보를 이용하지 않고 위치 정보를 이용하기 때문에 좀 더 효율적이고 간단하며, 확장 가능한 프로토콜로 알려져 있다. 이 위치기반 라우팅은 몇 가지 조건을 필요로 한다. 첫째로, 각 노드들은 자신의 위치와 자신의 1-홉 내의 노드들의 위치를 비코닝을 통해 알고 있다. 둘째, 각 노드는 Global Positioning System (GPS) 신호<sup>3)</sup>를 이용하여 자신의 위치를 알고 있으며, 마지막으로 소스 노드는 localization techniques<sup>4)</sup>을 이용하여 목적지의 정보를 알아 올 수 있다. 이를 통하여, 각 전송노드는 1-홉 내에서 목적지에 제일 가까운 노드를 선택하여 전송하는 과정을 반복하여 목적지 노드, 즉 싱크까지 데이터 패킷을 전송한다. 노드의 통신범위가 제한적인 무선 센서 네트워크에서 이 방법은 소스 노드와 목적지 노드와의 거리에 비례하여 홉 수가 늘어나므로, 소스 노드에서 목적지 노드까지 데이터를 전송할 때, 최단 거리를 통해 목적지로 데이터를 전달함으로써 지나가는 홉 수를 최소화 할 수 있다.

따라서, 위치기반 라우팅은 의료 및 군사 분야 등 제한된 시간 내에 전송을 완료해야 하는 환경에서, 소스 노드로부터 목적지 노드사이의 직선거리를 기반으로 각 노드에서 유지해야 하는 최소한의 전송속도를 계산, 유지함으로써<sup>5)</sup> 실시간성을 만족 시킬 수 있다.

하지만 센서 네트워크는 수많은 노드들을 계획적으로 배치할 수 없고 임의적으로 배치된 네트워크이기 때문에 노드의 배치가 매우 불규칙 적이다. 따라서 이 방법은 소스 노드가 데이터 패킷을 전송할 때 예상한 목적지 노드까지의 직선경로 중에 센서 네트워크의 불규칙성에 의하여 발생한 음영지역을 만나게 되면, 전송 노드는 계산된 최소한의 전송속도를 만족하는 주변 노드를 찾을 수 없는 로컬 미니멈 (local minimum)<sup>8)</sup>문제가 발생하게 되어 데이터 전송에 실패하게 된다.

이 문제를 해결하기 위하여 많은 연구들이 진행되어 왔고 크게, 자신을 기준으로 음영지역 주변의 둘레에 위치한 노드들을 경유하여 데이터를 전송하는 우수법 (Right-Hand rule)<sup>1,8-10)</sup>과 자신의 이전 노드에게 자신을 제외한 다른 후보를 선택하게 만드는 백 프레스 (back pressure)<sup>5,11)</sup>가 있다. 하지만 이 방법들은 소스 노드가 데이터를 전달하기 이전에 음영지역의 위치나 모양, 규모에 대해서 알 수 없는 상태에서 그리디 포워딩 (greedy forwarding)을 수행하기 때문에,

만약 각 노드가 데이터를 전송 하는 중 음영지역을 만나게 되면 해당 전송 노드 (stuck node<sup>8)</sup>)는 자신이 음영지역을 우회하기 위한 거리의 증가량을 예측할 수 없기 때문에 요구되는 최소 전송속도를 계산할 수 없고 실시간성이 크게 저하되거나 심지어 전송에 실패하게 된다.

이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 음영지역 주변에 위치한 노드들이 비코닝을 통해 스스로 자신이 음영지역의 경계에 위치하고 있다는 것을 인지하고 음영지역을 탐지하여 이를 우회하기 위한 원형 모델을 구성한다. 구성된 음영지역의 정보는 위치서버에 저장되며, 임의의 소스 노드가 데이터 전송을 위해 목적지의 위치정보를 요청한다. 요청을 받은 위치 서버는 해당 소스 노드로부터 목적지 사이의 데이터 전송 경로에 음영지역이 존재하는지 판단한다. 만약 전송 경로상에 음영지역이 위치한다면, 위치서버는 해당 음영지역을 경유하기 위한 경유 지점을 계산하여 목적지의 위치정보와 함께 반환한다. 이를 통하여 소스 노드는 목적지 위치와 함께 경유 지점에 대한 정보를 알게 되고, 소스 노드는 음영지역을 우회하여 목적지로 데이터를 전송하게 된다. 이를 통하여 실시간성을 보장하는 비정형적인 무선 센서 네트워크에서의 음영지역자가 구성 실시간 라우팅 프로토콜(HSORP)을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 기존의 실시간성을 보장하는 연구들과 음영지역 모델링에 관한 연구들에 대해 간략히 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 HSORP에 대하여 설명하며, 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 다양한 측면에서 성능평가를 수행한 결과를 제시하고 5장에서 본 논문의 결론을 짓는다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 제한된 시간 내에 목적지에 데이터 패킷을 전송하기 위한 실시간성 연구는 활발히 진행되어 왔다. 실시간성을 다룬 대표적인 논문으로는 SPEED<sup>15)</sup>가 있다. SPEED에서는 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 거리를 요구된 전송시간으로 나누어 각 노드단위로 최소 요구 전송속도를 계산, 전송노드에서 다음 후보 중 계산된 요구 전송 속도를 만족시키는 노드를 선택하여 전송, 이를 반복하여 최종적으로 실시간성을 만족시키는 방법이다. 이는 정형적인 센서 네트워크 형태에서는 아무 문제없이 데이터 패킷의 실시간성을 보장할 수 있지만 장애물(혼잡지

역 또는 음영지역)이 있는 경우 백 프레셔를 통하여 자신의 이전 노드에게 자신은 혼잡지역 또는 음영지역에 위치하므로 자신을 제외한 다른 후보노드를 선정하게 만들며 해당 데이터 패킷은 전송에 실패하게 된다. 게다가 상황에 따라 반복적으로 자신의 이전 노드에게 계속 백 프레셔를 수행하는 경우가 있을 수 있으며, 백 프레셔를 수행하여 다른 경로를 선정하여도 선택 가능한 노드의 수가 줄어들게 되어 실시간성이 크게 저하시킨다.

MMSPEED<sup>[6]</sup>는 SPEED를 기반한 확장 프로토콜로 다중경로를 통해 신뢰성 있는 통신을 제공한다. 실시간성을 만족시키기 위해 [6]는 요구 전송 속도를 만족하는 여러 경로를 생성하여 데이터를 전송한다. 하지만, 각 경로들은 전체 네트워크 정보를 알 수 없기 때문에, 서로의 전송 경로를 알지 못한다. 따라서 음영지역과 같은 장애물을 만나게 되는 경우, 확률적으로 전송과정 중 경로가 통합되어, 다중 경로의 장점을 상실하게 된다. 따라서 장애물을 만나는 경우, 실시간성이 크게 저하된다.

[7]은 SPED나 MMSPEED와 같이 다음 후보를 선정할 때, 계산된 요구 전송속도를 만족시키는 1홉 이웃만을 선정하여 경로를 탐색하는 것이 아니라, 목적지까지의 멀티 홉 이웃의 정보를 미리 계산하여 경로를 선정하는 방법으로, 기존의 방법에 비해 실시간성을 향상 시켰으나, 멀티 홉에 거쳐 경로를 선정해야 하기 때문에 음영지역과 같은 장애물을 만나게 되는 경우, 이를 우회하기 위한 계산량이 급격히 증가하게 증가하여 에너지 소비량이 급격히 증가한다. 또한 경로를 계산하는 시간이 늘어남에 따라 실시간성이 저하된다.

이 외에 다른 라우팅 프로토콜들은 장애물을 만나면 우수법을 사용하여 경계 라우팅 (perimeter routing)을 수행하거나 음영지역 모델링을 수행하여 해당 음영지역을 우회하여 지나가게 된다. 우수법을 수행하는 GPSR<sup>[9]</sup>은 음영지역 주변 노드들을 따라 음영지역 경계를 순회하며 목적지 노드로 데이터를 전달하게 된다. 하지만 이 방법은 제한된 에너지를 가지는 음영지역 주변의 노드들을 계속 순회하며 목적지 노드로 데이터를 전달하기 때문에 음영지역 주변 노드들의 급격한 에너지 소모를 야기하며, 음영지역 확산 문제를 발생시킬 수 있다. 또한 데이터 패킷을 전달할 노드가 그리드 영역에 후보가 전혀 없는 stuck node라면 해당 전송 노드는 데이터패킷을 목적지 반대방향으로 데이터 패킷을 전달하는 역방향 전송 (negative forwarding) 문제가 발생하게 되어 실시간

성이 크게 저해된다. Ye Tian et al.<sup>[12]</sup>은 음영지역 주변의 노드를 경계 라우팅을 통해 해결할 경우 가지는 문제점(음영지역 확산, 역방향 전송 등)을 해결하기 위해 제안되었다. 소스 노드가 목적지노드로 데이터 패킷을 전송하는 도중 stuck node를 만나면 해당 노드는 음영지역 탐지를 수행하여 해당 음영지역을 모두 포함하는 원형 음영지역 모델링을 수행하고, 원형 음영지역 모델링에 포함된 노드들에게 각각이 음영지역 경계라고 알려준다. 이를 이용하여 소스 노드가 전송한 데이터 패킷이 모델링된 음영지역 경계 노드를 만나게 되면 해당 노드에서 모델링된 원의 접선방향으로 정해진 거리만큼 벗어나 다시 목적지를 향해 그리디 포워딩 (greedy forwarding)을 수행하게 된다. 하지만 이 방법은 음영지역이 크거나 목적지가 음영지역에 너무 가까운 경우 한번 음영지역을 우회하더라도 또 다시 같은 음영지역을 만나 다시 접선을 그려 정해진 거리를 벗어나 전송해야하므로, 실시간성이 매우 떨어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 상기의 문제들을 해결하기 위하여 사전에 음영지역을 모델링하여 데이터 전송 시점에서 미리 우회지점을 지정하여 실시간성을 만족하는 프로토콜을 제안하고자 한다.

### III. 제안 방안

본 논문에서는 실시간성 보장에 중점을 두고 있기 때문에, 앞서 언급한 위치기반 라우팅에 필요한 조건들은 만족하고 있다고 가정한다. 다시 말해, 네트워크에 여러 개의 위치서버가 존재하며, 각 위치서버들은 서로 간에 위치정보들을 공유하고 있다. 또한, 각 노드들은 위치서버의 위치를 알고 있으며<sup>[13-14]</sup>, 자신의 위치와 자신의 1-홉 내의 노드들의 위치를 비코닝을 통해 알고 있으며, Global Positioning System(GPS) 신호를 이용하여 자신의 위치를 알고 있다고 가정하며, 위치 값에 대한 오차는 없다고 가정한다. 각 노드는 네트워크 전개 시에 수동 설정 또는 네트워크 전개 후에 자동감지 방안<sup>[13-14]</sup>을 통하여 자신이 네트워크 경계에 위치하는지 여부를 알 수 있다.

#### 3.1 네트워크 초기화

이 단원에서는 소스 노드가 발생한 데이터를 전송하기 이전의 네트워크 초기화 단계를 순차적으로 설명한다. 그림 1은 네트워크 전개 시 음영지역을 스스로 탐지하는 방법을 보여준다. 네트워크 전개 후, 각 센서 노드들은 비코닝을 통하여 자신 주변 노드들의 정보를 알아올 때, 자신 주변을 가상의 4분위로 나누

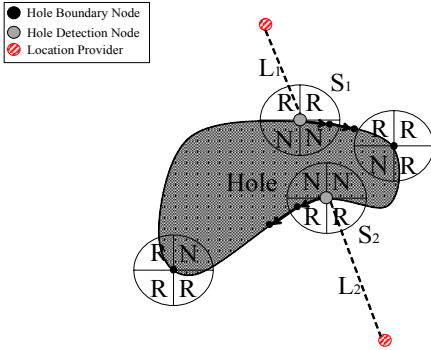


그림 1. 음영지역 모델링 과정  
Fig. 1. Hole modeling scenario

어 이웃 노드의 위치정보와 자신의 위치정보를 비교한다. 이를 통하여 자신의 주변 4분면을 각각 이웃이 존재하는 사분면(Response Area, RA), 이웃이 존재하지 않는 사분면 (Non-response Area, NA)로 나눈다. 이 때, NA를 하나이상 가진 사분면은 자기 자신을 음영지역 경계 노드 (Hole Boundary Node, HBN)으로 인식한다. 이 HBN들 중에서 NA를 두 개 이상 가진 노드들은 스스로를 음영지역 탐지 노드(Hole Detection Node, HDN)으로 인식하고, 자신을 기준으로 우수법을 통하여 자신이 속한 음영지역을 탐지한다. HDN은 음영지역을 탐지하기 위하여 자신과 가장 가까운 위치서버와의 거리(L)을 포함한 음영지역 탐지 메시지(Hole Detection Message, HDM)를 전송한다. 각 HBN들은 HDN가 보낸 HDM을 받으면 자신의 위치정보를 저장하고, 우수법을 통하여 계속 포위당 한다. 이 과정을 통하여, 최초로 HDM을 전송한 HDN이 자신의 HDM을 다시 전달받아 음영지역을 구성하는 HDN들의 정보를 알게 된다.

만약, 하나의 음영지역에서 두 개 이상의 HDN가 존재한다면, 각 HDN들은 HDM을 전송하게 되며 다른 HDN이 보낸 HDM에 대해서 위치서버와의 거리 L을 통해 위치서버와의 거리가 보다 짧은 HDN이 음영지역 탐지를 수행하게 하며, 다음과 같은 수식을 통해 포위당 여부를 판단하게 된다.

$$\begin{aligned}
 L' &= \text{전달받은 HDM에 포함된 거리정보} \\
 L &= \text{자신의 거리정보} \\
 f(x) &= L' - L
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

이를 통하여 다른 HDN이 전달한 HDM을 수신한 HDN은 수식 (1)을 계산한다. 만약  $f(x)$ 가 양수라면

수신한 HDM을 폐기하고,  $f(x)$ 가 음수라면 수신한 HDM이 계속 음영지역을 탐지할 수 있게 HDM을 포위당한다.

그림 1을 통하여 앞서 설명한 네트워크 전개 시 음영지역을 탐지하는 방법에 대해 설명하면, 음영지역에 위치한 노드들은 비코닝을 통해서 자신 주변의 4방위를 각각 RA와 NA로 판단하게 되고, 하나 이상의 NA를 가진 노드들은 스스로 HBN이라 인식하며 두 개 이상의 NA를 가진 노드들은 HDN이라 인식한다. 그림 1에서  $S_1$ 과  $S_2$ 는 스스로를 HDN이라 인식하고 우수법을 통하여 자신의 HDM을 전달한다.  $S_1$ 이 전달한 HDM은 음영지역의 경계를 탐지하다가  $S_2$ 를 만나게 된다. 이 때,  $S_2$ 에서는  $S_1$ 이 전달한 HDM에 포함된 거리정보  $L_1$ 과, 자신과 위치서버와의 거리  $L_2$ 를 비교하게 된다. 비교결과  $L_1$ 이  $L_2$ 보다 짧으므로,  $S_2$ 에서는  $S_1$ 의 HDM이 음영지역 탐지를 완료할 수 있게 포위당하게 된다. 반대로,  $S_2$ 의 HDM이  $S_1$ 에 도착하게 되면,  $S_1$ 과 위치서버와의 거리  $L_1$ 이  $S_2$ 의 HDM에 포함된 거리정보  $L_2$ 보다 짧으므로,  $S_2$ 의 HDM을 폐기한다.

위 과정을 거쳐 하나의 HDM이 음영지역 탐지를 완료할 수 있으며, 음영지역 탐지가 끝나면 수집된 정보를 통하여 전체 음영지역을 포함하는 중심점 C와 반지름 R인 원을 구성한다. 중심점 C는 수집된 경계 노드들의 최대 x좌표, 최소 x좌표, 최대 y좌표, 최소 y좌표를 통하여 계산하고, 반지름 R은 전체 음영지역을 포함하기 위해서 수집된 HBN중에서 중심점 C로부터 가장 멀리 떨어진 HBN과의 거리로 계산한다. 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 C(x,y) &= ((x_{\max} + x_{\min})/2, (y_{\max} + y_{\min})/2) \\
 R &= C\text{로부터 가장 멀리 떨어진 HBN과의 거리}
 \end{aligned}$$

이를 통하여 음영지역에 대해 중심점 C와 반지름 R로 모델링이 완료되면, 위치 서버에 해당 음영지역 정보를 전송 및 저장한다.

### 3.2 음영지역 경유 데이터 전송 방법

본 논문에서 앞서 언급했듯이, 실시간성을 만족하기 위해서는 고정된 거리와 요구되는 시간을 통해 최소한의 전송 속도를 정의하고 이를 만족하는 노드를 선택하여 목적지까지 전송하게 된다. 따라서 최소한의 전송 속도를 정의하기 위해 고정된 거리가 필요하다.

이 단원에서는 전 단원의 네트워크 초기화를 기반으로 데이터를 실시간으로 보내기 위한 방법에 대해 순차적으로 설명한다.

3.2.1. 음영지역 경유 확인

임의의 소스 노드  $S$ 가 데이터를 전달하기 위하여 목적지노드  $D$ 의 정보를 위치 서버로부터 알아 올 때 위치서버는 그림 2와 같이 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 최단 직선거리상에 음영지역이 존재하는지 판단하게 된다. 판단 방법은 다음과 같다.

$S(x_1, y_1)$ ,  $D(x_2, y_2)$  일 때  
 직선 방정식  $y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$  (2)

우선 소스 노드  $S$ 와 목적지 노드  $D$ 를 지나는 직선의 방정식을 계산하여  $y = ax + by + c$ 의 꼴로 고친다. 그 다음 보고된 음영지역의 중심점  $C$ 의 좌표를 이용하여 다음과 같이 직선과 점 사이의 거리를 계산한다.

$C(x_1, y_1)$ 일 때,  $d = \frac{|ax_1 + by_1 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$  (3)

계산된 거리  $d$ 가 음영지역의 반지름  $R$ 보다 크다면 소스 노드에서 목적지 노드로 가는 최단 직선 경로 중에 음영지역을 만나지 않는다고 판단하며 목적지 노드  $D$ 의 위치 정보만을 반환한다. 이와 반대로 거리  $d$ 가 반지름  $R$ 보다 작거나 같다면 소스 노드로부터 목적지 노드로의 데이터 전송과정 중 음영지역을 만난다고 판단하고 목적지 노드  $D$ 의 위치정보와 음영

지역을 우회하기 위한 경유 노드의 위치정보를 함께 반환한다.

3.2.2 경유노드의 위치결정 방법 및 데이터 전송

제안 방안에서, 경유 노드는 단순한 음영지역 우회 지점만이 아니라 최소 요구 전송 속도를 계산하기 위하여 목적지까지의 거리를 고정시키며, 요구 속도를 만족하는 충분한 수의 후보를 확보하는 것에 더 큰 의미가 있다. 그림 3에서 (a)와 같이 모델링된 도형을 따라 라우팅을 하게 되는 경우 모델링된 내부의 노드들은 선택될 수 없으므로 선택 가능한 후보의 수가 급격히 줄어들어 전송에 실패할 수 있으며, 해당 음영지역의 소스 노드의 수가 늘어나게 되면 모델링된 음영지역 주변의 노드의 에너지가 급격히 소모되어 음영지역이 확산되는 문제가 발생할 수 있다. 그리고 (b)와 같이 경유 노드를 임의로 너무 멀리 지정하게 되면 목적지까지 고정된 거리가 너무 길어져 제한된 시간 내에 전송을 하기 위한 요구 속도가 너무 높아져 이를 만족하는 노드의 수가 없어 전송에 실패할 수 있다. 따라서 경유 노드는 적당한 거리와 충분한 수의 후보를 확보하는 노드로 선정해야 한다. 제안 방안에서는 상기의 요구조건을 만족하는 경유 노드를 선정하기 위해서 음영지역의 중심점  $C$ 와 반지름  $R$ 을 활용한다. 그림 4는 위치 서버가 경유 지점을 결정하는 방법에 대한 그림이다. 소스 노드로부터 목적지 위치에 대한 요청을 받은 위치 서버는 이전 절을 통해 경로상에 음영지역이 있음을 알게 된다. 위치 서버는 모델링된 음영지역과 소스 노드의 접선  $S_1$ ,  $S_2$ 를 계산하고, 모델링된 음영지역과 목적지와의 접선  $D_1$ ,  $D_2$ 를 계산하여, 두 접선의 교차점  $A_1$ ,  $A_2$ 를 구한다. 마지막으

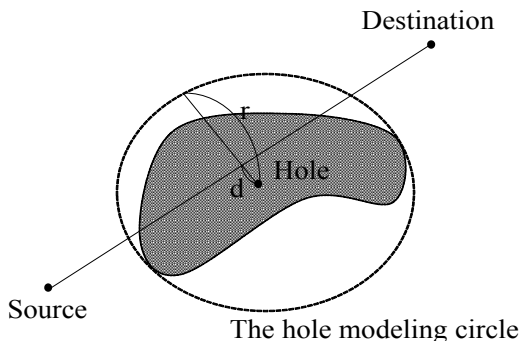


그림 2. 음영지역 경유 판단 예제  
 Fig. 2. An example of check line equation go through hole or not

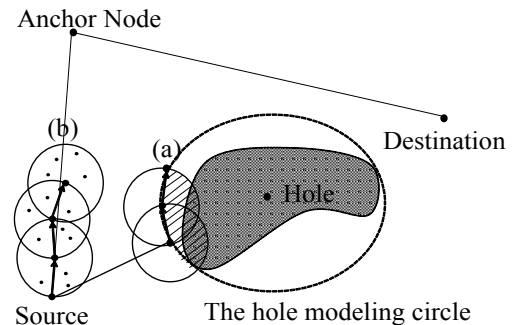


그림 3. 부적절한 경유 지점과 경계라우팅 예제  
 Fig. 3. An example of unsuitable anchor node and perimeter routing

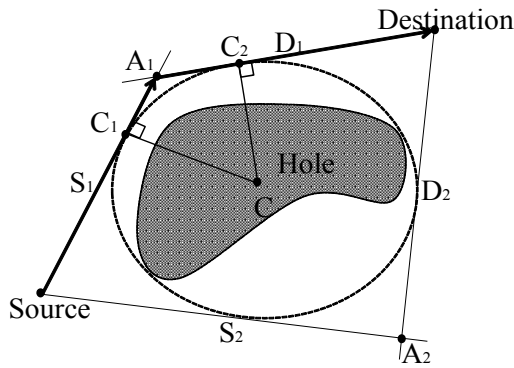


그림 4. 경유 지점 결정 예제  
Fig. 4. An example of anchor point decision

로 두 교차점  $A_1, A_2$  중 우회거리가 더 짧은 교차점  $A_1$ 을 선택하여 해당 교차점을 경유 지점으로 선정하고, 소스 노드에게 목적지의 위치정보와 경유 지점  $A_1$ 를 알려준다.

소스 노드는 목적지가 변하지 않는 한, 단 한번만 상기의 과정을 수행하며 같은 목적지에 대하여 같은 경유 지점을 통하여 목적지에 데이터를 전달하게 된다. 경유 지점을 알게된 소스 노드는 고정된 거리에 맞게 요구속도를 계산한 뒤 경유 지점을 거쳐 목적지로 데이터 패킷을 전송하게 된다.

### 3.2.3 다중 음영지역의 우회 방법

이전 단원에서는 소스 노드로부터 목적지 노드로의 직선 경로 중에 단 하나의 음영지역이 존재하는 경우에 경유 노드의 위치 설정 및 데이터 전송 방법에 대하여 설명하였다. 하지만 실제 무선 센서 네트워크에서는 네트워크 불규칙성 및 환경변화에 의하여 여러 개의 음영지역을 만날 수 있다. 이번 단원에서는 소스 노드가 데이터 패킷을 전송할 때, 두 개 이상의 음영지역을 만나게 되는 경우 이를 우회하는 방안에 대해 설명한다.

두 개 이상의 음영지역이 존재하는 경우, 이전의 방법들을 반복적으로 사용하여 경유하는 음영지역을 확인 및 우회 할 수 있다. 우선, 이전의 방법과 마찬가지로 소스 노드가 목적지의 정보를 알아오기 위하여 위치서버에게 목적지의 정보를 요청하면, 위치 서버는 소스 노드로부터 목적지 노드로의 최소 직선거리에 음영지역이 존재하는지 판단하고, 음영지역이 존재한다면 해당 음영지역을 경유하기 위한 경유 지점을 계산한다. 이 때, 위치 서버는 소스 노드에서 계산된 경유 지점까지의 직선경로, 또는 계산된 경유 지점에서

목적지 노드까지의 직선 경로에 음영지역이 존재하는지 판단한다. 그리고 해당 경로에 대한 음영지역을 우회하기 위한 새로운 경유 지점을 선정하며, 새로운 직선 경로에 대해 반복하여 전송 중에 만나게 되는 모든 음영지역에 대한 경유 지점을 최종 목적지의 위치정보와 함께 소스 노드에게 반환한다.

그림 5를 통해 좀 더 상세히 설명해보면, 그림 5에서 소스 노드는 목적지 노드로 데이터 패킷을 전송하기 위해 위치 서버에게 목적지 정보를 요청한다. 위치 서버는 목적지 정보를 요청한 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 경로 중에 음영지역이 있음을 인지하고, 음영지역을 우회하기 위한 경유 지점  $A_1$ 과  $A_2$  중 우회거리가 짧은  $A_1$ 을 선택한다. 그 다음 경유 지점  $A_1$ 로부터 목적지 노드까지의 직선거리 중에 만나게 되는 음영지역에 대해서 한 번 더 경유 지점을 계산한다. 위치서버는  $A_1$ 로부터 목적지까지의 경로 중에 만나는 음영지역을 우회하기 위하여 다음 경유 지점  $C_1$ 과  $C_2$  중에 우회거리가 짧은  $C_1$ 을 다음 경유 지점으로 계산하고, 소스 노드에게 목적지의 정보와 경유 지점  $A_1, C_1$ 의 위치정보를 반환한다. 즉, 다중 음영지역이 존재하여 이를 우회하는 경우에 대해서는 최초로 선정된 경유 지점과 직선 경로 중에 다른 음영지역이 존재하는지 재귀적으로 반복하여 계산, 각 음영지역의 경유 노드를 선정함으로써 거리를 고정시켜 목적지까지 전달하는데 필요한 최소 요구속도를 계산, 이를 만족하는 노드를 통하여 데이터 패킷을 전송함으로써 음영지역을 우회하며 실시간성을 보장한다.

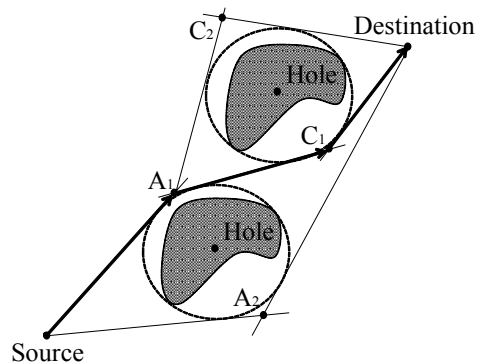


그림 5. 제안방안에서 다중 음영지역을 경유하는 시나리오  
Fig. 5. Scenario of multiple holes detour in proposed algorithm

#### IV. 성능 분석

이 장에서는, 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜의 성능을 평가한다. 먼저 시뮬레이션 환경과 성능평가 항목에 대해 서술하고, 이후 대표적인 실시간성 연구인 [5], [6], [7]과 비교를 통해 제안방안의 성능을 평가한다.

##### 4.1 시뮬레이션 환경과 성능 평가 항목

우리는 제안된 프로토콜을 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 4.0<sup>[17]</sup>으로 구현하였다. 소스 노드와 목적지 노드를 포함한 1000개의 센서 노드들을 1000m x 1000m 필드에 임의적으로 분산시켰다. 센서 노드의 전송범위는 30m이며, 센서 노드의 전송, 수신 그리고 대기 전력 소비비율은 각각 33, 24, 그리고 0.03mW이다. 노드의 성능은 MICA specification<sup>[18]</sup>을 참조하였다.

우리가 제안한 프로토콜의 성능을 분석하고 비교하기 위한 성능평가 항목과 용어들을 정리하면 다음과 같다.

**전송실패율**은 소스 노드로부터 생성된 패킷의 수에 대비하여, 제한된 시간 내에 성공적으로 목적지 노드에 도달하지 못한 패킷의 수의 비율로 정의된다.

**에너지 소비량**은 제어 메시지, 데이터 패킷의 송수신을 위해 네트워크 내의 전체 센서 노드들이 소비하는 에너지의 총합으로 정의한다.

**종단간 제한시간**은 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 제한된 시간으로 정의한다. 이 제한시간이 작을수록, 실시간성을 만족시키기 위한 데이터 전송속도는 더욱 빨라져야 한다.

**종단간 거리**는 소스 노드로부터 목적지 노드까지의 최단 직선거리로 정의한다. 이 거리가 길수록 실시간성을 만족시키기 위한 데이터의 전송속도는 더욱 빨라져야한다.

**소스 노드의 수**는 데이터가 발생하여 목적지 노드의 데이터를 전송하려는 노드의 수로 정의된다. 같은 음영지역을 지나려는 소스 노드의 수가 증가할수록 음영지역 주변의 혼잡도가 증가한다.

##### 4.2 종단 간 제한시간에 따른 시뮬레이션 결과

그림 6은 종단 간 제한시간의 변화에 따른 전송 실패율을 종단간 거리를 800m로 고정하고 측정한 결과 그래프이다. 두 프로토콜 모두 제한시간이 늘어날수록 점차 전송 실패율이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이것

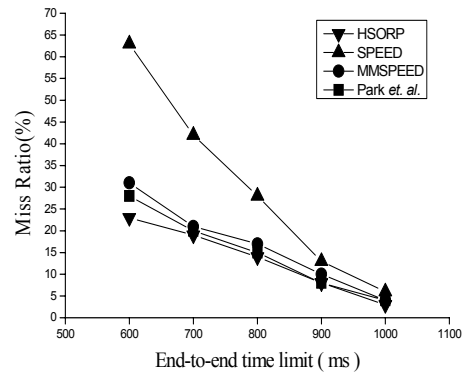


그림 6. 종단 간 제한시간에 따른 전송실패율  
Fig. 6. Miss Ratio versus E2E time limit

은 제한된 시간이 늘어날수록 단위 노드 당 요구되는 전송 속도가 낮아지고 네트워크의 불규칙성 및 환경 변화에 의한 제어 메시지를 교환하는데 충분한 시간을 제공할 수 있기 때문이다. 상기의 그래프에서는 SPEED와 MMSPEED에 비해 제안된 프로토콜이 짧은 요구 시간에서 전송실패율이 현저히 낮게 나타난다. 이것은 SPEED는 백 프레스서 방법을 통해 제어 메시지를 주고받으면서 음영지역을 우회하기 때문에 요구되는 시간이 짧을수록 제어메시지의 송수신이 실시간성에 크게 영향을 주기 때문이다. 그리고 MMSPEED의 경우 기본적으로 SPEED에 기반하여 확률적으로 다중경로를 생성하여 데이터를 전송하기 때문에 제안된 프로토콜과 유사한 성능을 보인다. [7]의 경우, 실시간성을 달성할 수 있는 경로를 멀티 홉 이웃 정보를 모두 수집하여 미리 결정한 뒤, 데이터를 전송하기 때문에 제안된 프로토콜과 유사한 성능을 보인다. 제안된 프로토콜에서는 미리 음영지역을 확인하여 경유 지점을 통해 우회함으로써 별도의 제어 메시지를 필요로 하지 않기 때문에 실시간성에 크게 영향을 미치지 않는다. 다만 모든 프로토콜이 제한 시간이 짧아질수록 단위 노드 당 요구되는 전송속도가 높아지므로 다음 전송 후보 노드가 줄어들어 전송 성공률이 떨어져 실시간성이 떨어지게 된다.

##### 4.3 종단간 거리변화에 따른 시뮬레이션 결과

그림 7은 종단간 거리의 변화에 따른 전송 실패율을 종단 간 제한시간을 800ms로 제한하고 측정한 결과 그래프이다. 두 프로토콜 모두 종단간 거리가 증가할수록 전송 실패율이 증가하여 실시간성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이것은 종단간 거리가 증가할수록 요구 속도가 증가하기 때문에, 위치 기반 라우팅에서

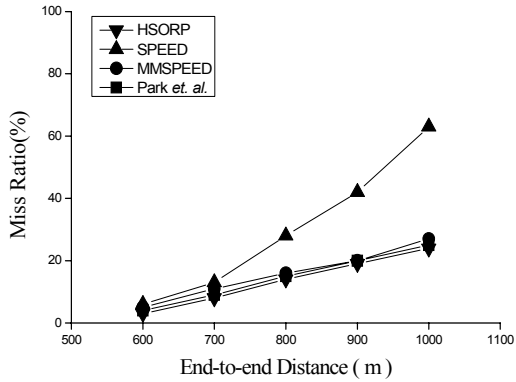


그림 7. 종단 간 거리의 변화에 따른 전송실패율  
Fig. 7. Miss Ratio versus E2E distance

다음 노드를 선정할 때 속도를 만족시키는 후보 노드의 수가 줄어들기 때문이다. 시뮬레이션 결과에서, 제안된 프로토콜과 SPEED, MMSPEED, [7] 모두 거리가 짧을 때에는 충분한 수의 후보 노드가 있어 낮은 실패율을 보이게 되지만 종단 간 거리가 멀어질수록 SPEED보다 제안된 프로토콜과 MMSPEED, [7]이 낮은 실패율을 보인다. 이것은 다음 전송 후보노드의 수가 점차 줄어드는 가운데 네트워크의 불규칙성 및 환경변화에 의하여 음영지역을 지나가게 되는 등의 문제가 발생, 이를 해결하기 위해 SPEED에서 백 프레서를 이용하여 데이터를 전송하는 것이 전송시간에 상당히 영향을 미치기 때문이다.

그림 8에서는 전송 실패율을 고려하지 않고, 종단 간 거리가 에너지 소비량에 미치는 영향만을 측정할 결과 그래프이다. 비교 프로토콜 모두 종단간 거리가 늘어날수록 포워딩을 위한 전송노드의 수가 늘어나 에너지 소비량이 늘어나게 된다. 전체적으로

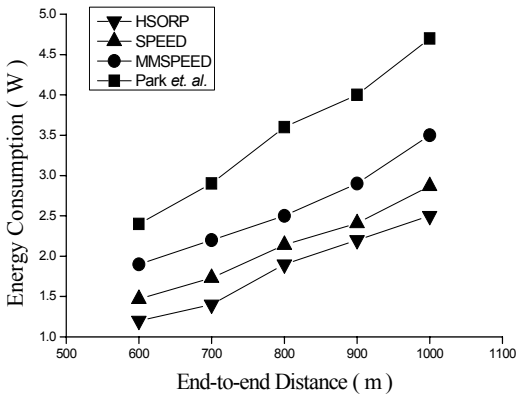


그림 8. 종단 간 거리의 변화에 따른 에너지 소비량  
Fig. 8. Energy Consumption versus E2E distance

MMSPEED와 [7]이 제안된 프로토콜과 SPEED보다 높은 에너지 소모율을 보이며, 제안된 프로토콜 보다 SPEED가 조금 더 높은 에너지 소모율을 보인다. 이것은 MMSPEED는 확률적인 다중경로를 사용하여 여러경로를 통해 목적지를 찾아가기 때문에 에너지 소모율이 높으며, [7]의 경우, 목적지까지의 경로를 미리 선정하기 위해 다중 홉의 이웃정보를 모두 수집해야하기 때문에 에너지 소모율이 다른 두 프로토콜에 비해 월등히 높으며, SPEED는 네트워크 불규칙성에 의한 음영지역을 우회하기 위해 추가적인 제어 메시지 전송 및 재전송이 일어나는 반면 제안된 프로토콜은 음영지역을 우회하기 위한 별도의 제어 메시지를 필요로 하지 않기 때문이다.

#### 4.4 소스 노드의 수에 따른 시뮬레이션 결과

그림 9는 데이터 패킷을 발생시키는 소스 노드가 하나 이상인 경우에 에너지 소모율을 종단 간 거리를 800m로 설정하고 측정할 결과이다. 모든 프로토콜이 소스 노드의 수가 증가할수록 에너지 소비량이 늘어나는 것을 보인다. 이것은 소스 노드의 수가 늘어날수록 데이터 패킷 전송에 참여하는 노드의 수가 늘어나게 되기 때문이다. MMSPEED가 데이터를 전송하는 경우 다중경로를 생성하고, 다중경로가 늘어나는 만큼 네트워크의 혼잡이 증가하기 때문에 SPEED나 제안된 프로토콜에 비해 에너지소모율이 높으며, [7]은 각 소스들이 목적지에 대하여 멀티 홉 이웃 정보를 모두 수집하기 때문에 에너지 소모율이 가장 크다. SPEED의 경우 소스 노드의 수가 증가하게 되고 음영지역을 우회하기 위한 제어 메시지 교환 및 혼잡에 의한 재전송으로 제안된 프로토콜에 비해 에너지 소비량이 높다. 하지만 제안된 프로토콜은 음영지역을 우회하기

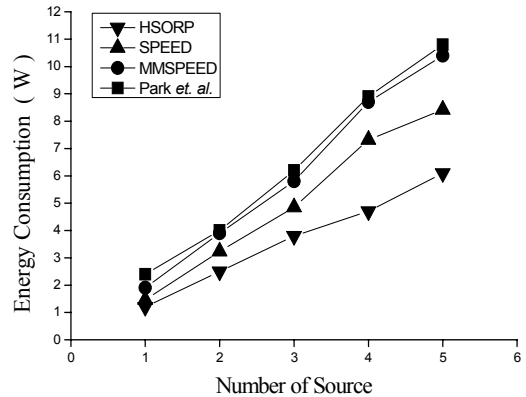


그림 9. 소스 노드의 수에 따른 에너지 소비량  
Fig. 9. Energy Consumption versus number of source



위한 경우 지점이 소스 노드의 위치에 따라 같은 음영 지역을 우회하더라도 각각 다른 경우 지점을 선정 하여 우회하므로 전송되는 데이터 패킷의 혼잡 및 충돌이 MMSPEED나 SPEED에 비하여 적기 때문에 전송에 참여하는 노드의 수는 늘어나지만 에너지 소비율의 증가폭이 작은 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

제한된 시간 내에 발생한 데이터 패킷을 전송해야 하는 실시간성은 의료 및 군사 분야에서 매우 중요한 요소이다. 그러나 기존의 실시간성 에 대한 연구들은 음영지역을 만난 경우에 실시간성을 보장하기 어렵고, 심지어 전송에 실패하기도 한다. 본 논문에서는 불규칙적인 센서 네트워크에서 음영지역이 존재하는 경우에도 실시간성을 보장하는 음영지역 자가 구성 실시간 라우팅 프로토콜(HSORP)를 제안한다. 제안된 프로토콜은 음영지역의 모델링 정보를 경계노드들 스스로 생성하여 위치 서버에 저장함으로써, 데이터가 발생한 소스 노드는 목적지 정보와 함께 경유하게 되는 음영지역을 우회하기 위한 경우 지점에 대한 정보를 함께 알아오게 된다. 이를 통하여 최초의 전송부터 음영지역을 고정된 거리로 우회하여 실시간성을 만족시킨다. 시뮬레이션 결과, 제안 프로토콜은 경우 지점을 지정하여 음영지역을 우회하여 데이터 패킷을 전송하기 때문에 다른 실시간성 연구에 비해 에너지 소비량 측면과 실시간성 측면에서 더 나은 성능을 보인다.

## References

- [1] I. F. Akyildiz, *et al.*, "A survey on sensor networks," *IEEE Commun.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] E. B. Hamida and G. Chelius, "Strategies for data dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 31-37, Dec. 2008.
- [3] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Comput.*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.
- [4] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Personal Commun. Mag.*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [5] T. He, J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, and C. Lu, "A spatiotemporal communication protocol for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Syst.*, vol. 16, no. 10, pp. 995-1006, Oct. 2005.
- [6] E. Felemban, C. Lee, and E. Ekici, "MMSPEED: Multipath multi SPEED protocol for QoS guarantee of reliability and timeliness in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 5, no. 6, pp. 738-754, Jun. 2006.
- [7] S. Park, E. Lee, J. Jung, and S.-H. Kim, "Real-time routing based on on-demand multi-hop lookahead in wireless sensor networks," *IEICE Trans.*, vol. 94-B, no. 2 pp. 569-572, Jan. 2011.
- [8] Q. Fang, J. Gao, and L. J. Guibas, "Locating and bypassing routing holes in sensor networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, vol. 4, pp. 2458-2468, Mar. 2004.
- [9] B. Karp and H. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. ACM/IEEE MobiCom*, pp. 243-254. Boston, Massachusetts, USA, Aug. 2000.
- [10] S. Kim, H. Park, J. Lee, and S.-H. Kim, "Energy-efficient grid-based hole-detouring scheme in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 37, no. 4, pp. 227-235, Apr. 2012.
- [11] D. S. J. De Couto and R. Morris, "Location proxies and intermediate node forwarding for practical geographic forwarding," *Tech. Rep. MITLCS-TR-824, MIT Laboratory for Comput. Sci.*, Jun. 2001.
- [12] Y. Tian, F. Yu, Y. Choi, S. Park, E. Lee, M. Jin, and S. H. Kim, "Energy-efficient data dissemination protocol for detouring routing holes in wireless sensor networks," *J. KISS*, vol. 14, no. 3, pp. 321-325, May 2008.
- [13] E. Lee, S. Park, J. Lee, and S.-H. Kim, "Sink location dissemination scheme in geographic routing for wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 34, no. 9, pp. 847-856, Sept. 2009.
- [14] H. Park, J. Lee, S. Oh, Y. Yim, and S.-H. Kim, "Sink location service via circle path for geographic routing in wireless sensor

networks,” *J. KICS*, vol. 35, no. 6, pp. 585-593, Jun. 2010.

- [15] S. P. Fekete, A. Kroeller, D. Pfisteres, S. Fischer, and C. Buschmann, “Neighborhood based topology recognition in sensor networks,” *In Algorithmic Aspects of Wirel. Sensor Netw.*, pp. 123-136. 2004.
- [16] J.A. Bondy and U.S.R. Murty, *Graph Theory with Applications*, North-Holland: Elsevier, 1976.
- [17] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online]. Available: <http://www.scalable-networks.com>
- [18] J. Hill and D. Culler, “Mica: A wireless platform for deeply embedded networks,” *IEEE Micro*, vol. 22, no. 6, pp. 12-24, Nov./Dec. 2002.

**조 현 중 (Hyunchong Cho)**



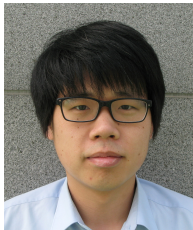
2013년 2월 : 전북대학교 전자·정보공학부 컴퓨터공학과 졸업  
 2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정  
 <관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

**임 용 빈 (Yongbin Yim)**



2010년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2010년 3월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정  
 <관심분야> Internet Routing Wireless Sensor Networks 등

**김 상 대 (Sangdae Kim)**



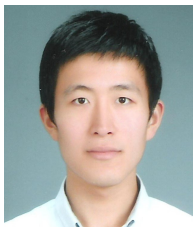
2013년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정  
 <관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

**김 상 하 (Sang-Ha Kim)**



1980년 : 서울대학교 학사  
 1984년 : University of Houston 석사  
 1989년 : University of Houston 박사  
 1992년~현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수  
 <관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등

**김 천 용 (Cheonyong Kim)**



2013년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
 <관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등