

주기적 모니터링 센서 네트워크에서 핫 스팟 문제 해결을 위한 호핑 라우팅 기법

허석렬¹, 이완직¹, 장성식², 변태영³, 이원열^{4*}
¹부산대학교 바이오메디컬공학과, ²영남이공대학 모바일인터넷과,
³대구가톨릭대학교 정보통신공학과, ⁴영산대학교 사이버경찰학과

Hopping Routing Scheme to Resolve the Hot Spot Problem of Periodic Monitoring Services in Wireless Sensor Networks

Seok Yeol Heo¹, Wan-Jik Lee¹, Seong-Sik Jang², Tae-Young Byun³
and Won-Yeol Lee^{4*}

¹Department of Biomedical Engineering, Pusan National University

²Department of Mobile Internet, Yeungnam College of Science and Technology

³School of Information Communication Engineering, Catholic University of Daegu

⁴Department of Cyber and Police Science, Youngsan University

요약 본 논문에서는 주기적 모니터링 센서 네트워크의 핫 스팟 문제를 해결하기 위한 호핑 라우팅 기법을 제안한다. 제안한 호핑 라우팅 기법은 네트워크의 모든 노드들의 에너지 소비 형태가 예측 가능한 부하 균등 경로를 구성한다. 부하 균등 라우팅 경로는 동일한 영역내 노드들의 부하 균형을 이루는 수평 호핑 전송 기법과 서로 다른 영역에 있는 노드 사이에 부하 균형을 이루는 수직 호핑 전송 기법으로 구할 수 있다. 수직 호핑 전송에 필요한 직접 전송 횟수는 센서 노드의 에너지 소비 모델을 통해서 부하 균형을 이룰 수 있는 값을 도출하였다. 시뮬레이션을 통해서 제안한 호핑 라우팅 기법이 핫 스팟 문제를 효과적으로 해결함을 보였으며 기존 라우팅 기법 중에서 멀티 홉 전송 방식과 직접 전송 방식 그리고 클러스터링 기법과 비교 평가를 통해서 호핑 라우팅 기법의 효율성을 제시하였다.

Abstract In this paper we proposed a hopping routing scheme to resolve the hot spot problem for periodic monitoring services in wireless sensor networks. Our hopping routing scheme constructs load balanced routing path, where an amount of energy consumption of all nodes in the sensor networks is predictable. Load balanced routing paths can be obtained from horizontal hopping transmission scheme which balances the load of the sensor nodes in the same area, and also from vertical hopping transmission scheme which balances the load of the sensor nodes in the other area. The direct transmission count numbers as load balancing parameter for vertical hopping transmission are derived using the energy consumption model of the sensor nodes. The experimental results show that the proposed hopping scheme resolves the hot spot problem effectively. The efficiency of hopping routing scheme is also shown by comparison with other routing scheme such as multi-hop, direct transmission and clustering.

Key Words : Hot Spot Problem, Hopping Routing, Load Balanced Routing Path

1. 서론

센서 네트워크는 온도나 습도, 대기 오염 측정 서비스

와 같이 주기적으로 센싱한 데이터를 싱크 노드로 전달하는 응용 분야, 침입 탐지나 경보 서비스와 같이 정해진 사건이 발생할 경우 이를 싱크 노드에게 알리는 응용 분

*교신저자 : 이원열(lumpen@ysu.ac.kr)

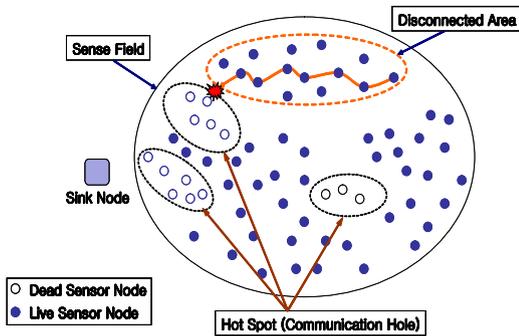
접수일 09년 07월 27일

수정일 09년 09월 11일

게재확정일 09년 09월 16일

야 그리고 싱크 노드가 관심 데이터를 요청할 경우 해당 노드만 데이터를 전송하는 응용 분야로 크게 나눌 수 있다. 이 중에서 주기적으로 상태를 모니터링해서 싱크 노드로 전달하는 응용 분야가 센서 네트워크 응용의 가장 많은 부분을 차지하며 사건 발생 형태의 응용의 경우에도 센서 노드의 동작 여부와 데이터 신뢰성이 요구되는 경우에는 주기적인 전송 형태를 가지는 경우가 많다. 센서 네트워크가 제공하는 서비스 종류가 다양한 만큼 각 서비스에 따른 적절한 라우팅 방식이 필요하며, 지금까지 이와 관련된 많은 라우팅 관련 연구들이 진행되었다 [1-3]. 지금까지 제안된 센서 네트워크용 라우팅 기법들은 대부분 수시로 전송 경로가 변화하는 동적 라우팅 경로 선택 방식과 지역 정보를 활용한 분산 알고리즘 방식을 채택하고 있으며 직접 전송 혹은 멀티홉 전송 방식 중에 한 가지 전송 방식만을 취하는 특징을 가지고 있다 [4-6]. 이러한 특징을 가진 기존 라우팅 기법의 가장 큰 문제는 핫 스팟(hot spot) 문제 해결이 매우 어렵다는 것이다. 핫 스팟이 발생하면 해당 지역의 센싱 불능 및 연결성의 소멸이라는 치명적 문제를 일으킨다. 따라서 핫 스팟 문제의 해결은 센서 네트워크의 라우팅에서 매우 중요하게 다루어져야 할 부분이다.

핫 스팟이 발생하면 그림 1에서 보는 바와 같이 비연결영역(disconnected area)의 모든 노드들은 싱크노드까지의 경로 상의 핫 스팟으로 인해 연결이 단절되어 데이터 전달이 불가능함을 알 수 있다.



[그림 1] 핫 스팟 발생으로 인한 연결 단절 현상

핫 스팟 문제는 전송 방식에 따라 나타나는 형태가 다양하다. 직접 전송 방식의 경우, 싱크 노드로부터 먼 거리의 노드가 먼저 에너지가 고갈되는 형태로 핫 스팟 현상이 나타난다. 멀티홉 전송의 경우, 싱크 노드와 가까운 노드가 먼저 에너지가 고갈되는 형태로 핫 스팟 문제가 발생한다. 그리고 라우팅 방식에 따라 나타나는 핫 스팟 현상도 다양하다. 즉, 타 경로에 비해 더 많은 데이터 전송

이 이루어지는 경로에서 핫 스팟이 발생하는 형태로 나타난다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 가장 많은 적용 분야를 가지고 있는 주기적 모니터링 서비스 환경에서 핫 스팟 문제를 해결하기 위한 호핑 라우팅 기법을 제안한다. 제안하는 호핑 라우팅 기법은 모든 센서 노드의 에너지 소비를 미리 예측하여 라우팅 경로를 만들고, 모든 노드의 전송 에너지를 거의 동일하게 소비하게 하여 센서 노드들 간에 부하 균형을 이룬다.

이를 위해서 본 논문에서는 센서 노드의 에너지 소비 모델 분석을 통하여 수평 및 수직 호핑 전송에 필요한 기본 동작을 정의하고 이에 필요한 세부 기능과 전송 파라미터를 도출하였다. 그리고 본 논문에서 제안한 호핑 라우팅 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 기존 라우팅 프로토콜과 비교 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 핫 스팟 문제 해결을 위한 기존의 연구에 대하여 언급하였으며, 3장에는 본 논문에서 제안하는 호핑 라우팅 기법에 대하여 설명하였다. 4장에는 제안 기법의 성능 평가 결과에 대하여 나타내었고 5장에서 결론 및 향후 과제를 다루었다.

2. 핫 스팟 해결을 위한 기존 연구

2.1 기존 연구

센서 네트워크의 생존시간을 증가시키기 위해 제안된 많은 라우팅 기법들은 불균형한 에너지 소비 패턴을 조절할 수 있다고 주장하였다[4-10]. 그러나 대부분의 제안된 기법들은 편중된 에너지 소비 패턴을 일부 개선할 수 있을 뿐이다. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜의 경우 클러스터 헤드 노드의 역할을 클러스터의 노드들이 번갈아 가며 수행함으로써 과도한 에너지 소비를 필요로 하는 헤드 노드의 부하를 분산하고자 하였다[6]. 그러나 이 기법은 전체 네트워크의 에너지 편중 문제를 완화시킴으로써 부분적으로는 핫 스팟 문제를 해결할 수 있지만 근본적인 해결 방안은 되지 못한다.

UCS(Unequal Clustering Size) 기법[11]은 클러스터 헤드 노드가 정해진 위치로 이동할 수 있다는 가정에서 출발하였다. 그러나 이러한 가정은 센서 네트워크 응용 분야 적용성이 매우 낮다. 그리고 클러스터 내부 통신비용과 클러스터 간 통신비용 사이의 관계 즉, 비용 비는 감안하지 않았다. 프로토콜마다 클러스터 간 및 클러스터 내부 통신비용에 차이가 있으므로 UCS 기법의 적용 가

능성은 매우 낮다.

Energy-Aware Routing 기법[2]은 싱크 노드로의 경로를 결정할 때 가장 작은 에너지가 소비되는 경로가 항상 가장 좋은 경로는 아니라는 기본 아이디어로 동작한다. 이 기법에서는 지속적으로 경로를 평가할 수도 있고 변경도 가능하다. 그러나 패킷 전송 시 마다 경로 결정을 수행한다는 것과 이전 노드의 에너지 상태 등을 지속적으로 관리해야 한다는 것이 에너지 소비를 증가시킬 수 있다.

2.2 핫 스팟 발생원인 분석

본 논문에서는 센서 네트워크의 핫 스팟 문제를 해결할 수 있는 방법을 찾기 위하여 우선 기존의 라우팅 프로토콜이 가지고 있는 문제를 분석한다.

1) 일정하지 않은 전송으로 인한 부하 불균형

Directed Diffusion[12] 등과 같은 라우팅 기법은 에너지 소모를 줄이기 위해 전송 경로가 중첩될 경우 데이터 병합을 수행한다. 데이터 병합을 수행할 경우 송수신 비율이 일정하지 않기 때문에 부분적으로 핫 스팟이 발생할 수 있다.

2) 직접 전송에 의한 부하 불균형

LEACH 프로토콜과 같이 모든 노드가 싱크 노드로 직접 전송을 함으로써 싱크 노드로부터 먼 거리의 노드 에너지 소비가 상대적으로 커진다. 그 결과로 싱크 노드부터 먼 거리에서 핫 스팟이 발생한다.

3) 멀티홉 전송에 의한 부하 불균형

멀티홉 전송의 경우 싱크 노드와 가까운 노드가 상대적으로 더 많은 홉수의 릴레이 전송을 해야 하므로 싱크 노드와 가까운 위치에서부터 핫 스팟이 발생한다.

4) 동적인 경로 설정

각각의 센서 노드로부터 싱크 노드로의 경로가 지속적으로 변하는 동적 라우팅 경로 방식을 취함으로써 센서 노드들의 에너지 소비가 수시로 변화하는 문제가 있다. 이러한 경우 네트워크의 모든 지역에서 핫 스팟이 발생할 수 있다.

5) 지역 정보를 이용함으로써 발생하는 부하 불균형

센서 네트워크의 라우팅 동작은 대부분 지역 정보 즉, 인접 노드 정보만을 이용해서 이루어진다. 센서 네트워크 개발 초기에는 모든 센서 노드들의 위치 정보를 파악하

는 것이 비용이 많이 들었기 때문에 지역 정보만을 이용한 라우팅 프로토콜이 대부분 제안되었다. 이렇게 지역 정보만을 이용함으로써 전체 노드의 에너지 잔량을 감안한 라우팅 동작이 불가능하고 이로 인한 핫 스팟 문제는 필연적으로 발생한다.

2.3 핫 스팟 회피를 위한 라우팅 기법 설계 방안

2.2절에서 설명한 것과 같이 핫 스팟 발생 원인은 라우팅에 의한 특정 경로로의 트래픽 편중 현상이다. 이 같은 현상이 일어나는 것은 다중 경로와 동적 경로 설정, 분산 라우팅 기법 등에 그 원인이 있다. 핫 스팟 문제를 해결하기 위해서는 일단 이러한 원인들부터 제거해야 하지만, 이러한 원인들을 제거하여도 핫 스팟 문제를 완전하게 해결할 수는 없다. 왜냐하면 핫 스팟 문제를 해결하기 위해서는 트래픽 흐름을 모든 경로에 공평하게 분배해야 하기 때문이다.

트래픽 흐름을 공평하게 분배하려면 모든 센서 노드의 에너지 소비가 같아야 하며 이를 위해서는 트래픽 흐름이 예측 가능해야 한다. 트래픽 흐름의 예측 가능 여부는 라우팅 동작 특성에 의존적이기 때문에 지금까지 분석한 핫 스팟 문제의 원인 분석 및 해결 방향을 감안한 센서 네트워크 라우팅 설계 방향을 다음과 같이 제시한다.

1) 일정한 송수신 비율 유지

센서 노드가 처리하는 송수신 회수를 일정하게 유지하면 센서 노드가 소비하는 에너지를 예측할 수 있다. 데이터 병합이 필요한 경우에도 LEACH[6] 프로토콜처럼 센서 노드가 균등하게 이를 처리한다면 에너지 균형을 기대할 수 있다.

2) 정적 라우팅 사용

동적 라우팅은 각 노드의 에너지 소비량을 예측할 수 없게 만드는 요소이다. 반면 센서 네트워크에서 정적 라우팅을 사용한다면 센서 노드의 에너지 소비량을 예측할 수 있다. 기존의 라우팅 기법은 대부분 지역적인 정보만을 이용하는 동적 라우팅 방식을 채택하고 있다. 만일 네트워크 전체의 위치 정보를 활용할 수 있다면 동적 라우팅보다 더 효율적인 정적 라우팅이 가능하다.

3) 중앙 집중형 라우팅 기법

분산 라우팅의 경우 네트워크 전체 노드의 에너지를 감안한 라우팅 경로 계산이 불가능하다. 분산 라우팅은 센서 노드들의 위치 정보를 중앙 집중적으로 관리 할 수

없다는 가정에서 이루어졌다. 그러나 현재 센서 노드의 위치를 추적할 수 있는 많은 기법들이 제시되고 있으며 이를 이용하여 네트워크 초기 구성 시에 모든 노드들이 자신의 위치 정보를 싱크 노드로 전송할 수 있다. 따라서 전체 네트워크의 모든 센서 노드의 위치 정보를 이용하면 중앙 집중형으로 라우팅 경로를 계산할 수 있다.

4) 멀티 모드 전송 방식

센서 네트워크의 전송 방식은 직접 전송 방식과 멀티홉 전송 방식으로 나누어진다. 멀티홉 전송의 경우 1 홉 거리의 노드를 제외하고는 모든 노드가 멀티홉 전송을 수행한다. 즉 기존의 라우팅 방식에서는 직접 전송과 멀티홉 전송 중에 한 가지 전송 방식만을 선택적으로 사용한다. 이 경우 싱크 노드와의 거리에 따른 에너지 소비 차이를 극복할 수 없게 된다. 에너지 소비를 예측할 수 있으면 직접 전송과 멀티홉 전송을 모두 사용하여 에너지 소비를 균등하게 할 수 있다.

지금까지 기존의 라우팅 방식이 센서 네트워크의 부하를 균등하게 할 수 없게 하는 요인들을 분석하였고 이를 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 본 논문에서는 이러한 기존 라우팅 방식들의 불필요한 요소들을 제거한 새로운 방식의 라우팅 기법 및 전송 방식을 제안한다.

3. 호핑 라우팅 기법

본 논문에서 제안하는 호핑 라우팅 기법은 핫 스팟을 해결하기 위해 부하 균등 라우팅 경로를 구성하고 결정된 경로 상에서 호핑 전송을 통해 모든 노드의 송수신 에너지 소비를 적절히 배분하는 것을 목표로 한다. 센서 네트워크는 제공하는 서비스에 따라 라우팅 동작에 차이가 많다. 본 논문에서 가정하는 센서 네트워크의 특징은 다음과 같다.

모든 센서 노드는 주기적으로 센싱된 데이터를 싱크 노드로 전송한다.

모든 센서 노드와 싱크 노드는 이동성이 없다.

모든 노드는 멀티홉 전송 시 고정 전송 반경을 가진다.

데이터 병합은 수행하지 않는다.

싱크노드는 센서 노드의 위치를 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 호핑 라우팅 기법은 고정 라우팅 경로, 멀티홉 및 직접 전송을 모두 수행하는 멀티 모드 전송 방식과 싱크 노드가 모든 라우팅 관련 처리를 수행하는 중앙 집중형 라우팅 기법을 채택하고 있다. 이동이 없는 노드 사이의 라우팅 경로는 정적으로 구성하여

도 효율성에서 큰 문제가 없다. 따라서 센서 네트워크의 큰 단점인 핫 스팟 문제를 해결할 수 있다면 정적 라우팅 경로를 사용하는 것이 효율적이다. 분산형 라우팅 방식에서는 모든 노드가 라우팅 관련 처리를 수행해야 한다. 센서 네트워크의 생존시간은 센서 노드의 에너지 소비와 밀접한 관계가 있다. 따라서 싱크 노드가 라우팅 관련 처리를 수행하면 센서 네트워크의 생존시간은 그 만큼 연장될 수 있다.

본 논문에서는 멀티홉 전송을 기반으로 하는 센서 네트워크를 대상으로 하기 때문에 모든 노드의 부하를 균등하게 하기 위해 우선 네트워크를 싱크 노드와의 거리를 기반으로 영역을 설정한다. 동일 영역 노드들의 부하 균형은 이전 영역으로부터의 릴레이 전송 요청 부하를 동일하게 함으로써 이를 수 있다. 모든 노드에서 발생하는 센싱 데이터의 양은 같지만 이전 노드로부터 수신하는 릴레이 전송 요청 횟수는 서로 다를 수 있다. 만일 릴레이 전송 요청 횟수를 동일하게 할 수 있으면 동일 영역의 모든 노드들의 전송 에너지는 동일하게 할 수 있다.

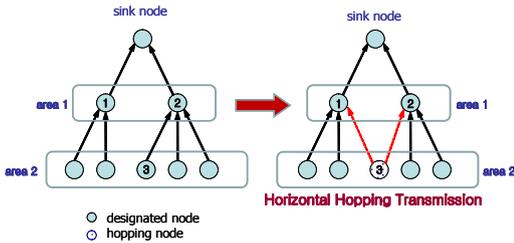
동일 영역 노드들의 에너지 소비 크기를 같게 하여도 다른 영역 노드들 간의 에너지 소비는 차이가 발생한다. 서로 다른 영역 노드들 간의 부하 균형은 직접 전송과 멀티홉 전송을 적절히 배분하여 수행함으로써 얻을 수 있다. 먼 거리의 노드가 멀티홉 전송을 하지 않고 직접 전송을 하면 그 만큼 자신의 에너지 사용 크기는 증가하지만 싱크 노드와 가까운 노드의 릴레이 전송 횟수는 줄어들어 에너지 소비가 줄어들 것이다. 이러한 특성을 이용하여 싱크 노드로부터 2 홉 이상의 거리에 있는 모든 노드는 멀티홉 전송과 직접 전송을 번갈아 수행함으로써 전송 에너지를 거의 동일한 수준으로 유지할 수 있다.

3.1 수평 호핑 전송을 이용한 부하 균등 라우팅 경로 구성

부하 균등 라우팅 경로는 동일 영역의 모든 노드가 이전 영역의 노드로부터 수신되는 릴레이 전송 요구 횟수가 모두 동일한 라우팅 경로를 의미한다. 한 영역의 모든 노드의 릴레이 요구 횟수를 동일하게 하기 위해서는 각 영역의 노드 개수에 따라 릴레이 전송을 적절하게 분배하여야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위해서는 기존의 방식과는 다른 방식의 릴레이 전송 기법이 필요하다. 본 논문에서는 한 노드가 다음 영역의 노드로 릴레이 전송을 할 때 항상 동일한 노드로만 하는 것이 아니라 다수의 노드로 번갈아 가며 전송하는 수평 호핑 전송 기법을 제안한다.

수평 호핑 전송 동작을 그림 2에 나타내었다. 그림

2(a)에서 영역 1(area 1)의 1번 노드는 영역 2로부터 2회의 릴레이 전송 요청을 수신한다. 반면에 2번 노드는 3회의 릴레이 요청을 수신한다. 따라서 2번 노드와 3번 노드의 에너지 소비에 차이가 발생한다. 부하 균등 라우팅 경로를 구성하기 위해 필요한 경우 호핑 노드를 선택하여 릴레이 전송 횟수를 균등하게 한다. 그림 2(b)에서 3번 노드가 호핑 노드 역할을 수행한다. 호핑 노드는 릴레이 전송 요청을 한 노드에게만 하지 않고 정해진 다수의 노드에게 번갈아가며 요청한다. 만일 그림 2(b)에서 영역 2의 노드들이 각각 10개의 패킷을 발생시키면 총 50개의 패킷이 영역 1로 전달되며 영역 1의 각 노드는 25개씩의 패킷을 동일하게 전달 요청 받는다.



(a)기존 라우팅 경로 (b)부하 균등 라우팅 경로
 [그림 2] 수평 호핑 전송 동작

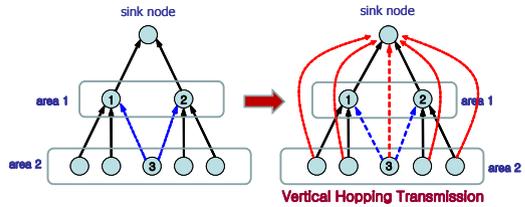
3.2 수직 호핑 전송을 이용한 부하 균등 라우팅

수평 호핑을 통해 동일 영역의 노드들 간의 릴레이 전송 요청 횟수를 동일하게 함으로써 전송 에너지 소비를 동일하게 할 수 있었다. 그러나 서로 다른 영역 간의 에너지 소비는 여전히 차이가 난다. 이러한 영역간의 에너지 소비 차이를 없애기 위해서는 거리가 먼 영역의 노드는 에너지 소비를 늘리고 거리가 가까운 영역의 노드는 에너지 소비를 줄임으로써 에너지 소비 균형을 맞출 수 있다. 즉, 거리가 먼 영역의 노드는 자신이 전송할 패킷의 일부를 싱크 노드로 직접 전송하도록 함으로써 에너지 소비를 늘리고 거리가 가까운 영역의 노드는 릴레이 패킷 수를 줄임으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다. 이와 같이 한 노드가 전송할 패킷의 일부는 멀티홉 전송을 하고 나머지 패킷은 싱크 노드로 직접 전송하는 동작을 수직 호핑이라고 한다.

그림 3에 수직 호핑 전송의 동작을 나타내었다. 수직 호핑 전송은 서로 다른 영역의 노드들 간의 부하 균형을 위한 전송 방식이다.

수직 호핑 전송은 싱크 노드로부터의 거리가 2 홉 이상인 노드가 멀티홉 전송과 싱크 노드로의 직접 전송을 번갈아가며 함으로써 타 영역 노드와 에너지 소비를 균등하게 하는 동작이다. 먼 거리의 노드는 직접 전송을 함

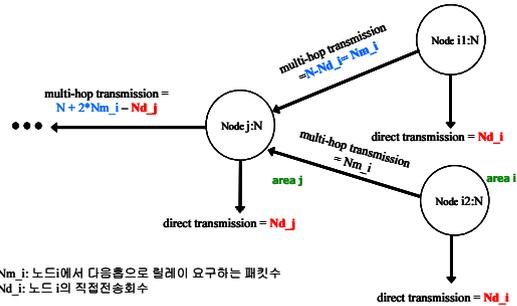
으로써 멀티홉 전송에 비해 많은 에너지를 소비하지만, 직접 전송 횟수만큼 싱크 노드까지 거쳐야 할 릴레이 전송 횟수가 감소하기 때문에 릴레이 경로 상의 노드들은 에너지 소비를 절약할 수 있다.



[그림 3] 수직 호핑 전송 동작

3.3 직접 전송 횟수

수평 호핑은 정해진 노드만 수행하는데 반해 수직 호핑 전송은 싱크로부터 1 홉 영역의 노드들을 제외한 나머지 모든 노드가 수행한다. 수직 호핑 전송으로 타 영역의 노드들 간의 전송 에너지를 동일하게 하기 위해서는 각 영역 노드별 직접 전송 대 멀티홉 전송 비를 계산하여야 한다. 그림 4에 직접 전송 횟수 계산을 위한 전송 비용 분석 모델을 나타내었다.



[그림 4] 직접 전송 회수를 위한 전송 비용 분석 모델

그림 4에서 $N_{m,j}$, $N_{m,i1}$, $N_{m,i2}$ 는 영역 j의 노드 j와 영역 i의 1번과 2번 노드의 멀티홉 전송을 위한 릴레이 전송 횟수를 의미하며 $N_{d,j}$, $N_{d,i1}$, $N_{d,i2}$ 는 각각 영역 j의 노드 j와 영역 i의 1번과 2번 노드의 직접 전송 횟수를 나타낸다. 직접 전송 횟수 $N_{d,j}$ 는 노드 j가 한 라운드 동안 생성하는 패킷 중에서 싱크 노드로 직접 전송해야 하는 전송 횟수를 의미한다. 즉 노드 j는 한 라운드 동안 자신이 생성한 패킷들과 이전 노드들로부터 릴레이 전송 요청을 받은 패킷들이 있다. 이 패킷들 중에서 $N_{d,j}$ 만큼을 직접 전송으로 보내고 나머지는 다음 홉으로 릴레이 전송한다. 직접 전송 횟수 $N_{d,j}$, $N_{d,i1}$, $N_{d,i2}$ 는 네트워크 전체의 정보를 알아야만 결정할 수 있기 때문에 싱크 노드에서 결정

하는 것이 효율적이다. 싱크 노드는 네트워크 초기 설정 시에 모든 센서 노드로부터 직접 전송 회수 결정에 필요한 정보를 수신하기 때문에 부가적인 오버헤드 없이 직접 전송 회수를 결정할 수 있다.

그림 4는 영역 i 의 두 개의 노드가 영역 j 의 하나의 노드로 멀티홉 전송을 하는 경우를 보여준다. 영역 i 의 1번 노드는 자신이 보내야 하는 패킷들 중에 $N_{m,i1}$ 개는 멀티홉 전송을 통해 싱크 노드로 전송하고 $N_{d,i1}$ 개는 직접 전송을 통해 싱크 노드로 전송한다. 노드 j 의 에너지 소비량과 노드 $i1$ 의 에너지 소비량을 동일하게 할 수 있는 $N_{d,j}$ 와 $N_{d,i}$ 를 구하면 수직 호핑 전송을 통해 타 영역 노드간의 에너지 소비를 균등하게 할 수 있다. 동일 영역의 노드들은 수평 호핑을 통해 동일한 홉수의 송수신을 수행하므로 $N_{m,i1} = N_{m,i2}$ 및 $N_{d,i1} = N_{d,i2}$ 가 성립한다.

직접 전송 홉수 계산을 위해 센서 노드들의 송수신 에너지 소비량이 필요한데, 본 논문에서는 [6]에서 적용한 에너지 소비 패턴을 사용하였다. 식 3과 4에 k 비트 전송에 필요한 에너지 E_T 와 k 비트 수신에 필요한 에너지 E_R 을 나타내었다. E_{elec} 은 1 비트를 처리하는데 필요한 프로세싱 에너지를 나타내고 ϵ 은 전송 시 신호 증폭에 필요한 에너지이다.

$$E_T(k,r) = E_{elec} * k + \epsilon * k * r^2 \quad (1)$$

$$E_R(k,r) = E_{elec} * k \quad (2)$$

식 1과 2에서 알 수 있듯이 송신 에너지에 비해 수신 에너지는 상대적으로 매우 작은 값을 가지게 된다. 그리고 송신 에너지는 전송 반경의 제곱에 비례하므로 전송 반경이 매우 중요한 요소임을 알 수 있다. 본 논문에서는 직접 전송 홉수 계산을 위해 모든 송수신 패킷 크기를 동일하다고 가정하였으며 송신 에너지에 비해 상대적으로 매우 작은 값을 가지는 수신 에너지는 고려하지 않았다. 직접 전송 홉수 계산에 필요한 파라미터들을 표 1에 나타내었다.

[표 1] 직접 전송 홉수 계산에 사용되는 파라미터

파라미터	의미
K	싱크 노드로부터 홉 거리
H	최대 홉 거리
$N_{p,i}$	영역 i 의 노드 개수
$N_{d,i}$	노드 i 의 직접 전송 홉수
r	영역별 거리
D	부하 균등 라우팅 경로 구성 후 최대 전송 반경
E_i	i 영역 노드의 전송 에너지
$E_{T,d}$	거리 d 일 경우 전송 에너지

그림 4와 같은 모델을 이용하여 각 영역 별 노드의 에너지 소비량을 식 5, 6, 7에 각각 나타내었다. 식 5의 E_1 과 식 6의 E_2 는 각각 영역 1과 영역 2의 한 노드가 소비하는 에너지를 나타내며, 식 7의 E_k 는 영역 k 의 한 노드가 소비하는 에너지를 나타낸다.

$$E_1 = \left(\frac{\sum_{i=1}^H N_{p,i} - \sum_{i=1}^H (N_{d,i} \cdot N_{p,i})}{N_{p,i}} \right) E_{T-D} \quad (3)$$

$$E_2 = \left(\frac{\sum_{i=2}^H N_{p,i} - \sum_{i=2}^H (N_{d,i} \cdot N_{p,i})}{N_{p,i}} \right) E_{T-D} + N_{d,2} \cdot E_{T-2r} \quad (4)$$

$$E_k = \left(\frac{\sum_{i=k}^H N_{p,i} - \sum_{i=k}^H (N_{d,i} \cdot N_{p,i})}{N_{p,i}} \right) E_{T-D} + N_{d,k} \cdot E_{T-kr} \quad (5)$$

위 식 3, 4, 5를 이용하여 $E_1 = E_2 = \dots = E_k$ 를 풀면 $N_{d,1}, N_{d,2}, \dots, N_{d,k}$ 를 구할 수 있다. 이렇게 구한 직접 전송 회수는 모든 노드의 소비 에너지를 동일하게 할 수 있는 수직 호핑을 위한 직접 전송 홉수가 된다. 식 6에 영역 H 의 직접 전송 홉수 $N_{d,H}$ 를 나타내었으며 $N_{d,H}$ 를 이용하여 나머지 직접 전송 홉수를 모두 구할 수 있다.

$$N_{d,H} = \frac{\left(N_{p,1} - \sum_{i=1}^H N_{p,i} \right) \cdot E_{T-D} + \left(\sum_{i=2}^{H-1} N_{d,i} \cdot N_{p,i} \right) \cdot E_{T-D}}{N_{p,1} \cdot (E_{T-D} - E_{T-Hr}) - N_{p,H} \cdot E_{T-D}} \quad (6)$$

3.4 호핑 라우팅 동작

수평/수직 호핑 라우팅을 수행하기 위해서는 싱크 노드와 센서 노드는 초기화, 부하 균등 라우팅 그리고 네트워크 동작의 3단계로 동작한다. 먼저 센서 노드와 싱크 노드는 초기화 단계를 통해서 네트워크 정보를 교환한다.

■ 초기화

- 센서 노드는 자신 혹은 주위의 정보를 이용해서 자신의 위치를 파악하고 시스템 동작에 필요한 초기화 작업을 수행한 뒤 싱크 노드로부터 전송되는 SYNC 메시지를 기다린다. 싱크 노드가 보낸 SYNC 메시지가 수신되면 자신의 위치 정보를 포함한 상태 메시지를 싱크 노드에게 응답하고 싱크 노드의 라우팅 경로 통보를 기다린다.
- 싱크 노드는 SYNC 메시지를 모든 노드에게 전송하

고 센서 노드에서 보내오는 응답 메시지를 통해서 전체 네트워크 토폴로지 구성에 필요한 정보를 수집한다. SYNC 메시지는 직접 전송을 이용하거나 플러딩을 이용할 수 있다.

- 센서 노드로부터 응답 메시지가 모두 수신되면 싱크 노드는 부하 균등 라우팅 단계를 수행한다.

■ 부하 균등 라우팅

- 싱크 노드는 수신된 센서 노드의 응답 메시지를 이용해서 영역별 노드 수를 결정하고 인접한 영역 사이에 분할 가능한 그룹 수를 설정한다.
- 영역 별 그룹이 정해지면 각 영역별 그룹에 대해서 호핑 노드와 일반 노드를 결정하고 각 노드별로 릴레이 라우팅 경로를 결정한다. 이때 고정노드는 다음 릴레이 노드로 단일 노드만 지정되며 호핑 노드에 대해서는 다수의 릴레이 노드가 할당된다.
- 릴레이 라우팅 경로 설정을 통해서 부하 균등 라우팅 경로를 설정 한 뒤 각 영역 별로 수직 호핑 전송을 위한 직접 전송 회수를 계산한다. 이때 직접 전송 회수는 실수 값으로 구해지는데 실제 전송회수는 정수 값만 의미가 있기 때문에 반올림 한 값을 직접 전송 회수로 정하며 반올림 오차를 줄이기 위해서 라운드 회수(예를 들면 100회)를 곱한 수에 대해서 반올림을 적용한다.
- 싱크 노드는 정해진 라우팅 경로와 직접 전송 회수를 직접 전송(유니캐스트 전송)을 이용하여 각 센서 노드에게 통보한다.
부하 균등 라우팅 단계를 마친 뒤에 싱크 노드와 센서 노드는 네트워크 동작 단계를 통해서 센서 네트워크가 정상적으로 동작하도록 한다.

■ 네트워크 동작

- 싱크 노드로부터 부하 균등 라우팅 경로와 직접 전송 회수를 통보 받은 센서 노드는 라우팅 테이블을 갱신하고 직접 전송 회수를 노드 초기 변수에 저장한 뒤 싱크 노드로부터 노드 시작을 알리는 STARTUP 메시지를 기다린다.
- 싱크 노드는 라우팅 경로와 직접 전송 회수를 통보한 뒤 일정 시간이 경과한 뒤 네트워크에 있는 모든 센서 노드에게 STARTUP 메시지를 전송함으로써 전체 네트워크를 동기화하고 동작 하도록 한다.

4. 성능 평가

4.1 실험 환경 및 평가모델

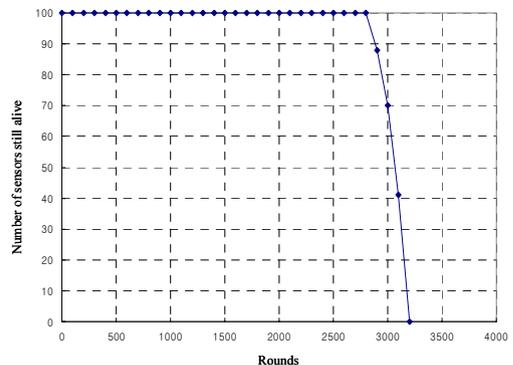
본 논문에서 제안한 호핑 라우팅 기법이 핫 스팟을 효과적으로 해결할 수 있음을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 이용한 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가에서는 호핑 라우팅 기법에 대한 라운드 별 생존 노드 수와 영역별 에너지 잔량을 측정하였으며 기존 라우팅 기법과의 비교 성능 평가를 위해 멀티 홉 전송 기법과 직접 전송 기법, 클러스터링 기법과 비교하였다. 본 논문에서 수행된 성능 평가 환경을 표 2에 나타내었다.

[표 2] 성능 평가를 위한 네트워크 모델

파라미터	내용
네트워크 크기	x, y 축의 거리가 100m인 90° 각을 가진 원호 형태
노드 개수	100개
영역별 거리(r)	25 m
멀티홉 전송 거리(D)	Max_Tr(부하 균등 라우팅 경로 구성 후 결정)
프로세싱에너지(E _{elec})	2.5 μJ/bit
증폭에너지(ε)	1.8 μJ/bit/m ²
노드 초기 에너지	15 kJ
패킷 크기(k)	400 bit

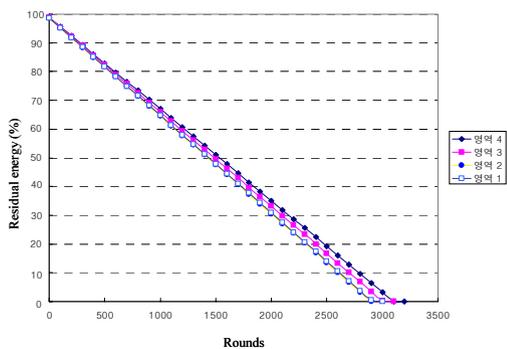
4.2 성능 평가

그림 5에 본 논문에서 제안한 호핑 라우팅 기법의 라운드 별 생존 노드 수를 나타내었다. 그림 5에서 대부분의 노드가 거의 같은 시간에 에너지가 고갈됨을 볼 수 있다. 에너지가 고갈되는 첫 번째 노드 발생 시점은 대략 2800 라운드 정도 된다. 그 이후에 센서 노드들의 에너지가 가파르게 고갈됨을 보여준다.



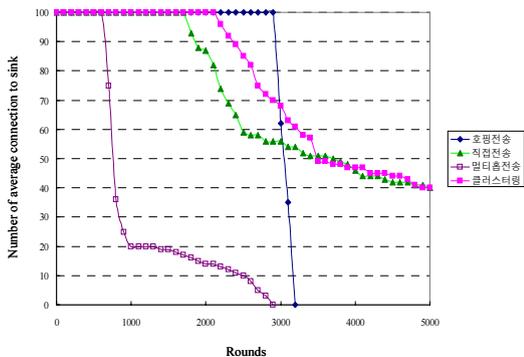
[그림 5] 호핑 라우팅 기법의 라운드 별 생존 노드 수

그림 6은 싱크 노드와의 홉 거리에 따른 영역 별 노드 에너지 잔량을 측정한 결과이다. 결과에서 모든 영역에 걸쳐서 노드들의 에너지 잔량 변화가 거의 같음을 알 수 있으며 영역별 부하 균형이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 6] 호핑 라우팅 기법의 영역 별 노드 에너지 잔량

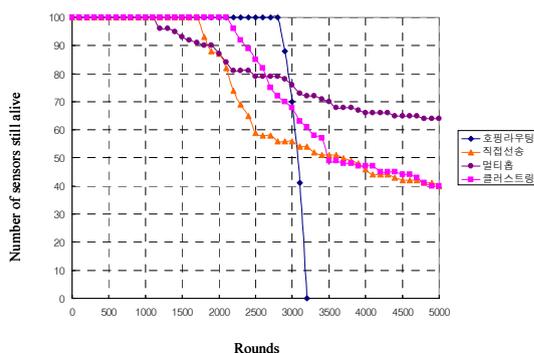
그림 7은 싱크 노드의 패킷 수신율을 보여준다. 싱크 노드의 패킷 수신율은 핫 스팟 발생으로 연결이 단절되는 경우 급격히 떨어지는 현상이 발생한다. 멀티 홉 기법의 경우 싱크 노드로부터 가까운 영역 노드의 에너지가 일찍 고갈되어 핫 스팟이 발생함으로써 패킷 수신율이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있으며, 직접 전송의 경우 또한 싱크 노드로부터 먼 거리 노드 에너지가 일찍 고갈되어 패킷 수신율이 낮아짐을 알 수 있다. 클러스터링 기법의 경우 멀티 홉 전송 기법이나 직접 전송 기법 경우에 비해 더 나은 성능을 보이지만 핫 스팟 문제를 회피할 수는 없다는 것을 알 수 있다. 반면에 호핑 라우팅 기법의 패킷 수신율은 핫 스팟이 발생하지 않음으로 각 노드의 에너지가 고갈 될 때까지 네트워크의 서비스를 지속적으로 제공할 수 있음을 보여 준다.



[그림 7] 싱크 노드의 패킷 수신율

센서 네트워크의 생존시간은 센서 네트워크가 적용되는 서비스에 따라 다르게 정의될 수 있다. 본 논문에서 대상으로 하는 주기적 모니터링 응용 서비스는 모든 노드가 생존이 가능할 때 정상적인 서비스가 가능한 응용 분야이다. 이 경우에는 FND(First Node Dies)가 네트워크 생존시간의 기준점이 된다.

그림 8은 호핑 라우팅 기법과 멀티 홉 전송 기법, 직접 전송 기법, 클러스터링 기법에 대한 네트워크 생존 시간을 보여 준다. 그림에서 호핑 라우팅 기법이 다른 기법보다 약 1.3~2배 정도 생존 시간이 더 긴 것을 확인할 수 있다.



[그림 8] 라우팅 기법 별 생존 노드 수

그림 7과 8의 결과는 호핑 라우팅 기법이 효과적인 에너지 균형을 통해서 핫 스팟 문제를 해결하면서 기존의 방식에 비해 네트워크 생존시간 성능 또한 우수함을 보여 준다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 주기적 모니터링 환경의 센서 네트워크에서 핫 스팟 문제를 해결할 수 있는 호핑 라우팅 기법을 제안하였다. 제안된 호핑 라우팅 기법은 네트워크의 모든 노드들의 에너지 소비 패턴이 예측 가능하도록 부하 균등 라우팅 경로를 구성한다.

수평 호핑 전송 기법은 고정된 단일 경로로 전송하는 일반(지정)노드 외에 여러 개의 경로로 호핑 전송하는 호핑 노드를 통해서 동일한 영역내 노드간의 부하 균형을 이룬다. 수직 호핑 전송 기법은 전송할 트래픽의 일부를 릴레이 전송이 아닌 싱크 노드로 직접 전송함으로써 서로 다른 영역의 노드 사이에 부하 균형을 이룬다.

수평 호핑 전송 시 우려되는 최대 전송 반경의 증가는

효율적인 호핑 노드의 선정을 통해 피할 수 있었고, 수직 호핑 전송에 필요한 직접 전송 횟수는 센서 노드의 에너지 소비 모델을 통해서 부하 균형을 이룰 수 있는 값을 도출하여 수직 호핑 전송에 적용하였다. 호핑 라우팅 경로 및 직접 전송 횟수 등 라우팅에 필요한 모든 계산을 싱크 노드가 담당하는 중앙 집중형 라우팅 결정 알고리즘을 사용함으로써 센서 노드에 대한 오버헤더를 줄였다.

시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 호핑 라우팅 기법이 핫 스팟 문제를 효과적으로 해결함을 보였으며 기존의 라우팅 기법 중에서 멀티홉 전송 방식과 직접 전송 방식 그리고 클러스터링 기법과의 패킷 수신율과 생존시간을 비교 평가함으로써 호핑 라우팅 기법의 효율성을 제시하였다.

본 논문에서 제시한 호핑 라우팅 기법은 가변 전송 환경을 갖는 센서 네트워크에는 적용하기 어렵고 대규모 센서 네트워크의 경우에도 적용이 불가능 하다. 이를 위해서는 가변 전송 환경을 갖는 네트워크를 대상으로 한 부하 균등 라우팅 모델링이 필요하며 대규모 네트워크를 위해서는 계층적 라우팅을 이용한 부하 균등 라우팅이 필요하다. 향후, 이에 대한 연구가 추가로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] Holger Karl and Andreas Willing, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks," pp. 290-330, WILEY, 2005.

[2] I. F. Akyildiz et al., "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Vol. 38, pp. 393- 422, March 2002.

[3] R. C. Shah and J. M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Vol. 1, pp. 350-355, Orlando, FL, Mar. 2002.

[4] J. Gomez and A.T. Campbell, "A case for variable-range transmission power control in wireless multihop networks," *proc. of the 23rd International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'04)*, pp. 1425-1436, 2004.

[5] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, Adaptive energy-conserving routing for multihop ad hoc networks," *Research Report 527, USC/ISI*, October

2000,URL.

[6] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[7] Jing Deng, Yunghsiang S. Han, Wendi B. Heinzelman and Pramod K. Varshney, "Balanced-energy sleep scheduling for high density cluster based sensor networks," *Computer Communications Vol. 28*, pp. 1631-1642, September 2005.

[8] M. Perillo, Z. Cheng and W. B. Heinzelman, "On the problem of unbalanced load distribution in wireless sensor networks," *GlobeCom Workshops 2004*, IEEE, Nov. 29 - Dec. 3, pp. 74-79, 2004.

[9] M. Younis, M. Youssef and K. Arisha, "Energy aware routing in cluster based sensor networks," *Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS2002)*, pp. 129-136, Fort Worth, TX, Oct. 2002.

[10] Gao J. and Zhang L., "Load-Balanced Short-Path Routing in Wireless Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 17(4)*, pp. 377 - 388, April 2006.

[11] Stanislava Soro and Wendi B. Heinzelman, "Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks via Unequal Clustering," *Proceedings of the 5th International Workshop on Algorithms for Wireless, Mobile, Ad Hoc and Sensor Networks (IEEEWMAN'05)*, pp. 236-243, April 2005.

[12] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin and John Heidemann, "Directed diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on networking*. Vol. 11, pp.2-16, Feb. 2003.

허 석 열(Seok Yeol Heo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1991년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2009년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1992년 3월 ~ 2005년 2월 : 밀양대학교 컴퓨터공학부 교수

- 2006년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 바이오메디컬공학과 교수

<관심분야>

RFID/USN, 컴퓨터 네트워크, u-Health

변 태 영(Tae-Young Byun)

[정회원]



- 1994년 2월: 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1997년 2월: 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2000년 2월: 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1998년 3월 ~ 2000년 2월: (주) 새빛정보 대표이사

- 2000년 3월 ~ 2003년 2월: 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수
- 2003년 3월 ~ 현재: 대구가톨릭대학교 컴퓨터정보통신공학부 조교수

<관심분야>

이동인터넷, 무선인터넷, 유비쿼터스 네트워크

이 완 직(Wan-Jik Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 통계학과 학사
- 1994년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2007년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1997년 3월 ~ 2006년 2월 : 밀양대학교 정보통신공학부 교수

- 2006년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 바이오메디컬공학과 교수

<관심분야>

통신프로토콜, 프로토콜 구현, 네트워크 보안

이 원 열(Won Yeoul Lee)

[정회원]



- 1987년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
- 1993년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2002년 : 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1997년 3월 ~ 2002년 2월 : 성심외국어대학 교수

- 2002년 3월 ~ 현재 : 영산대학교 공과대학 사이버경찰학과 교수

<관심분야>

이동통신망 라우팅 기술, VANET 통신 기술, 센서 네트워크 라우팅 기술

장 성 식(Seong-Sik Jang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2005년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1994년 2월 ~ 2001년 2월 : 김천대학 컴퓨터정보계열 조교수

- 2002년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학 모바일인터넷과 부교수

<관심분야>

Mobile IPv6, 마이크로이동성, 핸드오버 제어기술