

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터 전달 프로토콜

(An Energy-efficient Data Dissemination Protocol in  
Wireless Sensor Networks)

이 승 희 <sup>†</sup>      이 성 렬 <sup>\*\*</sup>      김 종 권 <sup>\*\*\*</sup>  
(Seung Hee Yi)    (Sung Ryoul Lee)    (Chong-Kwon Kim)

**요약** 매우 제한된 연산능력과 메모리 그리고 소용량 배터리를 가진 센서 노드로 구성된 센서 네트워크에서 플러딩이나 기존에 제안된 애드혹 라우팅 프로토콜을 적용하여 데이터를 전달하는 것은 현실적인 방안이 되지 못한다. 본 논문에서 우리는 ELF(Energy-efficient Localized Flooding)라고 하는 에너지 효율적인 데이터 전달 프로토콜을 제안하고자 한다. ELF 프로토콜은 소스 센서 노드와 이동성을 갖는 싱크 노드 간의 데이터 전달에 있어서 tracking zone이전까지는 유니캐스트를 통해서 데이터 메시지가 포워딩되며, tracking zone내에서는 지역적인 플러딩을 통해서 데이터가 전달되도록 하여 유니캐스트와 플러딩의 장점을 적절하게 결합하고 있다. 시뮬레이션을 결과에 따르면, ELF는 매우 높은 data delivery ratio를 유지하면서도 average energy consumption 및 average delay는 낮은 특성을 보임으로써 센서 네트워크의 데이터 전달 방법으로 매우 효과적임을 확인할 수 있다.

**키워드** : 데이터 전달, 플러딩, 센서 네트워크, ELF

**Abstract** Data dissemination using either flooding or legacy ad-hoc routing protocol is not realistic approach in the wireless sensor networks, which are composed of sensor nodes with very weak computing power, small memory and limited battery. In this paper, we propose the ELF(Energy-efficient Localized Flooding) protocol. The ELF is energy-efficient data dissemination protocol for wireless sensor networks. In the ELF protocol, there are two data delivery phases between fixed source and mobile sink node. The first phase, before the tracking zone, sensing data are forwarded by unicasting. After that, within the tracking zone, sensing data are delivered by localized flooding. Namely, the ELF properly combines advantages from both unicasting and flooding. According to evaluation results by simulation, the proposed ELF protocol maintains very high data delivery ratio with using a little energy. Also, the property of average delay is better than others. From our research results, the ELF is very effective data dissemination protocol for wireless sensor networks.

**Key words** : data dissemination, flooding, sensor network, ELF

## 1. 개요

무선 센서 네트워크는 분산 환경에서 중앙 집중 노드의 도움 없이 네트워크를 구축하고 유지해야 하는 측면에서 특정한 인프라 없이 네트워크를 구성하는 애드혹(ad-hoc) 네트워크와 유사하다고 할 수 있다[1]. 하지만

센서 네트워크는 애드혹 네트워크와는 달리 노드의 이동성이 거의 없고 센서 노드의 크기가 극히 소형이기 때문에 일단 센서 필드에 배치되고 나면 추가적인 에너지의 공급이 제한적이라고 할 수 있다[2]. 또한 사용 목적에 있어서도 애드혹과는 달리 비교적 범용이 아니라 특정 응용에 적합하도록 구성되는 것이 일반적이므로 사용하는 하드웨어에 있어서도 제한된 연산 능력과 메모리를 가지게 되므로 기존의 애드혹 네트워크의 연구 결과에 의해서 제안된 라우팅 프로토콜을 기반으로 센싱 데이터를 싱크 노드로 전달하는 것은 효과적인 방법이 되지 못한다.

센서 네트워크와 같이 인프라 노드가 존재하지 않고

<sup>†</sup> 정 회 원 : LG-Nortel 책임연구원  
shyi@lg-nortel.com

<sup>\*\*</sup> 학생회원 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부  
srlee@popeye.snu.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수  
ckim@popeye.snu.ac.kr

논문접수 : 2005년 4월 27일

심사완료 : 2005년 12월 14일

센서 노드의 오동작이나 기능 실패 등으로 인하여 네트워크의 토폴로지(topology)의 변화가 비교적 빈번하게 발생할 수 네트워크 환경에서는 흔히 플러딩(flooding)을 이용한 데이터 전달이 자주 사용되어 오고 있다. 플러딩은 그 동작 구조가 매우 단순하고, 네트워크 내에 노드 간의 연결성이 보장되기만 한다면 신뢰할 수 있게 데이터를 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 차량이나 비행기와 같이 이동성이 있는 싱크 노드에서도 센서 네트워크로부터 데이터를 받을 수 있어서 토폴로지 변화에 대한 강인성을 가진다. 하지만 플러딩은 상지에서 언급한 것과 같은 장점에도 불구하고 데이터 전달에 있어서 네트워크의 모든 노드들이 데이터 포워딩(forwarding)에 참여함과 그로 인한 과도한 데이터의 중복으로 인하여 에너지 사용 측면에서 고려해 볼 때 매우 비효율적인 특성을 보이고 있다. 이러한 사실은 에너지 공급에 있어서 매우 제약적인 센서 네트워크에 플러딩이 적합하지 않음을 알 수 있다.

플러딩과는 달리 센서 네트워크에서도 유니캐스트(unicast)를 통하여 센서 노드에서 발생한 데이터를 싱크 노드로 전달할 수 있다. 이것은 네트워크내의 노드 중에서 데이터가 가진 센서 노드에서 싱크 노드까지의 경로상에 존재하는 노드만이 데이터 포워딩에 참여하도록 함으로써 데이터 전달 자체만을 고려한다면 에너지 효율적이라고 할 수 있다. 하지만 센서 노드에서 싱크 노드까지의 경로를 발견하고 유지하기 위해서는 애드혹 라우팅(ad-hoc routing) 프로토콜의 도움이 필요한데, 기존에 제안된 애드혹 라우팅 방법들은 그 복잡성으로 인하여 센서 네트워크에 적용이 용이하지 않으며, 또한 싱크 노드가 이동성을 갖는 경우에는 토폴로지의 잦은 변경으로 인하여 경로를 재설정하는 일이 많아져서 그 효율성이 더욱 저하 된다고 할 수 있겠다.

본 연구에서는 플러딩의 변종으로서 ELF(Energy-efficient Localized Flooding)라고 하는 프로토콜을 제안하고자 한다. ELF는 센서 노드에서 측정된 데이터를 싱크 노드로 전달하는 프로토콜로서 특별히 고정형 센서 노드와 이동형 싱크 노드로 구성된 센서 네트워크에서 에너지 효율적으로 데이터를 전달할 수 있도록 디자인 되었다. 이러한 고정형 센서 노드와 이동형 싱크 노드로 구성된 센서 네트워크는 환경변화의 감시와 같이 관심 대상의 지역에 사전에 센서 노드를 배치 시키고 감시자가 이동하면서 특정 지역의 감시 정보를 필요에 따라서 동적으로 수신하는 예를 들 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크에서 데이터 전달을 위해서 제안된 방안들의 특징과 한계점을 분석한다. 3장에서는 새롭게 제안된 ELF 프로토콜의 세부 동작 알고리즘과 제어 메시지 등을 설명하고,

4장에서는 ELF 프로토콜의 중요한 프로토콜 파라미터를 분석하여 그 결과를 시뮬레이션 모델에 적용한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통하여 ELF 프로토콜을 평가한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 내리고 관련된 차후 연구 과제에 대하여 간략하게 언급한다.

## 2. 기존 연구

센서 네트워크에서 데이터 전달에 관련된 기존 연구는 플러딩 기반으로 데이터 중복을 줄이는 연구, 애드혹 라우팅 프로토콜 기반에서 제어 오버헤드(overhead)를 줄이는 연구, 그리고 GPS 등을 통한 위치 정보를 이용하는 라우팅 연구로 크게 구분해 볼 수 있다.

플러딩은 오래 전부터 데이터 전달에 이용된 방법으로 동작 구조의 단순함으로 많이 이용 되어 왔으나 전달 하고자 하는 데이터의 내파(implosion)로 인하여 과도한 중복이 발생하고 이로 인하여 센서 노드가 많은 에너지를 소모하고 있기 때문에, 이를 보완하는 가십(gossip)[3]은 센서 노드가 메시지를 수신하게 되면 임의로 선택한 하나의 인접 노드에게만 데이터를 전달함으로써 내파를 줄이고자 하는 접근이다. 하지만 가십은 데이터가 임의로 인접 노드를 선택하고 그 노드를 통하여 데이터가 전달 되므로 데이터 전달에 상당한 시간이 소요될 수 있으며 경우에 따라서는 데이터 전달이 실패할 가능성도 큰 문제점이 있다. SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)[4]은 노드간의 데이터 송수신에 있어서 실제 데이터의 전달 보다는 메타 데이터(meta-data)의 교환이 비용 면에서 더 저렴하다는 것에 근거한 것으로, 노드는 데이터 전달 전에 협상 과정을 거쳐서 유용한 데이터만이 네트워크를 통해서 전달되도록 한다. 따라서 SPIN은 데이터 전달 방안 자체를 의미한다기 보다는 협상과정을 통해서 플러딩에서 발생하는 중복 데이터 전달 문제를 해결 하고자 하는 접근이라고 하겠다.

애드혹 라우팅 프로토콜 기반으로 데이터를 전달하는 접근은 가장 활발하게 연구되어 오고 있는 분야라고 하겠다. Directed Diffusion[5]은 싱크 노드의 질의(query) 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로, 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현되는데 이러한 질의가 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합되는 데이터를 전송하기 위한 gradient가 설정된다. 이 때, 데이터는 다중 경로를 통해 전달되는데 경로 중에서 몇 개의 전송 품질이 좋은 몇 개의 노드들이 reinforcement되고, 이러한 경로를 통해서 데이터 전달이 이루어진다. Directed Diffusion의 이러한 정보 검색 방법은 데이터를 요청한 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터

를 요구하는 경우에는 적합할 수 있으나 일회성 혹은 짧은 기간 동안에만 전달되는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가지며, 또한 질의를 전송하는 싱크가 이동성을 가지는 경우에는 데이터 전달 경로의 reinforcement도 효과적으로 이루어지지 않는다. TTDD(Two-Tier Data Dissemination)[6]은 이동성을 갖는 싱크 노드의 데이터 전달을 고려한 것으로 데이터의 소스 노드가 사전에(proactive) 그리드(grid) 구조를 만들어 두었다가 이를 통해서 싱크 노드로 데이터를 전달한다. 이러한 TTDD는 센서 네트워크와 같이 노드 수가 많은 경우에는 그리드 구조를 유지하는 데 오버헤드가 많다고 하겠다.

위치 정보에 기반한 라우팅 방법인 geocasting[7]은 전체 네트워크에서 forwarding zone과 geocast region을 구분하여 데이터 전달 시 forwarding zone에 속한 노드만이 데이터 전달에 참여하여 플러딩에서 볼 수 있는 과도한 데이터 전파를 방지하고 geocast region내에서는 데이터가 플러딩 되도록 하여 신뢰성 있게 데이터를 전달하고자 하는 방안이다. 하지만 geocasting에서는 네트워크내의 모든 노드가 자신의 정확한 위치 정보를 인지하고 있어야 하기 때문에 센서 네트워크와 같이 고밀도로 노드가 배치된 환경에서 저가의 센서 노드에서 geocasting이 요구하는 정도의 정밀한 위치 정보를 제공하기 힘들다고 하겠다.

앞서 언급한 기존의 연구는 실험 결과 상으로는 본 연구 보다 더 나은 면을 보일 수도 있으나 에너지와 연산능력 및 메모리 측면에서 매우 제약적인 조건을 갖는 센서 노드에 적용하기에는 다소 현실적인 접근이 되지 못한다. 하지만, 본 제안된 방안은 이러한 조건에도 잘 동작할 수 있을 만큼 간결한 제어 구조를 가지면서도 에너지 소모와 데이터 전달에서도 좋은 특성을 나타내고 있다.

### 3. ELF(Energy-efficient Localized Flooding) 프로토콜

본 논문에서 제안하는 ELF 프로토콜은 이동성이 없는 고정된 센서 노드와 이동성을 갖는 싱크 노드로 구성된 센서 네트워크에 적합하도록 디자인된 것으로, 싱크의 이동성 정보를 플러딩에 이용하여 싱크가 위치한 주변에서만 플러딩이 이루어지도록 하여 복잡한 라우팅 방법이나 제어 메시지 없이도 신뢰성 있게 이동성 싱크에게 데이터가 전달되도록 한다. 즉 ELF는 싱크 노드의 이동에 따른 지역성(locality) 특성을 이용한 것으로, 소스 센서 노드에서 싱크가 위치한 주변의 센서 노드까지는 유니캐스트 데이터가 포워딩 되고 그 위치를 기준으로 일정한 범위나 조건하에서만 지역적인 플러딩이 이루어지도록 하는 방법이다.

ELF의 동작을 크게 3가지 측면으로 나누어 볼 수 있는데, 데이터 전달 경로 설정, 데이터 전달 과정, 데이터 전달 경로 재설정 이다.

#### 3.1 데이터 전달 경로 설정

싱크 노드는 센서 네트워크 내를 자유롭게 이동하면서 자신이 특정 데이터에 대한 정보를 필요로 하면, 해당 데이터에 대한 정보를 질의 메시지에 포함하여 센서 네트워크에 플러딩 하게 된다. 만약 싱크 노드가 자신이 원하는 정보를 소유한 센서 노드에 대한 정확한 위치 정보를 알고 있는 경우라면 플러딩이 아니라 별도의 방법을 통해서 질의를 해당 센서 노드로 전달할 수 있겠으나, 여기서는 이를 가정하지 않기 때문에 플러딩을 통해서 싱크 노드의 질의 메시지가 플러딩을 통해서 해당 정보를 갖고 있는 센서 노드에 전달 된다고 보자. 싱크 노드로부터 네트워크에 전달된 질의는 다중 홉(multi-hop)의 센서 노드를 거치면서 경유된 센서 노드에 대한 정보가 질의 메시지에 계속적으로 추가 되도록 한다. 이러한 경우 센서 노드에 대한 정보는 중간 노드에서 질의 메시지의 루프를 방지하는 용도로 사용될 수 있으며, 최종 센서 노드는 질의가 전달된 반대의 순서로 데이터 메시지가 전달 되도록 하는 소스 라우팅(source routing)의 기법을 적용함으로써 각각의 센서 노드는 별도의 라우팅 정보를 유지할 필요가 없어진다. 또한 다중의 경로를 통해서 전달된 동일한 질의 중에서 보다 효율적인 회귀 경로를 찾는 문제가 있을 수 있는데, 이것은 싱크가 요구한 데이터의 속성에 따라서 여러 가지 방안이 제시될 수 있는데 여기서는 일정 시간 내에 수신한 동일 질의에 포함된 경로 중 홉 수가 작은 것을 선택하는 것으로 한다. 또한 질의 메시지에 싱크 노드의 이동성 정도(mobility level)를 나타내는 요소가 포함되어 있는데, 데이터 전달과정에서 싱크 주변에서 수행하는 지역적인 플러딩의 범위를 결정하는 데 이용된다.

싱크가 생성하게 되는 질의 메시지는 대체로 표 1과 같은데, 이 중에서 sender id는 질의 메시지를 송신한 싱크 노드의 식별자이며, query seq는 질의 메시지의 유일한 식별자이며, data attribute는 싱크가 요구하는

표 1 질의 메시지의 구성 요소

Field	Description
message id	Message identifier(the query message)
sender id	Identifier of the sink
query seq	Query sequence number
data attribute	Attribute of request data
mobility level	Mobility of the sink
traverse-list	List of node identifiers which are recorded during flooding the query message
refresh-rate	Required data refresh rates

데이터 속성 정보를 나타내며, mobility level은 싱크의 이동성 정보를, traverse-list는 질의 메시지가 최종 센서 노드까지 전달되는 동안 경유된 노드의 식별자들을 포함하며, refresh rate는 싱크 노드가 데이터 메시지를 수신 하고자 하는 빈도를 나타낸다.

3.2 데이터 전달 과정

데이터 경로 설정 과정을 통하여 정해진 소스 센서 노드로부터 싱크 노드까지 데이터가 주기적으로 싱크 노드에 전달되게 된다. 이 때 데이터의 소스가 되는 센서 노드에서 싱크 노드가 위치한 주변 센서 노드까지는 유니캐스트로 전달되고 그 이후에는 tracking zone이라고 하는 범위 내에서 플러딩이 적용되는데 tracking zone을 정의하는 방법에 따라서 ELF는 두 가지의 세부 방안으로 구분될 수 있는데, 고정(static) tracking zone과 적응형(adaptive) tracking zone으로 나눌 수 있다.

소스 노드가 싱크 노드로 전달하게 되는 데이터 메시지는 대체로 표 2와 같은데, 이 중에서 data attribute는 싱크가 요구한 데이터 속성 정보를 나타내며, remaining hop count는 질의 메시지가 소스 노드에 도달하는 동안에 거친 홉 수와 동일한 값으로 데이터 메시지가

포워딩 되면서 1씩 감소하여 0이 되었을 때는 tracking zone의 시작으로 보고 지역적인 플러딩을 수행하는데 사용되며, flooding hop range는 tracking zone에서 플러딩 할 hop의 수로서 플러딩 되면서 1씩 감소하며 1 이상일 경우에만 플러딩을 수행하게 된다.

3.2.1 ELF - 고정형 tracking zone

고정 tracking zone은 데이터 메시지의 reverse traverse-list에 포함된 유니캐스트 노드를 지나면서 remaining hop count가 계속적으로 1씩 감소하는데 그 값이 0이 되면 지역적인 플러딩이 시작 되고, 싱크의 이동성 정도를 고려하여 데이터 메시지에 설정된 포함되어 있는 flooding hop range만큼 데이터 메시지의 플러딩이 진행되며, 이러한 플러딩에 의해서 flooding hop range내에서 싱크가 이동한 방향에 관계없이 데이터를 수신할 수 있는 장점이 있으나, 플러딩 되는 영역 내에 많은 센서 노드가 존재할 경우 에너지 낭비가 있을 수 있으며 싱크 노드의 이동성이 클 경우 그 만큼 더욱 큰 영역을 플러딩 해야 한다.

그림 1에서 알 수 있는 것처럼 고정형 tracking zone 방법은 데이터의 소스 센서 노드에 의해서 데이터 메시지의 플러딩 영역이 결정되는 방법으로 싱크 노드의 이동성 정도가 비교적 적은 경우에 보다 에너지 효율적이라고 할 수 있다.

3.2.2 ELF - 적응형 tracking zone

적응형 tracking zone 방법은 이동한 싱크의 이동 경로를 따라서 그 경로 상에 있는 센서 노드를 따라서 플러딩 영역이 계속적으로 확장되는 방안으로, 센서 노드가 인접 노드로부터 포워딩 할 데이터 메시지를 수신한 경우에 해당 싱크 노드로부터 자신의 존재를 알리는 hello 메시지를 받았고 그 메시지가 일정한 유효 기간 내에 있다면 자신이 tracking zone내에 있는 것으로 판단하여 데이터 메시지에 대한 포워딩을 진행하는 방법

표 2 데이터 메시지의 구성 요소

Field	Description
message id	Message identifier(the sensing data)
sender id	Identifier of the data source
sink id	Identifier of the sink
remaining hop count	Decreased by each hop
reverse traverse-list	List of node identifiers which are used to forward the sensing data through unicast
flooding hop range	Hop of localized flooding
data seq	Data sequence number
sensing data	Useful data for sink

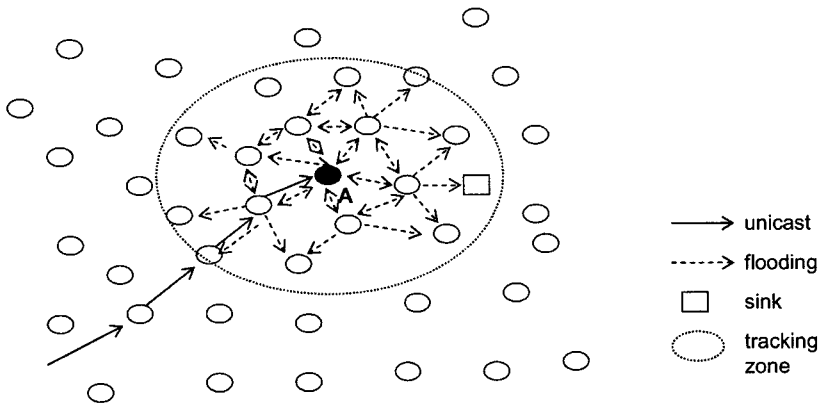


그림 1 고정형 tracking zone

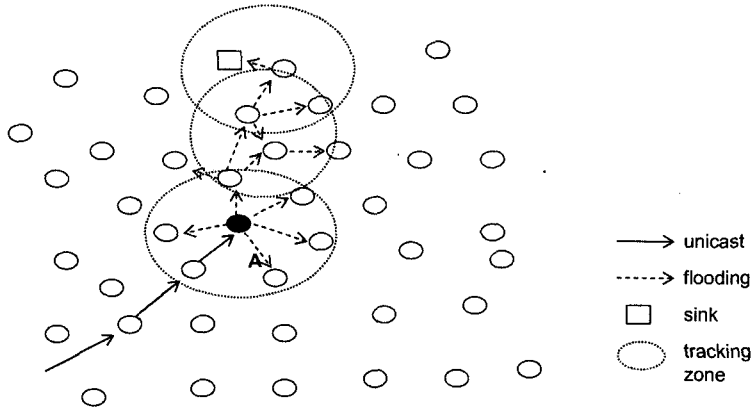


그림 2 적응형 tracking zone

으로 tracking zone이 싱크가 있는 지점까지 확장이 된다.

그림 2에서 알 수 있는 것처럼, 적응형 tracking zone에 있어서도 데이터 메시지의 reverse traverse-list에 포함된 유니캐스트 노드를 지나면서 remaining hop count가 계속적으로 1씩 감소하는데 그 값이 0이 되면 플러딩이 시작 되고, 여기서부터는 싱크 노드로부터 hello 메시지를 수신한 노드만이 tracking zone을 구성하여 연속적인 플러딩이 이루어져서 싱크가 이동한 방향으로 데이터 메시지의 전달이 이루어진다. 따라서 싱크 노드는 일정한 시간 주기 혹은 이동 하면서 새로운 노드를 만날 때 마다 hello 메시지를 전송하여 tracking zone이 체인(chain) 형태로 연결 되도록 해야 한다. 또한 싱크 노드로부터 직접 hello 메시지를 수신한 센서 노드는 이 메시지를 1-홉 범위로 자신의 이웃 노드들에게 전송함하고 그 과정이 반복되어 tracking zone내에 있는 센서 노드가 유효 시간 만료로 인하여 연결된 체인이 끊어지는 것을 방지할 수 있어야 한다.

이 방법은 싱크 노드의 hello 메시지의 전송에 의해서 tracking zone이 결정되기 때문에 싱크의 이동성 정도가 이동 중에 변경 되더라도 적절한 hello 메시지의 전송을 유지한다면 데이터를 정상적으로 수신할 수 있는 장점이 있다.

### 3.3 데이터 전달 경로 재설정

ELF 프로토콜은 데이터 소스가 되는 센서 노드로부터 싱크 노드로의 데이터 전달에 있어서 네트워크 전체의 플러딩이 아니라 이동성이 있는 싱크가 있는 근접한 위치까지는 유니캐스트를 통해서 데이터 메시지가 전달된 후에, 단지 tracking zone내에서만 지역적인 플러딩이 적용되기는 하지만, 싱크의 이동 거리가 매우 많은 경우에는 고정형 tracking zone에서는 flooding hop range가 점점 커져서 포워딩에 참여 하는 노드 수가 증

가하게 되고, 적응형 tracking zone에 있어서도 고정형 보다는 포워딩에 참여하는 노드 수는 작으나 데이터 전달 경로 자체가 매우 비효율적으로 연결될 수 있다.

따라서, 싱크 노드는 일정 시간 경과 후에 혹은 싱크가 수신하는 데이터의 품질 수준(예를 들면, 데이터 수신 지연이나 지터(jitter))이 저하됨을 감지하면 갱신된 질의 메시지를 전송함으로써 현재 이동된 위치를 기준으로 tracking zone이 재설정 되도록 함으로써 보다 효과적으로 데이터 메시지를 계속적으로 수신할 수 있다. 또한 갱신된 질의 메시지의 전달에 있어서는 싱크 노드가 원하는 데이터를 가진 센서 노드로 가는 개략적인 경로 정보를 이전에 수신된 데이터 메시지로부터 인지할 수 있기 때문에 최초로 전송하는 질의 메시지와는 달리 네트워크 전체로 플러딩 되지 않아도 된다.

### 3.4 고정형과 적응형 tracking zone 비교

ELF 프로토콜은 tracking zone을 정의하는 방법에 따라 고정형 tracking zone과 적응형 tracking zone으로 구분된다. 고정형 tracking zone의 경우; 데이터를 전송하는 소스 센서 노드에 의해서 tracking zone의 플러딩 범위가 결정되는데 동심원 형태로 모든 방향으로 flooding hop range 만큼 지역적인 플러딩(localized flooding)이 이루어지므로 싱크 노드가 추가적인 처리를 하지 않아도 되는 장점이 있으나 일반적으로 적응형 tracking zone보다는 플러딩에 관여하는 노드의 수가 많을 수 있다. 적응형 tracking zone의 경우, 싱크 노드의 주기적인 hello 메시지의 송신으로 인해서 tracking zone이 체인 형태로 확장되는데 싱크가 이동한 경로를 따라서 지역적인 플러딩이 이루어지므로 고정형 tracking zone보다 플러딩에 관여하는 노드 수는 적다. 하지만, 싱크가 hello 메시지를 추가적으로 전송해야 하고 tracking zone에 있는 센서 노드들로 hello 메시지를 수신하여 이를 다시 1-홉 플러딩을 해서 시간 경과로 인

해서 체인이 끊어지지 않도록 해야 한다.

제안된 두 가지 기법을 보면, 고정형 tracking zone은 싱크 노드의 이동성이 비교적 작고 이동의 형태에 있어서는 방향성을 가지고 있지 않은 임의의 방향으로 이동하는 경우에 더욱 적합하다고 볼 수 있으며, 적응형 tracking zone의 경우 싱크의 이동성이 비교적 크고 이동의 형태가 일정한 방향성을 가지고 있는 경우에 더 적합하다고 볼 수 있다.

#### 4. ELF 프로토콜 분석

제안된 ELF 프로토콜에 대하여 간략한 시뮬레이션을 수행해 보면, tracking zone에 의해서 data delivery ratio, average delay 및 average energy consumption 이 결정됨을 알 수 있다. 고정형 tracking zone의 경우에 flooding hop range를 이동성을 갖는 싱크의 이동성 정도를 고려하여 적절하게 조정되면 data delivery ratio를 100%에 가깝게 유지할 수 있으며, 싱크가 데이터 경로 재설정 메시지를 보내는 것에 의해서 average delay를 일정한 범위 내로 한정 지을 수 있으며, 과도하게 flooding hop range를 설정하지 않음으로 average energy consumption도 줄일 수 있다. 한편 적응형 tracking zone의 경우 싱크 노드가 tracking zone이 체인 형태로 유지되기 위해서 일정 주기로 hello 메시지를 전송하기만 하면 data delivery ratio를 100%에 가깝게 유지할 수 있으며, 싱크가 데이터 경로 재설정 메시지를 보내는 것에 의해서 average delay를 일정한 범위 내로 한정 지을 수 있으며, 싱크가 필요 이상 많이 hello 메시지를 전송하지 않음으로 average energy consumption도 줄일 수 있다.

상기에서 간단히 살펴본 바와 같이 ELF는 프로토콜의 몇몇 파라미터가 상호 유기적으로 관련되어 있어서 전체적인 프로토콜의 특성을 결정짓는 것을 알 수 있다. 따라서 여기서는 이러한 파라미터의 상호 관계를 중심으로 분석하고자 한다.

##### 4.1 ELF - 고정형 tracking zone 분석

그림 3에서 알 수 있듯이, 소스에서 생성된 데이터 메시지가 이동하는 싱크 노드까지 전달되기 위해서는 데이터 메시지에 포함되어 있는 remaining hop counter가 0이 되기 전까지 유니캐스트로 전달이 되고, 0이 되면 지역적인 플러딩이 시작되는데 플러딩 되는 영역의 크기는 flooding hop range에 의해서 결정이 된다. 즉, 센서 노드의 유효한 전송 거리(effective transmission range)를 “r”이라고 하면 플러딩 되는 영역의 크기는 “r \* (flooding hop range)”을 반지름으로 하는 동심원 형태로 결정된다. 이 경우에는 싱크 노드는 최대 반지름 “r \* (flooding hop range)”인 동심원만큼의 영역 내에

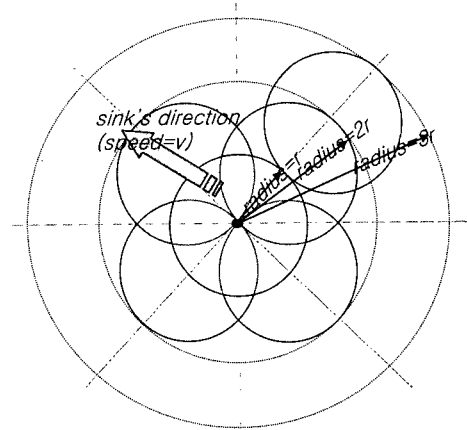


그림 3 고정형 tracking zone의 지역적인 플러딩 영역

서는 이동한 방향성에 무관하게 데이터 메시지를 정상적으로 수신할 수 있게 된다.

고정형 tracking zone에서 flooding hop range가 과도하게 설정되는 것을 방지하기 위해서 싱크는 일정한 주기로 질의 갱신 메시지를 전송함으로써 데이터 전달 경로가 재설정 되도록 해야 한다. 이러한 질의 갱신 주기 “f”는 그림 4와 같이 정의되며, 싱크의 이동 속도를 “v”라고 하면 다음과 같은 관계식을 만족해야 한다.

$$f < \left[ \frac{(\text{flooding hop range}) * (r)}{v} \right]$$

그러나, 실제 센서 노드가 센서 필드에 배치될 때는 임의적으로 배치가 되므로 센서 노드의 유효 전송 거리가 겹쳐져 있기 때문에 overlapping factor(0~1)를 감안해야 하므로 다음과 같은 식을 만족해야 한다고 할 수 있다.

$$f < \left[ \frac{(\text{flooding hop range}) * (r)}{v} * (\text{overlapping factor}) \right]$$

##### 4.2 ELF - 적응형 tracking zone 분석

그림 5에서 알 수 있듯이, 소스에서 생성된 데이터 메시지가 이동하는 싱크 노드까지 전달되기 위해서는 데이터 메시지에 포함되어 있는 remaining hop counter가 0이 되기 전까지 유니캐스트로 전달이 되고, 0이 되면 지역적인 플러딩이 시작되는데 플러딩 되는 영역은 싱크의 hello 메시지 전송에 의해서 체인 형태로 확장된다. 즉 노드의 유효한 전송 거리를 “r”이라고 하면 싱크는 “h = r / v” 이하의 주기로 hello 메시지를 전송하기만 한다면 싱크가 이동한 경로를 따라서 데이터 메시지의 지역적인 플러딩이 이루어지므로 싱크 노드는 정상적으로 데이터 메시지를 수신할 수 있게 된다.

$$0 < (\text{hello interval}) < \left( \frac{r}{v} \right)$$

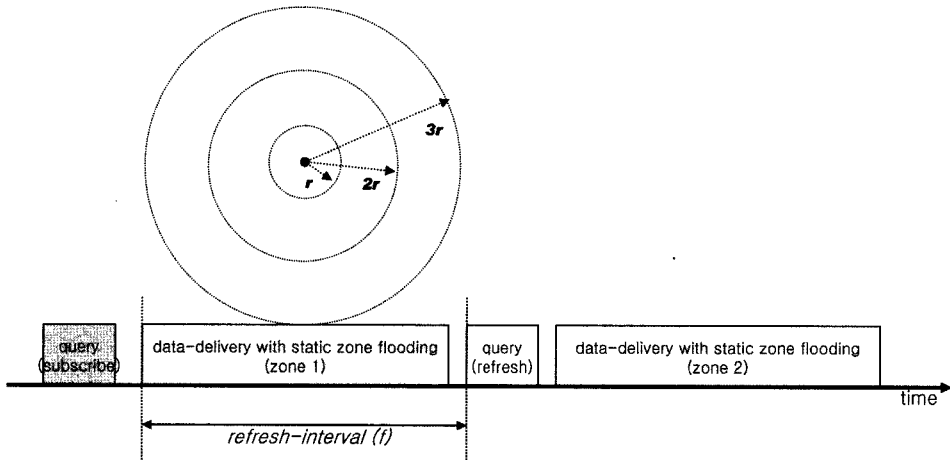


그림 4 고정형 tracking zone의 데이터 경로 재설정 주기

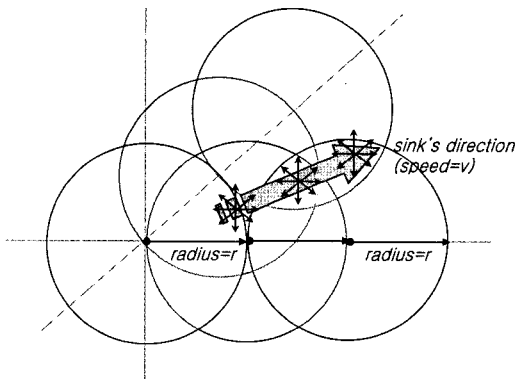


그림 5 적응형 tracking zone의 지역적인 플러딩 영역

그런데, 실제 센서 노드가 센서 필드에 배치될 때는 임의적으로 배치가 되므로 센서 노드의 유효 전송 거리가 겹쳐져 있기 때문에 overlapping factor(0~1)를 감안해야 하므로 다음과 같은 식을 만족해야 한다고 할 수 있다.

$$0 < (\text{hello interval}) < [(\frac{r}{v}) * \text{overlapping factor}]$$

적응형 tracking zone에서 체인 형태로 지역적인 플러딩에 관여하는 센서 노드가 과도하게 증가하는 것을 방지하기 위해서는 싱크 노드가 일정한 주기로 질의 갱신 메시지를 전송함으로써 데이터 전달 경로가 재설정 되도록 해야 한다. 이러한 질의 갱신 주기 "f"는 그림 6 와 같이 정의되며, 싱크의 이동 속도를 "v"라고 하면 다음과 같은 관계식을 만족해야 한다.

$$f < [(\frac{r}{v}) * (\text{chain hop count})]$$

그런데, 실제 센서 노드가 센서 필드에 배치될 때는 임의적으로 배치가 되므로 센서 노드의 유효 전송 거리가 겹쳐져 있기 때문에 overlapping factor(0~1)를 감안해야 하므로 다음과 같은 식을 만족해야 한다고 할 수 있다.

$$f < [(\frac{r}{v}) * (\text{chain hop count}) * (\text{overlapping factor})]$$

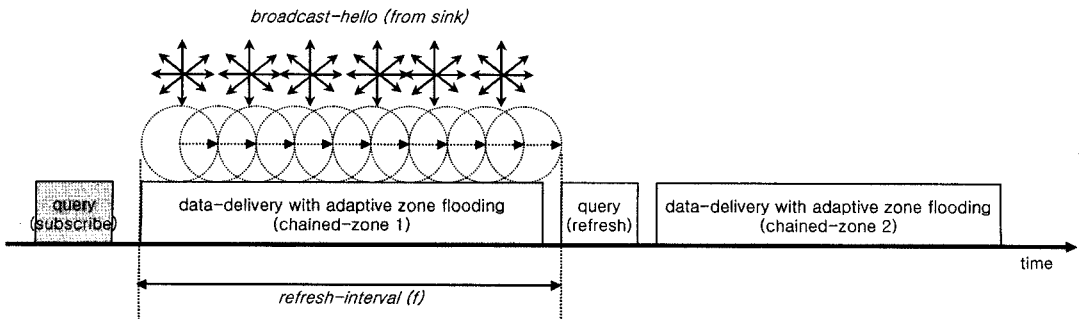


그림 6 적응형 tracking zone의 데이터 경로 재설정 주기

5. 시뮬레이션 결과

ELF 프로토콜을 평가하기 위해서, 우리는 NS-2 시뮬레이션을 수행하였다. 우리가 관심을 두고 있는 센서 네트워크의 응용에서는 센서 노드는 고정되어 있고 싱크 노드가 비교적 빠르게 이동하면서 센서 노드로부터 데이터 메시지를 수신하는 것이므로 2,000m x 2,000m 크기의 영역에 400개의 센서 노드를 그리드(grid) 형태로 배치 하였으며 각 노드의 전송 거리는 145m로 설정하였다. 또한 시뮬레이션 모델에서는 센서 노드는 전송을 위해서 0.080W를 수신을 위해서는 0.025W의 에너지를 소모하며, 라디오 전파 모델은 two-way ground이며 omni-directional antenna가 사용된다. 싱크 노드는 프로토콜 분석에서 나온 결과에 따라서 질의 메시지를 일정 주기로 갱신하며, 적용형 tracking zone의 경우 hello 메시지를 전달하여 tracking zone이 체인 형태로 확장 되도록 하였다.

제한한 ELF의 두 가지 tracking zone 기법을 플러딩 및 DSR(Dynamic Source Routing) 알고리즘을 이용하여 사전에 데이터 전달 경로가 결정된 유니캐스트와 비교하였는데, 싱크 노드의 이동 속도를 변화 시키면서 data delivery ratio, average delay, average energy consumption을 주요한 성능 인자로 평가하였다. ELF를 데이터 전달 방안에 있어서 보다 진보된 애드혹 라우팅 방안과 비교하지 않은 것은 본 방안을 적용하고자 하는 센서 노드는 에너지와 연산능력과 메모리 측면에서 매우 제한적이기 때문에 이러한 애드혹 라우팅 방안을 적용하는 것이 현실적인 접근이 아니기 때문이다. 또한, 싱크 노드의 이동 속도 변화 이외에 센서 노드의 배치 밀도를 변화 시키면서 동일한 성능 인자를 평가 하였는데, 센서 노드의 밀도 변화는 싱크 노드의 이동 속도 변화와 유사한 효과로 작용하였기 때문에 본 논문에서는 그 결과를 언급하지 않았다. 즉, 센서 노드의 배치가 Sparse한 것은 싱크 노드의 이동 속도가 늦은 것과 센서 노드가 Dense한 것은 싱크 노드가 빠르게 이동하는 것으로 묘사할 수 있다.

data delivery ratio는 그림 7에서 확인할 수 있는 것처럼, ELF의 두 가지 방안 모두는 플러딩처럼 거의 100%의 성공률을 보임을 알 수 있었다. 유니캐스트는 ELF와 동일한 주기로 질의 메시지를 갱신하여 소스 센서 노드에서 이동 중인 싱크 노드로의 경로를 재설정 하더라도 데이터 메시지가 질의 갱신 주기보다는 자주 발생하기 때문에 싱크 노드와 이를 전달해 주는 센서 노드의 경로 상의 위치 관계 때문에 다른 방안 보다 성공률이 많이 저하된다. ELF는 이러한 문제를 약간의 데이터 중복으로 해결할 수 있어서 100%에 가까운 성공률을 보인다. 다만, ELF에서 tracking zone내에 다수개의 센서 노드가 동시에 지역적인 플러딩을 시작함으로 인하여 무선환경의 MAC 계층에서 충돌이 발생하는데 이것으로 인해서 100%의 성공률이 달성되지 않은 경우가 있다. 이것은 MAC 계층에서 약간의 보완으로 극복이 가능하다.

average energy consumption을 보면, 플러딩은 과도한 데이터 메시지의 중복이 발생하기 때문에 가장 많은 에너지를 소모하게 되고 유니캐스트는 데이터의 중복이 전혀 없기 때문에 가장 적은 에너지를 소모하는 것을 볼 수 있다. ELF의 경우 tracking zone내에서 데이터 중복이 발생하기 때문에 유니캐스트 보다는 많은 에너지를 소모하게 되지만 그 차이가 매우 적음을 그림 8을 통해서 확인할 수 있으며, data delivery ratio측면에서 ELF가 유니캐스트 보다 나은 결과를 나타냄을 함께 고려한다면 그 차이는 더욱 작아진다고 하겠다. 또한, 고정형 tracking zone이 적용형 tracking zone보다 적은 에너지를 소모한 결과를 보이는데 이것은 시뮬레이션에서 싱크의 이동 속도가 비교적 커서 hello 메시지의 잦은 전송으로 인한 에너지 소모가 고정형 tracking zone에서 동심원 형태로 커지는 플러딩 영역의 확대보다 더 큰 요인으로 작용했기 때문이다.

average delay 관점에서 보면 플러딩의 지연 시간이 가장 큰 값을 보이는데, 플러딩의 경우 과도한 데이터 중복과 그로 인한 MAC 계층의 충돌로 인하여 소스 센

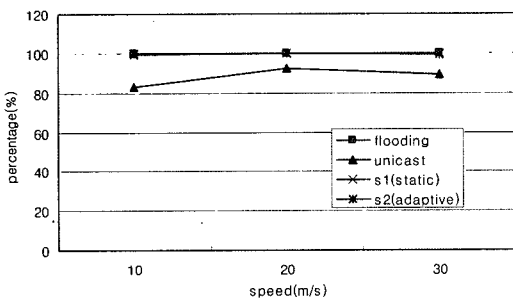


그림 7 data delivery ratio

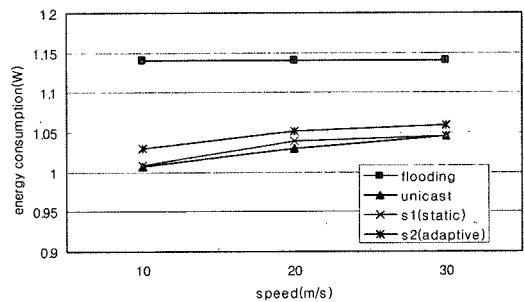


그림 8 average energy consumption



서 노드와 싱크 노드간에 일직선에 가까운 최단 경로 상의 노드에서는 충돌이 더욱 많이 발생하게 되므로 싱크 노드에서 수신한 데이터는 상대적으로 우회하여 전달된 것이기 때문이다. 반면에 ELF는 유니캐스트와 유사한 지연 시간을 보이고 있는데 이것은 ELF가 tracking zone 이전까지는 유니캐스트를 통해서 전달이 되고 tracking zone내에서만 지역적인 플러딩이 이루어지기 때문이다. 싱크 노드의 속도 변화에 따라 average delay가 다소 불규칙하게 변화하는 것은 센서 노드의 배치는 그리드 형태로 이루어진 반면에 싱크 노드는 이들 사이를 이동하기 때문에 싱크 노드의 이동에 따라서 실제 data dissemination에 사용하는 경로가 변화하기 때문인데 그 변화의 폭은 크지 않다.

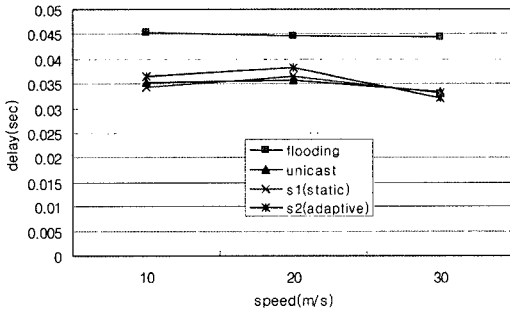


그림 9 average delay

상기의 시뮬레이션 결과를 종합해 보면, ELF의 두 가지 방안은 data delivery ratio 측면에서는 플러딩과 같이 거의 100%를 보이고 있고, average energy consumption 및 average delay는 유니캐스트와 유사한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 ELF 프로토콜이 플러딩과 유니캐스트의 장점을 적절하게 결합해서 사용하기 때문이라고 할 수 있다. 즉 tracking zone내의 지역적인 플러딩을 통해서 적절한 정도의 데이터 중복이 발생하도록 하여 쉽게 data delivery ratio를 향상 시키며, 데이터 전달 경로의 대부분의 구간을 유니캐스트로 전달되도록 하여 average energy consumption과 average delay를 작게 유지할 수 있도록 하였다.

### 6. 결론

본 논문에서 우리는 ELF 프로토콜을 제안하였는데, 이것은 무선 센서 네트워크에서 지역적인 플러딩을 이용하여 이동성을 갖는 싱크 노드에 데이터 메시지를 에너지 효율적으로 전달하는 방법이다. ELF 프로토콜은 높은 data delivery ratio를 유지하면서도 average energy consumption 및 average delay는 작은 값을 보

이며, 또한 그 동작 방법도 매우 직관적이고 복잡하지 않기 때문에 제한된 연산 능력과 메모리 그리고 소용량 배터리를 가진 센서 노드에게 매우 현실적인 적용 방안이라고 할 수 있다.

ELF 프로토콜은 소스 센서 노드와 싱크 노드 간의 데이터 전달에 있어서 tracking zone이전까지는 유니캐스트를 통해서 데이터 메시지가 포워딩 되며, tracking zone내에서는 지역적인 플러딩을 통해서 데이터가 전달되도록 하여 유니캐스트와 플러딩의 장점을 적절하게 결합하고 있다. ELF는 tracking zone을 정의하는 방법에 따라 고정형 tracking zone과 적응형 tracking zone으로 구분할 수 있다. 고정형 tracking zone은 소스 센서 노드가 싱크 노드의 이동성 정도에 따라서 설정한 flooding hop range에 의해서 지역적인 플러딩이 이루어지는 tracking zone의 영역이 결정되며, 적응형 tracking zone은 싱크 노드의 hello 메시지의 송신에 의해서 tracking zone이 체인 형태로 확장 되도록 한다.

앞으로, 본 연구와 관련하여 센서 노드의 밀도가 매우 높은 센서 네트워크에서 최소한의 tracking zone을 유지하는 방안에 대하여 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] HS Kim, T. Abdelzaher and WH Kwon, "Minimum-Energy Asynchronous Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," ACM SenSys, Los Angeles, CA, November 2003.
- [2] J. M. Kahn, R. H. Katz and K. S. j. Pister, "Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust," in the Proceedings of 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 99), Aug, 1999, pp. 271-278.
- [3] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Aug, 2002, pp. 102-114.
- [4] J. Kulik, W. Heinzelman and H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," Wireless Networks 8, 169-185, 2002.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proc. ACM MobiCom'00, Boston, MA, 2000, pp. 56-67.
- [6] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02), pages 148-159, Sep-

tember 2002.

- [7] YB Ko and N. Vaidya, "Flooding-Based Geocasting protocols for Mobile Ad hoc Networks," Mobile Networks and Applications, vol.7, no.6, 2002.



이 승 회

1996년 한양대학교 전자계산학과(학사)  
2005년 서울대학교 전기·컴퓨터공학부  
(석사). 1996년~1999년 LG정보통신 주  
임연구원. 1999년~2005년 LG전자 선임  
연구원. 2005년~현재 LG-Nortel 책임  
연구원. 관심분야는 프로토콜 디자인 및

성능분석, 이동통신 시스템, 차세대 이동통신



이 성 렬

2001년 서강대학교 컴퓨터학과(학사)  
2003년 서강대학교 컴퓨터학과(석사)  
2004년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터  
공학부 박사과정. 관심분야는 무선랜, 보  
안, 센서네트워크



김 중 권

1981년 서울대학교 산업공학과(학사). 1982  
년 미국 조지아 공과대학교 산업공학과  
(석사). 1987년 미국 일리노이 대학교 전  
산학과(박사). 1984년~1987년 IBM 산호  
세 연구소 연구조원. 1987년~1991년 미  
국 Bellcore 통신연구소 연구원 1991

년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수. 관심분야는  
차세대 인터넷, 초고속 라우터, 이동통신