

전력선 홈 네트워크를 위한 스패닝 트리 알고리즘 기반의 자동 중계 기술 연구

황민태[†], 최성수^{**}, 이원태^{**}

요 약

전력선 통신을 이용한 홈 네트워크 환경에서는 가전 기기의 노이즈 영향으로 인해 네트워크의 일부 구간
에 부하가 증가되어 송신 노드와 수신 노드 간에 갑자기 통신이 불가능한 상황이 발생될 수도 있다. 본
논문에서는 전력선 기반 홈 네트워크 환경에서 네트워크 부하 증가로 인한 통신 장애가 발생하는 경우
자동적으로 중계 가능한 노드들을 찾아 스패닝 트리 알고리즘에 따른 필요 최소한의 중계 노드들을 선발해
이들 노드들의 중계를 통해 수신 노드까지 패킷을 전달 가능하도록 하는 자동 중계 방식을 제안한다. 이
방식은 시뮬레이터 개발을 통한 성능 분석 결과 미국의 에델론 사의 자동 리피터 선택 기술에 비해 중계
노드들을 찾는 과정에서 노드간의 패킷 교환 횟수는 다소 증가하나 중계를 통해 수신 노드를 발견할 수
있는 확률은 거의 두 배 가까이 높아짐을 알 수 있다.

A Study on the Self-Healing Mechanism using Spanning Tree Algorithm for PLC-based Home Network

Mintae Hwang[†], Sungsoo Choi^{**}, Wontae Lee^{***}

ABSTRACT

The home network environment based on the power line communication has some unexpected events.
The noise source from the home appliances makes the network impedance increased, and the transmission
packets distorted. Therefore the packet transmission from the source node may not be delivered to the
destination node directly. In this paper we propose a new self-healing mechanism which relays the packet
to the directly unreachable destination automatically with the help of intermediate nodes. In order to
choose the minimum required intermediate nodes our mechanism makes a spanning tree with both the
directly reachable nodes and indirectly reachable nodes via the intermedia nodes. We developed the net-
work simulator in order to compare its performance to the Echelon's repeater selecting mechanism.
Though it required more packet relations than Echelon's but the reachable probability to the destination
was highly increased about two times.

Key words: PLC(전력선통신), Home Network(홈 네트워크), Self-Healing(자동 중계), Spanning Tree
(스패닝 트리)

1. 서 론

홈 네트워크란 가정 내의 여러 가지 디지털 가전

기기들을 유선 혹은 무선으로 연결하여 제어 정보나
데이터를 주고받게 되는 기술로서 아직까지는 가정
내에서 고속의 통신 기술을 이용한 응용 분야 개발이

※ 교신저자(Corresponding Author) : 황민태, 주소 : 경남
창원시 사립동 9(641-773), 전화 : 055)213-3832, FAX :
055)213-3839, E-mail : mthwang@changwon.ac.kr
접수일 : 2008년 3월 26일, 완료일 : 2008년 5월 2일

[†] 정회원, 국립 창원대학교 정보통신공학과 부교수

^{**} 정회원, 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원
(E-mail : sschoi@keri.re.kr)

^{***} 정회원, 한국전기연구원 융합기술연구단 책임연구원
(E-mail : wtlee@keri.re.kr)

미흡한 탓에 주로 저속의 통신 기술을 이용하는 홈오 토메이션 위주의 기술 개발에 국내의 관련 업체들이 주력하고 있는 추세이다.

이러한 저속의 홈 네트워크를 위한 하부 전송 기술로는 가정 내에 기 포설된 전력선을 활용하는 전력선 통신(PLC: Power Line Communication)이 중심에 있다 볼 수 있다. 전력선 통신은 전력 공급을 위해 사용되는 전력선을 전력 공급과 아울러 통신 매체로 사용하는 기술로서 60Hz의 가정용 전력 공급과는 다른 주파수 대역을 이용해 전력 공급과 통신을 동시에 지원하게 된다[1].

저속의 전력선 기반 홈 네트워크 기술의 활용 분야로는 주로 가정의 디지털 가전 기기들에 대한 원격 ON/OFF 제어나 온/습도 조절, 전력/수도/가스 등의 원격 검침, 방법 및 보안 서비스 등에 초점이 맞추어져 있다[2]. 실제로 최근에 건설된 고급 아파트에서는 외국에서 개발된 저속 전력선 모뎀 칩을 이용한 전력선 통신 기술을 이용해 생활의 편의를 도모할 수 있는 홈오토메이션 기능이 제공되고 있음을 알 수 있다.

이러한 저속의 전력선 통신을 이용한 홈 네트워크 환경에서는 일부 가전 기기의 영향으로 인해 네트워크의 일부 구간에 부하가 증가되어 갑자기 통신이 불가능한 상황이 발생할 수도 있다. 홈 네트워크상에서 전송 거리가 길어 설치 초기부터 통신이 불가능한 상황이라면 중간에 리피터 기능을 수행하는 장치를 설치하여 전송 거리 확장을 통해 해결하겠지만, 평소에 정상적인 통신을 보여주던 네트워크상에서 갑작스런 환경 변화로 인해 통신이 불가능하게 되는 경우에는 이를 즉시 해결하기 위한 자동 중계 기술이 제공되어야만 할 것이다. 자동 중계 기술은 송신 노드와 수신 노드 간에 정상 통신이 불가능한 경우 자동적으로 중계 노드들의 중계 도움을 통해 정상 통신이 가능하도록 하는 기술을 말한다.

본 논문에서는 전력선 기반 홈 네트워크 환경에서 네트워크 부하 증가로 인한 통신 장애가 발생하는 경우 자동적으로 중계 가능한 노드들을 찾아내어 스페닝 트리 알고리즘을 구성하고, 이를 이용해 필요 최소한의 중계 노드들을 선발한 다음 이들 중계 노드들의 중계를 통해 수신 노드까지 패킷을 전달 가능하도록 하는 자동 중계 방식을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 기존에 발표된 자동 중계 메

커니즘들을 분석하고서 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 중계 메커니즘의 요구사항을 도출하였으며, 3장에서는 이러한 요구 사항을 만족하는 새로운 스페닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘을 제시하였고, 4장에서는 시뮬레이터 개발을 통해 기 발표된 예월론 사의 자동 리피터 선택 기술과의 성능 비교 결과를 제시하였다. 끝으로 5장에서 결론 및 향후 연구를 다루었다.

2. 홈 네트워크를 위한 자동 중계 기술 요구사항 분석

2.1 기존의 자동 중계 기술 연구 동향

국내에서 저속의 전력선 통신 모뎀을 개발하고 있는 (주)플레넷에서 제안하고 있는 Plug & Play 기술 [3]에서는 부하에 의한 통신 장애나 취약 경로에 심한 노이즈 부하로 인해 통신 장애가 발생 시에 자동으로 라우터 포워딩 노드를 선택한 다음 이를 통해 정상 통신이 가능하게 하는 자동 중계 기능을 포함하고 있다.

수신 노드와의 정상 통신이 불가능하다고 판단한 송신 노드에서는 라우터 요청 메시지를 전체 네트워크에 방송하게 되며, 이를 수신한 노드들은 다시 송신 노드의 라우터 요청 메시지를 포워딩 하는 과정을 되풀이하여 수신 노드에 송신 노드의 요청 메시지가 전달될 수 있도록 하는 과정을 되풀이 한다. 수신 노드의 응답 메시지는 요청 메시지의 포워딩에 참여했던 노드들의 역의 과정으로 송신 노드로 전달이 되며, 이를 수신한 송신 노드는 포워드 채널 정보와 백워드 채널 정보를 이용하여 최적의 포워딩 그룹을 선발하게 된다. 플레넷의 Plug & Play 기술에서의 자동 중계 메커니즘은 이처럼 일반적인 개념 제시만 하고 있을 뿐 최적 포워딩 그룹 선발에 대한 구체적인 메커니즘은 나타나 있지 않다.

저속 전력선 모뎀의 선두를 지켜오고 있는 미국 예월론 사에서는 네트워크상에서 송신 노드의 신호가 전송 거리가 멀거나 노이즈의 영향으로 수신 노드까지 직접 전달되지 못하는 경우 송신 노드와 직접 통신이 가능한 노드들 간에 제어 신호를 주고받아 양방향 신호 세기 정보를 우선적으로 파악하게 된다 [4]. 그림 1에서 살펴보는 바와 같이 송신 노드에서는 제어 신호의 세기가 최소 임계치(T_{min}) 보다 크고

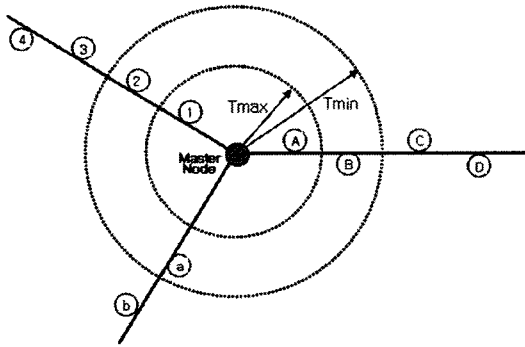


그림 1. 메쉬론 사에서의 자동 중계 기술

최대 임계치(T_{max}) 보다 작은 범위에 속하는 노드들만을 골라 1단계 중계 가능 노드로 선정하게 되는데(그림 1에서 노드 B, 노드 2 그리고 노드 a), 그 이유는 신호 세기가 임계치 보다 큰 경우에는 송신 노드에 근접한 노드로 간주하여 송신 노드와 유사한 상황이므로 중계 노드로서의 가치가 없다고 고려하는 것이다.

마찬가지로 신호 세기가 최소 임계치 이하인 경우에는 네트워크 상황에 따라 송신 노드와의 직접 통신도 불가능할 수가 있기 때문에 역시 중계 노드로서의 가치를 두지 않는 것이다. 신호 세기가 임계치 범위에 포함되는 노드들만 중계 가능 노드로서 선발하여 이들로 하여금 자신들과 직접 통신 가능한 새로운 노드들을 찾도록 한 다음 마찬가지로 신호 세기가 임계치 범위 내에 속하는 노드들만을 다음 단계 중계 가능 노드로 설정하게 된다. 이러한 과정을 반복하여 궁극적으로 수신 노드와 통신이 가능한 중계 노드들을 찾아가는 방법을 제시하고 있다.

ZigBee 기반의 무선 센서 네트워크에서 목적지 노드까지 패킷을 전달하기 위한 라우팅 방법은 경로 탐색 알고리즘을 이용한 라우팅과 수식 기반의 계층적 라우팅으로 분류된다[3]. ZigBee 네트워크는 AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector) 방식의 경로 탐색 알고리즘을 기본으로 하여 라우팅 기능을 수행하게 되며, 센서 노드가 메모리 부족이나 갑자기 경로를 잃는 등의 이유로 일시적으로 AODV 라우팅을 지원할 수 없을 때에 수식 기반의 계층적 라우팅을 이용하게 된다. AODV 라우팅은 경로 탐색 알고리즘을 통해 라우팅 테이블을 생성한 다음 이를 이용해 수신 노드까지의 패킷을 전달하는 방법이다. 만약 목적지 노드까지의 라우팅 정보가 테이블에 존

재하지 않는 경우에는 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위해 플러딩(Flooding) 방식으로 목적지 노드까지의 모든 경로 정보를 수집한 다음, 모든 경로에 대한 링크 비용(Cost)을 계산하여 가장 경로 값이 작은 경로를 선택하여 이를 라우팅 테이블에 저장하게 된다[5-7].

ZigBee 네트워크에 참여하는 노드들은 수식 기반의 주소 자동 할당 메커니즘을 통해 자신의 ID를 생성하게 되는데, 이러한 방법으로 할당된 노드들의 주소는 역시 수식을 이용해 자동으로 목적지까지 라우팅 기능을 제공하는 데 도움을 주게 된다[5]. 이러한 수식 기반의 계층적 라우팅은 AODV 라우팅을 지원할 수 없을 때에 사용하게 된다. ZigBee와 같은 무선 센서 네트워크 환경에서는 기본적으로 중계 노드들의 도움을 통해 목적지 노드에 까지 패킷을 전달하는 기술을 사용한다[7]. 이러한 중계 기술은 근본적으로 형성되는 네트워크 토폴로지 상에서 패킷의 주소를 이용해 수식의 만족 여부에 따라 상위 부모 노드로 전달하거나 하위 자식에게 전달하거나 하여 목적지 경로를 찾아가는 라우팅 기술에 해당한다.

2.2 기존의 자동 중계 기술의 장단점 분석

본 논문에서는 기존의 자동 중계 기술의 장단점을 분석하여 표 1과 같이 정리하였다.

먼저, 플레넷의 Plug & Play 기술은 구체적인 알고리즘이 제시되어 있지 않지만 일반적으로 생각 가능한 단순한 알고리즘을 이용해 모든 경로를 탐색해 직접 통신이 불가능한 수신 노드를 찾아내는 방식을 제공하고 있다[3]. 직접 통신이 가능한 모든 노드가 새로운 노드를 발견하는 데 참가해야 하므로 네트워크 내에 방송 패킷이나 응답 패킷이 많아져 트래픽이 가중되는 문제가 발생할 수 있다.

반면, 메쉬론의 자동 리피터 선택 기술은 송신 노드와 직접 통신이 가능한 노드들 중에서 신호 세기가 임계치 범위 내에 드는 노드들만을 후보 노드로 선택해 수신 노드를 탐색해 가는 방식을 취하므로 이상적인 경우 수신 노드를 빠르게 찾을 수 있다는 장점이 있다[4]. 또한 플레넷의 Plug & Play 방식과 비교해 볼 때 상대적으로 적은 수의 후보 노드들을 사용하게 되므로 네트워크상에서 교환되는 패킷의 수가 적다는 장점이 있다.

하지만 네트워크 계층의 역할인 자동 네트워크 기

표 1. 기존의 자동 중계 기술의 장단점 비교

기술 분류	장 점	단 점
Planet의 Plug & Play	- 단순하다 - 모든 경로를 탐색 가능	- 구체적인 알고리즘이 부재함 - 방송 패킷의 수가 많음
Echelon의 자동 리피터 선택 기술	- 직접 통신이 가능한 일부 노드만 중계 노드로 선택하므로 트래픽이 적음 - 수신 노드를 찾는 수렴 속도가 대체로 빠름	- 하위 계층으로부터 신호세기 정보를 필요로 함 - 수신 노드를 찾지 못하는 경우가 발생함
ZigBee의 수식 기반 자동 라우팅	- 경로 테이블이 필요하지 않음 - 트리 구조를 이용해 임의의 노드간의 라우팅 지원	- 복잡한 수식을 각 노드에서 적용 - 최단 경로를 두고 우회해서 전달하는 문제 발생

능 동작을 위해 하위 계층에서의 신호 세기 정보를 이용해야 한다는 단점이 있으며, 또한 후보 노드들 중에서 일부만을 이용하므로 수신 노드를 찾지 못하는 경우가 발생할 수도 있다. 이 경우에 에셀론 알고리즘은 송신 노드와 직접 통신이 가능한 나머지 노드들 중에서 추가로 새로운 후보를 선택하게 되는데 새로운 후보에 의해서도 수신 노드를 찾지 못하는 심각한 경우가 발생할 수가 있다.

ZigBee에서는 수식 기반의 계층적 주소 할당 기법을 사용하므로 수식에 기반을 둔 자동 라우팅을 제공할 수 있는 장점을 지닌다[5]. 수식에 의해 패킷의 목적지를 찾아가게 됨에 따라 각 노드에서는 별도의 경로 테이블(라우팅 테이블)이 필요하지 않으며, 수식 조건을 만족하는 경우에는 자식 노드로 전달하고 그렇지 않은 경우에는 부모 노드로 전달하는 비교적 단순한 방식으로 라우팅 기능을 제공할 수 있다. 아울러 수식 기반으로 전체 노드가 부모-자식 간의 트리 구조를 형성하고 있으므로 임의의 노드 간에 패킷 전달을 위한 라우팅 기능을 제공할 수 있다. 하지만 라우팅을 위한 복잡한 수식을 각 노드에서 적용해야 하는 부담이 있으며, 심각한 경우 한 홉의 거리에 위치한 노드와 노드 간에 패킷을 직접 전달 가능한 경우에도 수식에 의해 먼 거리를 우회하여 전달하게 되는 최단 경로 문제가 발생할 수도 있다[7].

2.3 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 중계 기술 요구사항

전력선 기반 홈 네트워크 환경에서는 통신망의 부하가 갑자기 증가하거나 노이즈 요소의 발생으로 인해 송신 노드에서 수신 노드까지 직접 통신이 불가능한 경우가 발생할 수가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하여 전송 거리를 확장하고 통신 운영

지역을 해소하기 위한 자동 중계 기술을 개발하기 위해서는 아래 표 2와 같은 요구사항이 필요함을 분석하였다.

먼저, 토폴로지 측면에서 전력선 기반 홈 네트워크는 버스 혹은 트리 구조 기반이므로 이러한 토폴로지를 지원 가능한 자동 중계 기술이 되어야 할 것이다. 센서 네트워크와 같이 물리적으로 트리 구조를 가지는 경우에는 수식 기반의 자동 라우팅 기능을 제공하여 수신 노드까지의 경로를 찾아갈 수 있으나 물리적으로 버스 구조인 환경에서는 부모-자식 간의 트리 구조를 이용한 자동 중계 기능이 사실상 불가능할 수도 있다. 이는 버스 구조의 네트워크 환경에서는 한 노드의 패킷 전달이 전체 네트워크에 방송이 되는 상황이므로 응답 노드가 물리적으로 가까이에 위치한 노드라고 단정 지을 수가 없기 때문이다.

아울러 홈 네트워크 환경에서는 노드의 ON/OFF가 자주 발생하고, 노드의 이동성 역시 제공해야 하는 요구사항이 따른다. 부모-자식 간의 트리 구조가 노드의 OFF나 이동에 의해 깨어지는 경우가 발생되면 수식 기반의 계층적 라우팅을 일관성 있게 적용하기 힘들다. 따라서 ZigBee에서의 수식기반 자동 라

표 2. 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 중계 기술 요구사항

분 류	자동 중계 기술 요구사항
토폴로지	버스 혹은 트리 구조 지원
이동성	노드의 잦은 ON/OFF 특성과 이동성 지원
통신 오버헤드	네트워크 계층의 기능만으로 동작
알고리즘 동작 시기	자동 중계 기술 필요시
알고리즘의 활용도	자동 중계 알고리즘 적용 결과에 대한 재활용
트래픽	방송 패킷의 수를 최소화하는 모델 요구

우팅 기능을 전력선 기반의 홈 네트워크에 적용하기 힘들다고 볼 수 있다.

그리고 지능형 홈에 연결되는 가전 기기의 통신 기능에 대한 오버헤드가 고려되어야 한다. 예셀론 알고리즘에서는 자동 중계 기능을 위해 하위 계층으로부터 신호 세기 정보를 주고받는데, 전력선 기반 홈 네트워크를 위한 자동 중계 알고리즘은 하위 계층의 부가 정보 없이 네트워크 계층의 기능만으로 자동 중계 기능을 제공할 수 있도록 해야 할 것이다.

또한 자동 중계 기능을 근본적으로 제공하기 위해 통신망 구성 시에 노드들 간에 부모-자식 간의 관계를 형성해 가는 방식보다는 네트워크 내에서 자동 중계 기능을 필요로 하는 상황이 발생하면 그 때 송신 노드에서부터 수신 노드를 탐색하기 위한 자동 중계 알고리즘이 동작하는 방식이 유리하다 볼 수 있다.

자동 중계 알고리즘의 적용 결과로서 얻어진 정보는 송신 노드에서 직접 통신이 불가능한 수신 노드를 탐색하는 데에만 사용하고 폐기되는 정보가 아니라 임의의 노드 간 통신에도 적용 가능한 기술을 포함해야 할 것이다. 끝으로 네트워크 내 통신 불안정시 중계 가능한 방송 패킷의 수를 최소화할 수 있는 모델 연구가 요구된다.

3. 전력선 홈 네트워크를 위한 스페닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘

본 논문에서는 전력선 기반 홈 네트워크상에서 송신 노드와 수신 노드 간에 갑자기 직접 통신이 불가능한 상황이 발생하는 경우에 다른 노드들의 중계를 통해 수신 노드와 통신이 가능하도록 하는 스페닝 트리(Spanning Tree) 기반의 새로운 자동 중계 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안 알고리즘의 단계별 동작 과정은 다음과 같다.

- 1단계: 송신 노드와 직접 통신이 가능한 노드들을 찾음
- 2단계: 1단계 발견 노드들로 하여금 새로운 노드를 찾는 프록시 기능 수행 요청
- 3단계: 새로운 노드가 발견되면 이들 노드들로 하여금 다음 단계의 프록시 기능 수행을 요청하고, 그렇지 않으면 알고리즘을 종료함
- 4단계: 단계가 증가하더라도 스페닝 트리들이 이

용해 새로이 발견되는 노드까지의 유일한 경로를 따라 중계 요청을 전달하여 새로운 노드를 찾는 프록시 기능 수행을 반복함

제안 알고리즘에 대한 이해를 돕기 위해 그림 2에 이러한 알고리즘을 흐름도로 제시하였다.

먼저 송신 노드(S)에서 수신 노드(D)와 직접 통신이 불가능하게 되는 경우 송신 노드는 알고리즘의 첫 번째 단계로서 자신과 직접 통신이 가능한 모든 노드들을 찾게 된다.

그림 3은 송신 노드(S)가 여섯 개의 직접 통신이 가능한 노드를 찾은 다음 이들 여섯 개의 노드들로 하여금 프록시(Proxy) 기능을 수행하여 지금까지 발견되지 않은 새로운 노드들을 찾도록 하는 과정을 보여준다. 이 그림에서는 1단계에서 발견된 여섯 개의 노드가 새로운 네 개의 노드를 발견하고 있는 모습을 보여주고 있다.

본 알고리즘의 궁극적인 목적은 송신 노드에서 수신 노드까지 중계 노드들을 통해 패킷을 전달할 수 있도록 하기 위해 적절한 중계 노드들의 시퀀스를 찾는 데 목적이 있다. 따라서 본 알고리즘은 수신 노드(D)를 발견할 때까지 진행되며, 중간 과정에서 더

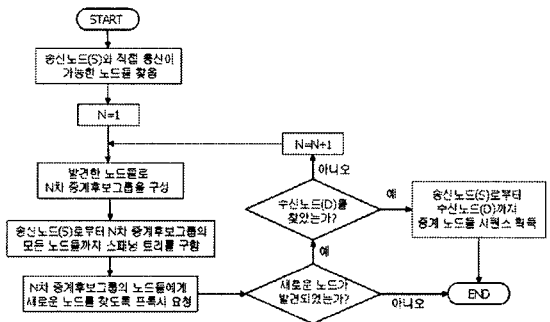


그림 2. 제안하는 자동 중계 알고리즘의 흐름도

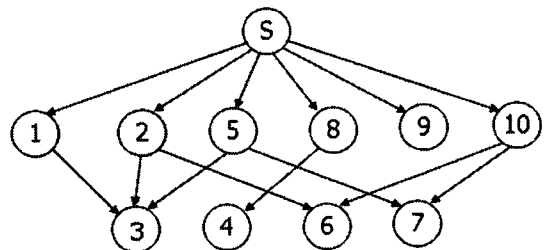


그림 3. 제안 알고리즘에서 새로운 노드들을 발견해 가는 과정

이상 새로운 노드가 발견되지 않는 경우에는 중계 노드들의 도움으로도 통신이 불가능한 상황임을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 송신 노드가 수신 노드를 찾기 위한 중계 노드들을 단계별로 찾아가는 과정에서 얻어지는 그래프를 이용해 스패닝 트리(Spanning Tree)를 생성하고 이를 이용하여 송신 노드에서 가장 최근에 발견된 노드들까지 필요 최소한의 단계별 중계 노드들만을 활용하여 수신 노드를 찾아가게 된다.

즉, 그림 4에서 살펴보는 바와 같이 송신 노드(S)에서부터 가장 최근 단계에서 새로이 발견된 노드들까지의 중계 시퀀스를 얻는 데 필요한 노드들만 스패닝 트리를 이용해 남기고 나머지 노드들은 중계 과정에서 제외시키게 된다. 제안하는 알고리즘을 이용하게 되면 알고리즘 수행 단계가 깊어지더라도 필요 최소한의 노드들만 이용해 수신 노드(D)를 찾는 알고리즘을 계속 수행하게 됨을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 알고리즘은 예술품에서 제안하는 자동 리피터 선택 기술과는 달리 현재 네트워크 상황에서 얻어진 스패닝 트리를 이용해 송신 노드에서 임의의 노드까지의 중계 노드 시퀀스를 구하는 데에도 활용 가능하다. 예를 들면, 그림 4에서 얻어진 스패닝 트리를 이용해 송신 노드(S)는 직접 통신이 불가능한 노드 4에 패킷을 전달하기 위해서는 노드 8의 중계를 통해 전달할 수 있음을 알 수 있다.

중계 노드들을 찾아가는 단계가 계속 진행되어 궁극적으로 수신 노드를 찾게 되는 경우를 그림 5에서 보여주고 있다. 송신 노드는 수신 노드들 찾아내는 과정에서 얻어진 스패닝 트리를 이용해 통신 가능한 모든 노드까지의 중계 노드 시퀀스 정보를 확보하게 된다.

그림 6은 제안하는 알고리즘의 동작 과정에서 수

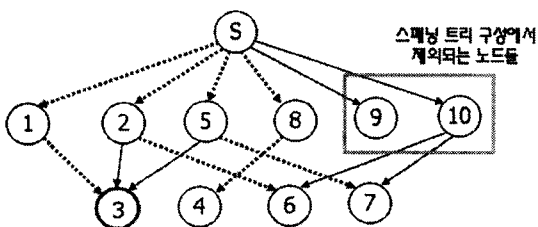


그림 4. 스패닝 트리를 이용해 필요 최소한의 노드들만 중계 과정에 참여

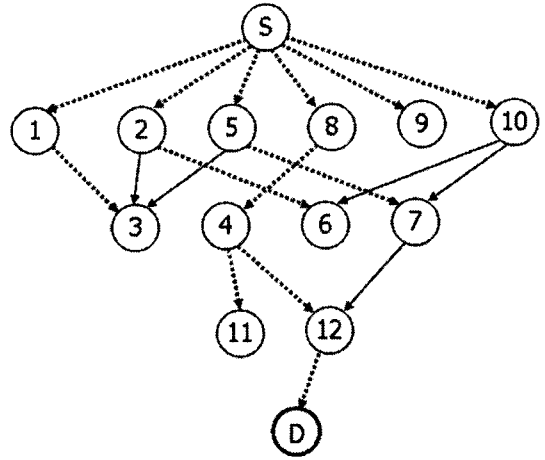
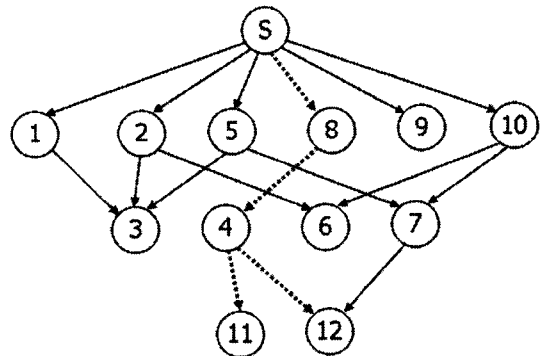


그림 5. 송신 노드에서 모든 노드와 통신 가능한 스패닝 트리



더 이상 발견되는 새로운 노드가 없음
(어떠한 알고리즘도 발견할 수 없음)

그림 6. 수신 노드가 발견되지 않아 알고리즘이 종료되는 경우

신 노드가 발견되지 않은 상태에서 더 이상 새로운 노드가 발견되지 않는 경우 알고리즘이 종료되는 모습을 보여주고 있다. 이러한 상황은 제안하는 알고리즘뿐만 아니라 어떠한 알고리즘도 수신 노드를 발견해 낼 수 없는 경우에 해당한다. 즉 수신 노드를 연결하고 있는 링크에 과도한 부하가 걸려 어떠한 노드도 수신 노드와 직접 통신이 불가능한 경우에 해당한다.

4. 스패닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘 성능 평가

4.1 자동 중계 알고리즘의 성능 비교

제안하는 스패닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘은 송신 노드에서 수신 노드와의 직접 통신이 불가능

할 때 단계적으로 새로운 노드들을 발견하면서 최근 발견된 노드들까지의 스페닝 트리를 구성하고 이를 이용해 다음 단계 진행에 필요한 노드들까지의 경로 시퀀스를 찾아 관련 노드들만 중계에 참여하도록 하는 과정을 반복하여 궁극적으로 수신 노드까지의 중계 경로를 찾아내는 방식이다.

이 방식은 플래넷의 Plug & Play 기술[3]에서 제시하고 있는 일반적인 자동 중계 메커니즘의 동작 시나리오를 보다 구체적으로 정립한 것에 해당하며, 스페닝 트리 알고리즘을 이용해 알고리즘 단계가 깊어질수록 수신 노드를 찾기 위해 참여하는 중계 노드들의 수를 현저히 줄여 필요 최소한의 노드들만이 중계에 참여할 수 있도록 한 효율적인 메커니즘이라 할 수 있다.

표 3은 기존의 자동 중계 알고리즘과 제안하는 스페닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘의 장단점을 비교한 것이다.

본 논문에서는 전력선 통신 기반의 홈 네트워크에 적용 가능한 자동 중계 기술을 고려하고 있으므로 버스 구조 혹은 계층적 트리 구조의 토폴로지를 대상으로 한다. 따라서 무선 센서 네트워크에서의 자동 중계 기술은 제안 알고리즘과의 비교 대상에서 제외하도록 한다.

먼저, 플래넷의 자동 중계 기술은 직접 통신이 가능한 모든 노드들을 대상으로 하여 수신 노드를 탐색해 가는 방식으로서 수신 노드 탐색을 위해 방송 패킷이나 응답 패킷을 많이 주고받아야 하는 알고리즘에 해당하며, 무엇보다도 구체적인 메커니즘이 제시되어 있지 않다.

따라서 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 플래넷의 Plug & Play 기술의 구체적 메커니즘 개발로 여겨지므로 에셀론의 자동 리퍼터 선택 기술과 제안 알고

리즘간의 성능 비교에만 초점을 맞추고자 한다.

4.1.1 평균적인 수신 노드 탐색 시간 및 패킷 수는 두 알고리즘이 비슷함

에셀론 알고리즘은 송신 노드에서 직접 통신이 가능한 노드들의 신호 세기 정보를 수집하여 신호 세기가 임계치 범위 내에 속하는 노드들만을 대상으로 하여 새로운 노드들을 찾도록 하는 방식으로 동작한다. 이러한 일련의 과정을 통해 수신 노드가 직접 발견되는 경우에는 제안 알고리즘 보다 탐색 시간이나 패킷 교환의 수 측면에서 효율적임을 알 수 있다.

하지만 한 번의 알고리즘 수행으로 수신 노드를 발견하지 못하는 경우 에셀론 알고리즘은 송신 노드와 직접 통신이 가능한 1차 중계 후보 노드들 중에서 처음 선택한 노드들을 제외한 나머지 노드들 중에서 추가로 후보 노드들을 선별하여 이들로 하여금 새로운 노드들을 찾도록 하는 과정을 진행한다[2]. 마찬가지로 수신 노드가 발견되지 않고 더 이상 새로이 발견되는 노드가 없다면 다시 추가로 후보 노드를 선별하는 과정을 반복하게 된다. 이 경우에는 제안 알고리즘과 비슷한 성능을 보이거나 오히려 성능이 낮아지게 된다. 따라서 에셀론 알고리즘의 수신 노드 탐색에 소요되는 평균적인 탐색 시간 및 패킷 교환 수는 이론적으로 제안 알고리즘과 비슷하거나 오히려 낮은 수준임을 알 수 있다.

4.1.2 제안 알고리즘은 에셀론 알고리즘에 비해 수신 노드 발견 확률 높음

앞서 에셀론 알고리즘의 장단점 분석에서 다루었듯이 에셀론 알고리즘은 송신 노드와 직접 통신이 가능한 1차 중계 후보 노드들만을 이용해 원하는 수신 노드를 찾아가는 과정을 반복하는 알고리즘으로

표 3. 자동 중계 알고리즘의 장단점 비교

기술 분류	수신 노드 탐색 방식	성능 비교와 관련된 장단점
Planet의 Plug & Play 자동 중계	- 직접 통신이 가능한 모든 노드를 대상으로 수신 노드를 탐색	- 구체적인 알고리즘이 부재함 - 방송/응답 패킷이 많아짐
Echelon의 자동 리퍼터 선택 기술	- 직접 통신이 가능한 노드들의 일부만을 이용해 수신 노드를 탐색	- 하위 계층의 신호세기 정보가 필요함 - 수신 노드를 발견하지 못하는 경우가 발생함
스페닝트리 기반 자동 중계 (제안 알고리즘)	- 직접 통신이 가능한 모든 노드를 대상으로 하나 단계가 증가하면 스페닝 트리를 이용한 중계 시퀀스를 계산해 관련 노드만으로 수신 노드 탐색	- 발견 가능한 모든 노드를 탐색 가능 - 에셀론 알고리즘에 비해 교환 패킷 수는 많은 편임 - 탐색 결과 생성된 스페닝 트리를 임의의 노드까지 자동 중계에 재활용

서 2차 중계 후보 혹은 그 이후 차수의 중계 후보 노드들 중에서 임계치 범위 내에 들지 않는 임의의 노드에 의해서 발견 가능한 수신 노드의 경우에는 찾아내지 못하게 된다. 하지만 제안하는 알고리즘으로는 이러한 발견 가능한 수신 노드를 근본적으로 찾아 낼 수 있다는 점에서 상대적으로 우수한 알고리즘이라 볼 수 있다.

4.1.3 제안하는 알고리즘은 네트워크 층에서의 패킷 교환만으로 동작

에설론의 알고리즘은 하위 물리층에서 노드 간 신호 세기 정보를 교환하여 신호 세기가 최소 임계치 (T_{min})와 최대 임계치(T_{max}) 사이에 존재하는 노드들을 중계 후보 노드에 포함시켜 이들로 하여금 새로운 노드를 찾도록 하는 탐색 단계를 진행하게 된다[2].

이처럼 에설론 알고리즘은 네트워크 층에서 자동 중계 기능을 수행하기 위해 하위 물리층으로부터 신호 세기 정보를 제공 받아야 하므로 네트워크 층에서의 패킷 교환만으로 동작하는 제안하는 알고리즘에 비해 비효율적임을 알 수 있다.

4.1.4 제안하는 알고리즘은 송신 노드에서 임의의 노드까지 자동 중계에 재활용

에설론의 알고리즘은 신호세기 정보를 이용해 중계후보 그룹이 구성되므로 목적 노드를 찾게 되었다 할지라도 송신 노드에서 직접 통신이 불가능한 네트워크상의 임의의 다른 노드와 통신 하고자 하는 경우 다시 알고리즘의 수행을 거쳐야 한다. 왜냐하면 에설론 알고리즘의 수행 과정에서 단계별 신호세기가 T_{min} 과 T_{max} 사이에 존재하는 노드들만을 이용해 발견되는 새로운 노드들만을 대상으로 하였기 때문에 비록 목적 노드를 발견했다 할지라도 그 이외에 발견되지 않은 노드들이 있을 수도 있다. 따라서 발견되지 않은 노드에 송신 노드가 패킷을 전달하고자 하는 경우에는 후보 노드들을 추가로 선발해 새로운 수신 노드를 찾는 과정을 계속하거나 처음부터 자동 중계 알고리즘을 다시 진행해야 한다.

하지만 제안 알고리즘은 단계별로 발견 가능한 모든 노드들을 찾아내므로 송신 노드에서 임의의 새로운 수신 노드까지 중계 시퀀스를 바로 찾아내어 활용할 수 있다.

4.2 제안 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이터 개발

제안하는 스페닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘의 성능 평가를 위해 C++ 프로그래밍을 이용한 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 동일한 네트워크 환경에서 제안 알고리즘과 에설론 알고리즘의 성능 비교가 가능하도록 두 가지 알고리즘을 단일 프로그램 내에 포함시켜 개발하였다.

시뮬레이터 개발의 효율성을 위해 네트워크상의 노드 구성은 그림 7과 같이 4개의 블록으로 구분하고서 각 블록에 임의의 노드들을 배치하는 형태로 구성하였다. 또한 인접 블록 간에는 직접 통신이 가능하고 그렇지 않은 블록 간에는 직접 통신이 불가능하도록 간략화 하였으며, 인접 블록 간에도 블록을 구성하는 각 노드들 간에는 신호 세기에 따라 직접 통신이 가능한 경우와 그렇지 않은 경우로 상황을 모델링하였다. 그리고 이러한 네트워크 모델은 시뮬레이션을 실행할 때마다 매번 새로운 환경이 구성되도록 개발하였다.

이러한 네트워크 모델 상에서 자동 중계 기능을 시뮬레이션하기 위해 송신 노드는 블록 A에서 선택하도록 하고, 수신 노드는 블록 D에서 선택하도록 하였다.

그림 8은 개발한 시뮬레이터를 구동시켜 동일 환경에서 제안 알고리즘과 에설론 알고리즘이 모두 수신 노드를 찾게 되는 경우와 제안 알고리즘은 수신 노드를 찾고 에설론 알고리즘은 수신 노드를 찾는데 실패하게 되는 두 가지 경우에 대한 시뮬레이션 사례를 보여주고 있다.

성능 비교를 위한 파라미터로서 시뮬레이션 과정에서 성공적으로 수신 노드를 찾게 되는 성공 횟수와 송신 노드에서 수신 노드를 찾기까지 노드들 간의 통신 횟수를 사용하였다. 여기서 통신 횟수는 송신 노드에서 수신 노드를 찾아가는 과정에서 각 단계별 노드와 노드 간에 패킷을 주고받는 관계(Relation)

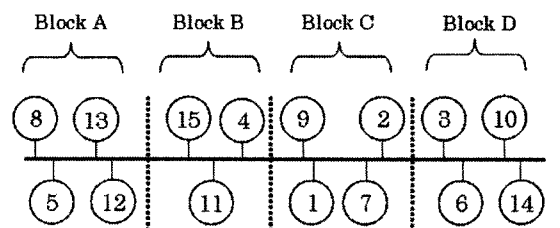


그림 7. 시뮬레이터 개발을 위한 네트워크 모델링의 예

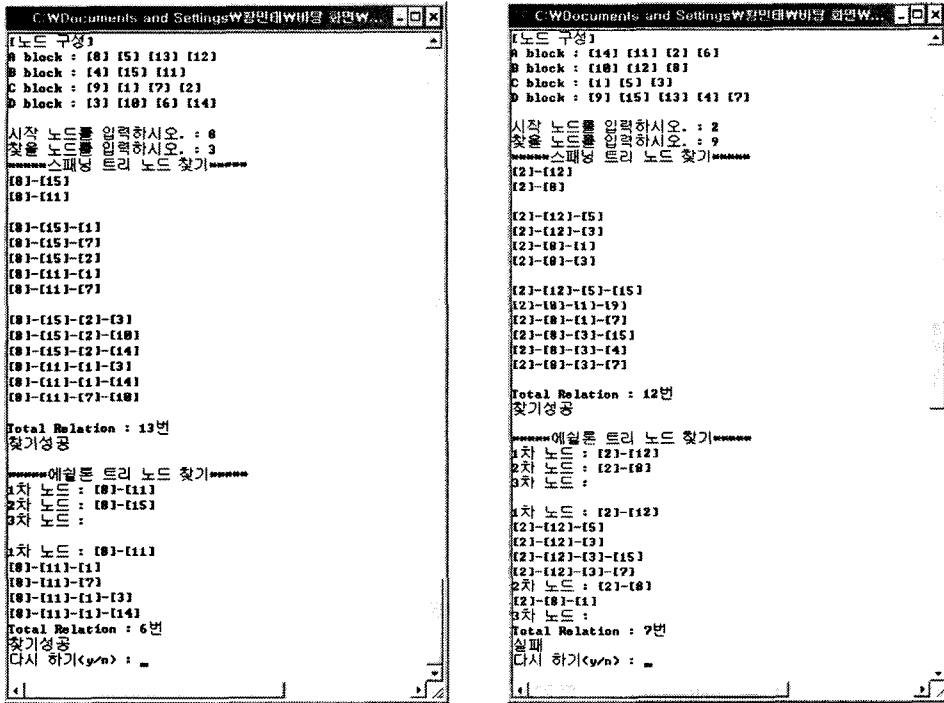


그림 8. 제안 알고리즘과 에셀론 알고리즘의 성능 비교 시뮬레이터

횃수를 말하며, 송신 패킷과 응답 패킷을 따로 분리하지 않고 하나로 묶어서 표현하여 효율적으로 성능 비교가 가능토록 하였다.

표 4에서 살펴보는 바와 같이 개발한 시뮬레이터를 100회 단위로 5회 반복 수행하면서 수신 노드를 성공적으로 찾게 되는 횃수와 수신 노드를 찾지까지 노드간의 통신 횃수를 측정하였다.

시뮬레이터 개발을 통한 성능 분석 결과 제안하는 알고리즘은 평균 77.4%의 확률로 수신 노드를 발견하였으며, 에셀론 알고리즘은 평균 43.6%에 그치고 있음을 알 수 있다. 이는 제안 알고리즘이 에셀론 알고리즘에 비해 거의 두 배에 가까운 확률로써 수신

노드를 찾아낼 수 있음을 의미한다. 시뮬레이터 상에서 제안하는 알고리즘이 100% 수신 노드를 찾지 못하는 경우는 매 시뮬레이션마다 네트워크 모델을 달리 구성하는 과정에서 중간 블록에 노드가 전혀 배정되지 않거나 혹은 인접 블록에 속한 노드들 간에 통신 관계가 존재하지 않는 시뮬레이션 환경이 가끔 만들어지기 때문이다.

표 4에서 송신 노드에서 수신 노드를 찾지까지의 평균 통신 횃수는 100회당 평균 통신 횃수를 100회당 평균 성공 횃수로 나눈 값으로써, 제안 알고리즘의 경우 15.81회를 보여주고 있으며 에셀론 알고리즘은 12.51회를 보여주고 있어 에셀론 알고리즘이 제안 알

표 4. 시뮬레이터를 이용한 자동 중계 알고리즘의 성능 비교

비교대상	비교항목	1회~100회	101회~200회	201회~300회	301회~400회	401회~500회	100회당 평균	평균통신 횃수
제안 알고리즘	성공 횃수	80	78	76	75	78	77.4	15.81
	통신 횃수	1,265	1,219	1,125	1,237	1,275	1,224.2	
에셀론 알고리즘	성공 횃수	41	41	44	46	46	43.6	12.51
	통신 횃수	520	469	524	606	608	545.4	

고리즘에 비해 비교적 적은 통신 횟수로서 수신 노드를 발견할 수 있음을 보여주고 있다.

시뮬레이터 개발을 통한 성능 분석 결과 비록 제안 알고리즘은 에셀론 알고리즘에 비해 수신 노드를 발견하기까지의 통신 횟수는 약간 많은 편이나 수신 노드를 발견하게 될 확률은 거의 2배나 높음을 알 수 있었다.

5. 결 론

전력선 기반 홈 네트워크 환경에서는 통신망의 부하가 갑자기 증가하거나 노이즈 요소의 발생으로 인해 송신 노드에서 수신 노드까지 직접 통신이 불가능한 경우가 발생할 수가 있다. 이러한 문제를 해결하여 전송 거리를 확장하고 통신 음영 지역을 해소하기 위해 본 논문에서는 스페닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘을 제안하였다.

제안하는 스페닝 트리 기반의 자동 중계 알고리즘은 송신 노드에서 수신 노드와의 직접 통신이 불가능할 때 단계적으로 새로운 노드들을 발견하되 스페닝 트리를 이용해 다음 단계 진행에 필요한 노드들까지의 필요 최소한의 경로 시퀀스를 찾아 관련 노드들만 중계에 참여하도록 하여 궁극적으로 수신 노드까지의 중계 경로를 찾아내는 방식이다.

이 방식은 스페닝 트리 알고리즘을 이용해 알고리즘 단계가 깊어질수록 수신 노드를 찾기 위해 참여하는 중계 노드들의 수를 현저히 줄여 필요 최소한의 노드들만이 중계에 참여할 수 있도록 한 효율적인 메커니즘이라 할 수 있다.

제안하는 자동 중계 알고리즘과 에셀론의 자동 리피터 선택 기술의 성능을 비교해 본 결과, 수신 노드 탐색에 소요되는 평균적인 탐색 시간 및 패킷 교환 수는 제안 알고리즘이 에셀론 알고리즘과 비슷하거나 오히려 낮은 수준임을 알 수 있다. 또한 에셀론 알고리즘은 수신 노드를 발견하지 못하는 상황이 발생할 수 있으며, 알고리즘 동작을 위해 하위 계층에서의 신호 세기 정보를 필요로 하는 단점이 있으나 제안하는 알고리즘의 경우에는 발견 가능한 모든 노드들을 찾을 수 있으며, 네트워크 층에서 패킷 교환

만으로 동작하므로 효율적인 알고리즘으로 여겨진다. 아울러 알고리즘 수행 결과는 송신 노드에서 또 다른 임의의 수신 노드까지의 자동 중계에 재할용 가능한 점도 제안 알고리즘이 에셀론 알고리즘에 비해 우수한 면으로 간주할 수 있다.

본 논문에서는 제안하는 스페닝 트리 기반의 알고리즘과 에셀론 알고리즘을 동일 환경에서 비교 가능한 시뮬레이터를 개발하였으며, 시뮬레이터를 통한 성능 분석 결과 제안 알고리즘은 에셀론 사의 자동 리피터 선택 기술에 비해 중계 노드들을 찾는 과정에서 노드간의 패킷 교환 횟수는 다소 높은 편이나 중계를 통해 수신 노드를 발견할 수 있는 확률은 거의 두 배 가까이 높아짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

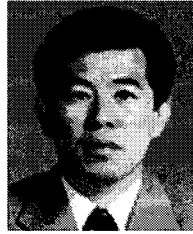
- [1] H. A. Latchman and L. W. Yonge, "Power Line Local Area Networking," *IEEE Communications Magazine*, Vol.41, pp. 32-33, 2003.
- [2] N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani, and B. Honary, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, pp. 34-40, 2003.
- [3] 플라넷(주), PLC Plug & Play 운용 기술, 2004.
- [4] Echelon, System and Method for Selecting Repeaters, US Patent No. 6,862,430, 2005.
- [5] ZigBee Specification, ZigBee Document 053474r06 ver.1.0, ZigBee Alliance, 2005.
- [6] D.B Jonson, D. A. Maltz, Yih-Chun Hu, and J. G. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks(DSR)," Internet Draft, IETF MANET Working Group, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, 2002.
- [7] 이혜찬, "계층구조의 센서 네트워크에서 동적 주소할당과 라우팅 알고리즘," 제26회 한국정보처리학회 추계학술발표논문집, 제13권 제2호, pp. 1466-1469, 2006.



황민태

1990년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
1992년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
1996년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 박사

1996년 2월~1999년 2월 한국전자통신연구원 표준연구센터 선임연구원
1999년 3월~2000년 2월 인제대학교 정보컴퓨터공학부 전임강사
2000년 3월~현재 국립창원대학교 정보통신공학과 부교수
2004년 3월~2005년 2월 미국 조지아공대(Georgia Tech) 방문교수
관심분야 : 전력선 통신 프로토콜, 자동 네트워킹, 멀티미디어 매체접속제어



이원태

1983년 2월 연세대학교 전기공학과 공학사
1985년 2월 연세대학교 전기공학과 석사
2007년 2월 경남대학교 전자공학과 박사
1985년 3월~현재 한국전기연구

원 융합기술연구단 책임연구원
관심분야 : 협대역 전력선통신 기술 및 시스템 구현 기술



최성수

1996년 2월 경원대학교 전자공학과 학사
1998년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2002년 9월 미국 미네소타주립대 EECS 조교 (Pre-Doc. Assist.)

2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
2003년 2월~현재 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원
2004년 3월~현재 과학기술연합대학원대학교 전력정보통신공학 겸임교수
2004년 9월 미국 미네소타주립대 EECS 초빙연구원
관심분야 : 전력선 통신 기술, 무선 위치 인식 기술, 초광대역 통신기술, SoC 설계