

# 공공 Wi-Fi 네트워크에서 수신 신호 세기 이력 기반의 핸드오프 기법

최기욱\*, 김선경\*, 소재우°

## Received Signal Strength History Based Handoff Scheme in Public Wi-Fi Networks

Giwook Choi\*, Sunkyung Kim\*, Jaewoo So°

### 요약

Wi-Fi 네트워크에서 단말은 현재 접속 중인 AP (Access Point)로부터의 수신 신호가 특정 임계값보다 낮아지면 다른 AP로 핸드오프를 수행한다. 종래의 Wi-Fi 핸드오프 방법에서는 무선 랜 주파수 채널을 검색한 후 검색된 AP 리스트 중에서 수신 신호 세기가 높은 AP를 선택하여 핸드오프를 수행하였다. 그러나 종래의 Wi-Fi 핸드오프 기법은 단말의 진행 방향 및 채널 페이딩을 고려하지 않은 문제점이 있다. 본 논문에서는 공공 Wi-Fi 네트워크에서 수신 신호 세기 이력 기반의 핸드오프 기법을 제안한다. 제안하는 수신 신호 세기 이력 기반 핸드오프 기법은 단말이 주기적으로 주변 AP들을 검색하여 수신 신호 세기를 수집하고, 수집한 수신 신호 세기 이력을 통해 단말의 평균 수율을 가장 높일 수 있는 AP로 핸드오프를 수행한다. 모의실험을 통해 공공 Wi-Fi 네트워크에서 제안한 수신 신호 세기 기법이 종래의 핸드오프 기법 보다 단말의 평균 수율을 높이는 것을 보였다.

**Key Words** : Wi-Fi, Handoff, Received Signal Strength, WLAN, Public Wi-Fi Network

### ABSTRACT

In Wi-Fi networks, a station performs a handoff to another access point (AP) if the received signal strength (RSS) becomes lower than a specific threshold. In the conventional handoff scheme, the station scans all the Wi-Fi frequency channels in order to find the target AP with the highest RSS when the RSS is less than a specific threshold. However, the conventional handoff scheme chooses the target AP without the consideration of the channel fading and the moving direction of the station. This paper proposes a RSS history-based handoff scheme in public Wi-Fi networks. In the proposed Wi-Fi handoff scheme, the station periodically collects the RSS from the neighboring APs and, on the basis of the RSS history, it chooses a target AP that maximizes the throughput. The simulation results show that the proposed Wi-Fi handoff scheme improves the average throughput of the public Wi-Fi networks in comparison with the conventional Wi-Fi handoff schemes.

\* First Author : (ORCID:0000-0001-5216-8233)Department of Electronic Engineering, Sogang University, wook6664@sogang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-6782-0212)Department of Electronic Engineering, Sogang University, jwso@sogang.ac.kr, 중신회원

\* (ORCID:0000-0002-6161-3535)Hyundai Motors, sunkyung@hyundai.com, 학생회원

논문번호 : 201806-A-153-RN, Received March 8, 2018; Revised June 25, 2014; Accepted July 24, 2018

## I. 서론

최근 스마트폰, 태블릿, 노트북의 사용자가 급증하면서 모바일 인터넷의 수요가 증가하고 있다. 이에 따라 이동통신 제공사 및 지방자치단체를 중심으로 공공 Wi-Fi 네트워크 인프라 구축이 활발하다. 일례로, 2018년 서울에 약 1만 6천대의 공공 Wi-Fi 서비스용 AP를 운영하는 중이다. 공공 Wi-Fi 네트워크에서 단말이 이동함에 따라 연결 중인 AP의 수신 신호 세기 (Received Signal Strength; RSS)가 특정 임계값 이하로 낮아지면, 단말은 주변에 위치한 다른 AP로 연결을 전환해야 하는데, AP 간에 연결을 전환하는 과정을 IEEE 802.11의 MAC (Media Access Control) 계층 핸드오프라고 한다. IEEE 802.11의 MAC 계층 핸드오프는 일반적으로 AP 검색 과정, 단말 인증 과정, 단말 등록 과정의 세 단계로 이루어진다. AP 검색 과정, 단말 인증 과정, 단말 등록 과정이 완료되면 단말의 MAC 계층 handoff가 완료된다. 실제 환경에서 단말 인증 과정과 단말 등록 과정은 각각 약 10ms 이하가 소요되는 반면, AP 검색 과정은 약 200-400ms가 소요된다<sup>[1]</sup>. handoff 과정 중에는 단말과 AP 간에 트래픽을 전송할 수 없다. 따라서 handoff 지연 시간의 대부분을 차지하는 AP 검색 과정의 소요 시간을 줄이기 위한 연구들이 진행되어 왔다. 이는 2장에서 자세히 다룬다.

공공 Wi-Fi 네트워크는 AP (Access Point)의 커버리지 반경이 작아 핸드오프가 빈번하게 발생한다. 따라서 사용자에게 더 안정적인 연결을 제공하기 위해서는 단말과 거리가 가까우면서 단말의 진행방향에 위치하여 단말의 평균 수율을 높이는 AP로 핸드오프하는 것이 중요하다. IEEE 802.11 표준의 핸드오프 방식은 단말이 Wi-Fi 채널 전체에 대해 1회 검색으로 측정된 수신 신호 세기를 기반으로 핸드오프 할 AP를 선택하므로, 수신 신호 세기의 변동이 심한 공공 Wi-Fi 네트워크에서는 다른 AP들 보다 더 높은 평균 수율을 제공하는 AP를 선택할 확률이 낮다. 따라서 본 논문에서는 단말의 평균 수율을 높이는 수신 신호 세기 이력 기반(RSS-HB; RSS History Based)의 핸드오프 기법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 IEEE 802.11 MAC 계층 핸드오프 관련 종래 연구에 대해 설명하고, 3장에서는 공공 Wi-Fi 네트워크의 시스템 모델과 트래픽 발생 모델에 대해 설명한다. 4장에서는 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법에 대하여 설명하고, 5장에서는 모의실험을 통해 제안 기법과 종래 기법들

의 성능을 분석한다. 마지막으로 6장은 본 논문에 대한 결론을 맺고 논문을 마친다.

## II. 관련 연구

IEEE 802.11의 MAC 계층 핸드오프 성능을 개선하기 위한 다양한 기법들이 연구되었다. 종래 연구는 핸드오프 방식에 따라 RSS 기반 핸드오프 기법<sup>[1-6]</sup>, GPS (Global Positioning System) 기반 핸드오프 기법<sup>[7-10]</sup>으로 분류할 수 있다.

RSS 기반 핸드오프 기법들은 1장에서 기술한 바와 같이 핸드오프 지연 시간의 대부분을 차지하는 AP 검색 시간을 줄이는데 초점을 맞추어 연구가 진행되어 왔다. Deuce Scan은 미리 AP 검색 과정을 수행할 때 AP가 존재하는 채널만 검색을 수행하여 AP 검색 과정에 소요되는 시간을 줄인다<sup>[3]</sup>. Software Defined Network (SDN)를 이용하는 SDN-based Scan 기법은 미리 주변의 AP 정보를 취득하여 단말의 RSS를 추정하는 기법이다. SDN을 이용하여 핸드오프가 시작되기 전에 SDN으로부터 단말 인증 과정을 수행하여 불필요한 Pre-scan 과정에서 소요되는 시간 지연을 줄였다<sup>[4]</sup>. Opportunistic-Scan 기법은 단말에서 유선 네트워크의 협력 및 기회주의적인 Probe 송수신을 통하여 AP의 채널 변경을 감소시키는 방식이다. 이를 이용하면 핸드오프 시 채널 변경에 따른 서비스 끊김을 효과적으로 줄일 수 있다<sup>[5]</sup>. Dual-Interface 핸드오프 기법은 각각의 AP들이 2개의 인터페이스를 가지고 1개의 인터페이스에서는 기존의 AP 동작을 수행하고, 다른 1개의 인터페이스에서는 채널 Scan을 돕는 기법이다. 다른 1개의 인터페이스에서 RSS 정보를 업데이트하므로 기존의 AP 동작을 수행하는 인터페이스에서 서비스가 끊기지 않아 평균 수율을 증가시킬 수 있다<sup>[6]</sup>.

GPS 기반 핸드오프 기법들은 종래의 RSS 기반 핸드오프 기법의 단점인 수신 신호 세기의 부정확성에 의한 AP 선택의 문제점을 해결하기 위해 단말의 GPS를 핸드오프에 이용하는 연구가 진행되어 왔다. GPS 기반 기법은 새로운 AP로 연결할 때마다 GPS 서버로부터 주변 AP들의 위치 좌표를 수신하고, 단말의 위치 좌표를 확인하여 핸드오프 할 AP를 결정한다. GPS를 이용하는 위치 기반 핸드오프 기법에서는 단말의 진행 방향에서 일정 각도 내에 위치한 AP들 중 단말과 거리가 가장 가까운 AP를 핸드오프 할 AP로 선택한다<sup>[7]</sup>. GPS를 이용하는 수율 예측 핸드오프 기법에서는 거리 기반으로 핸드오프 할 AP를 선택하지 않고, 일정 시간 동안 단말의 평균 수율을 가장 높이는

AP를 핸드오프 할 AP로 선택한다<sup>[8]</sup>. GPS 기반 핸드오프 기법은 단말의 회전을 검출하여 단말 진행 방향을 예측하고, 단말의 진행 방향 내에 있으면서 거리가 가까운 AP로 핸드오프 한다<sup>[9]</sup>. 또한 선인출 AP 정보 기반 핸드오프 기법은 단말과 거리가 가까우면서 접속해 있는 단말들의 수가 적은 AP로 연결함으로써 AP의 혼잡을 줄이는 핸드오프 기법이다<sup>[10]</sup>. 그러나 GPS를 이용하는 종래의 핸드오프 기법들은 정확한 위치 정보를 가정하고 있다<sup>[11]</sup>. 실질적인 환경에서는 정확한 위치 정보를 얻기 어려울 뿐 아니라 단말의 배터리 소모로 인해 많은 단말들이 GPS 기능을 비활성화 한다는 문제점이 있다. GPS는 초기화 과정에 수십 초가 소요되므로 GPS를 이용하기 위해서는 계속해서 활성화 상태이어야 한다<sup>[11]</sup>.

기존에 연구된 기법들과 제안하는 기법과의 차이를 비교하면 다음과 같다. 제안하는 핸드오프 기법에서는 핸드오프를 수행하기 전에 수신 신호 이력을 사전에 수집하여 AP 검색 과정에 소용되는 시간을 줄인다. 종래의 Proactive scan 기법에서는 RSS 1회 측정값을 기반으로 목표 AP로 핸드오프 하는 문제점이 있는데, 제안하는 핸드오프 기법에서는 RSS 이력 기반 핸드오프를 통하여 수회 측정된 RSS를 이용함으로써 Proactive scan 기법의 문제점을 극복한다. SDN-based 기법, Opportunistic-Scan 기법, Dual-Interface 핸드오프 기법은 기존의 IEEE 802.11에 추가적인 네트워크 혹은 장치가 필요하다는 단점이 있는데, 제안하는 기법에서는 추가적인 네트워크 또는 장치가 없이도 동작 가능하다.

### III. 시스템 모델

본 장에서는 공공 Wi-Fi 네트워크 모델과 간섭을 일으키는 AP의 트래픽 발생 모델을 설명한다.

#### 3.1 공공 Wi-Fi 네트워크 모델

본 논문에서는 공공 Wi-Fi 서비스용 AP들이 다수 개 설치되어있는 공공 Wi-Fi 네트워크 환경을 고려한다. 이때 다수의 서비스 제공자가 공공 Wi-Fi 서비스를 제공할 수 있다. AP들은 각 서비스 제공자의 기간 망에 연결되어 있다. 그림 1에 공공 Wi-Fi 네트워크 환경을 도시하였다. IEEE 802.11은 비면허 주파수 대역을 사용하고, 주파수 대역이 서로 중첩 되어있는 1~13번 채널 중 하나를 사용한다. 따라서 AP의 커버리지 반경 내의 다른 AP가 동일 및 인접 채널을 사용하여 트래픽을 발생시킬 경우 간섭을 일으킨다. 서비

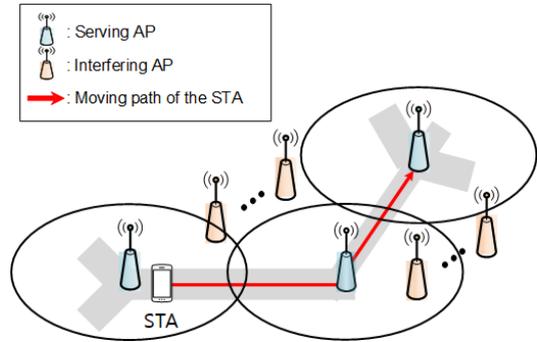


그림 1. 공공 Wi-Fi 네트워크 모델  
Fig. 1. Public Wi-Fi network model

스 제공자가 동일한 AP들은 주파수 대역이 서로 중첩되지 않는 1, 5, 9, 13번 채널을 인접하지 않도록 배치하여 간섭을 최소화한다. 한편 다른 서비스 제공자의 AP 및 개인용 AP는 서비스 제공자가 채널을 변경할 수 없으므로 1~13번 채널 중 임의의 채널 사용을 가정한다. 다른 서비스 제공자의 AP 및 개인용 AP가 서비스 제공 AP와 동일 및 인접 채널을 사용하여 트래픽을 발생시킬 경우 간섭을 일으키므로 이들을 간섭 AP로 통칭한다. 서비스 제공 AP는 도로의 교차로 지점마다 설치되어 있고, 교차로와 교차로 사이의 거리는 AP 커버리지 반경의 두 배를 넘지 않는다고 가정한다. 간섭 AP는 임의의 지역에 위치한다. 단말은 한 서비스 제공자의 AP (서비스 제공 AP)에만 연결할 수 있고, 다른 서비스 제공자의 AP 및 개인용 AP (간섭 AP)에는 연결할 수 없다고 가정한다. 교차로에서 단말은 임의의 방향으로 이동한다.

#### 3.2 트래픽 발생 모델

본 논문에서는 서비스 제공 AP와 간섭 AP를 포함하는 각 AP들이 독립적으로 트래픽을 발생시키는 환경을 고려한다. 이때 각 AP는 ON-OFF 트래픽 모델에 따라 트래픽을 발생시킨다고 가정한다<sup>[12]</sup>. AP의 평균 ON 상태 유지 시간을  $\lambda$ , 평균 OFF 상태 유지 시간을  $\mu$ 라고 할 때, 상태 전이 확률  $P(T_s)$ 는 식 (1)과 같다<sup>[13,14]</sup>.

$$\begin{aligned}
 p(T_s) &= \begin{pmatrix} p_{OFF-OFF}(T_s) & p_{OFF-ON}(T_s) \\ p_{ON-OFF}(T_s) & p_{ON-ON}(T_s) \end{pmatrix} \\
 &= \frac{1}{\lambda + \mu} \begin{pmatrix} \mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)T_s} & \lambda - \lambda e^{-(\lambda + \mu)T_s} \\ \mu - \mu e^{-(\lambda + \mu)T_s} & \lambda + \mu e^{-(\lambda + \mu)T_s} \end{pmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서  $p_{OFF-OFF}(T_s)$ 는 시간  $T_s$  동안 OFF 상태를

유지할 확률,  $p_{OFF-ON}(T_s)$ 는 시간  $T_s$  동안 OFF 상태에서 ON 상태로 바뀔 확률,  $p_{ON-OFF}(T_s)$ 는 시간  $T_s$  동안 ON 상태에서 OFF 상태로 바뀔 확률,  $p_{ON-ON}(T_s)$ 는 시간  $T_s$  동안 ON 상태를 유지할 확률을 의미한다. ON-OFF 트래픽 모델의 상태 전이 다이어그램을 그림 2에 도시하였다.

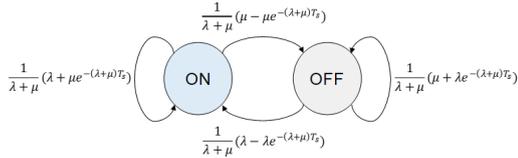


그림 2. ON-OFF 트래픽 모델의 상태 전이 다이어그램  
Fig. 2. State diagram of the ON-OFF traffic model

#### IV. 제안하는 핸드오프 기법

본 논문에서 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법의 목표는 무선 페이딩과 간섭으로 RSS 변동이 큰 도심의 공공 Wi-Fi 네트워크에서 GPS와 같은 별도의 하드웨어의 도움 없이 RSS의 이력만으로 단말의 평균 수율을 높이는 것이다. 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법은 AP 검색 단계, RSS 추정 단계, 핸드오프 단계의 세 단계로 구성된다. 그림 3은 다수의 AP들로부터의 간섭 신호가 있는 환경에서 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법의 동작 방식을 나타낸다. 단말은 AP 검색 주기  $\tau$ 마다 주변 AP들을 검색하여 RSS를 수집한다. AP와 연결 중에 채널을 변경하여 다른 채널에 있는 주변 AP들을 검색하는 방법은 종래의 RSS 핸드오프 기법들과 같이 2장에서 기술한 Power save mode를 이용한다. 단말은 1번 채널부터 13번 채널까지 순차적으로 Probe request를 보낸다. 이때 Probe request는 broadcast 방식으로 보내므로 단말의 주변에 위치한 AP들은 Probe request를 수신할 수 있다. 단말의 Probe request를 수신한 AP는 단말에 unicast 방식으로 Probe response를 전송한다. 단말은 AP들로부터 수신한 Probe response의 RSS를 측정하여 검색한 AP들의 RSS 집합을 만든다. 현재 시점  $t$ 에서 검색한 AP들의 RSS 집합  $\tau(T_s)$ 를 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau(T_s) = \{\gamma_1(t), \gamma_2(t), \dots, \gamma_m(t)\} \quad (2)$$

여기서  $\gamma_i(t)$ 는  $AP_i$ 의 현재 시점  $t$ 에서의 RSS,  $m$ 은 검색한 AP의 개수를 의미한다. 단말은 AP 검색에 이어서 각 AP들의 RSS 이력 집합을 만든다.  $AP_i$ 의

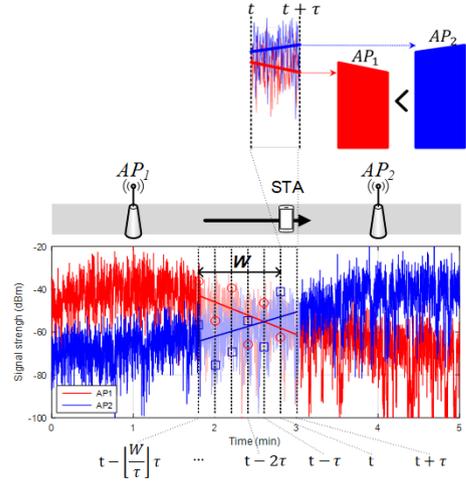


그림 3. 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법의 동작 방식  
Fig. 3. Proposed RSS history based handoff process

RSS 이력 집합  $H_i$ 는 식 (3)과 같다.

$$H_i = \{\gamma_i(t), \gamma_i(t-\tau), \gamma_i(t-2\tau), \dots, \gamma_i(t - \lfloor W/\tau \rfloor \tau)\} \quad (3)$$

여기서  $\gamma_i(t)$ 는  $AP_i$ 의 현재 시점  $t$ 에서의 RSS,  $\tau$ 는 단말의 AP 검색 주기,  $W$ 는 RSS 이력의 윈도우 크기를 의미한다. 즉 단말은 현재 시점  $t$ 로부터 RSS 이력의 윈도우 크기  $W$  동안 수집한 RSS 이력으로 RSS 이력 집합  $H_i$ 를 만든다. RSS 이력 집합  $H_i$ 은 현재 시점  $t$ 부터 과거 시점  $t - \lfloor W/\tau \rfloor \tau$ 까지의 RSS 이력을 원소로 갖는다. 다음으로 RSS 이력 집합  $H_i$ 의 원소인  $AP_i$ 의 RSS 이력으로 추세를 계산한다.  $AP_i$ 의 RSS 이력 추세를 통해 추정된 RSS를 추정 RSS  $\hat{\gamma}_i$ 로 정의하였다. 추정 RSS  $\hat{\gamma}_i$ 는 식 (4), (5)와 같다.

$$\hat{\gamma}_i(t) = a_i^* t + b_i^* \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & (a_i^* t + b_i^* t) = \\ & \arg \min_{(a_i, b_i) \in R^2} \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{W}{\tau} \rfloor} ((a_i(t-k\tau) + b_i) - \gamma_i(t-k\tau))^2 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $a_i^*$ 는  $AP_i$ 의 RSS 이력 추세의 기울기,  $b_i^*$ 는  $AP_i$ 의 RSS 이력 추세의  $\hat{\gamma}_i$  절편을 의미한다. 본 논문에서는 RSS 이력 추세를 계산하는 방법으로 최소제곱법을 고려하였다. 이어서 단말은 계산한 각

AP들의 RSS 이력 추세선으로 AP 연결 우선순위를 정한다. 식 (6)에 나타난 우선순위 값  $PR_i$ 이 가장 큰 AP가 가장 높은 연결 우선순위를 갖는다.

$$PR_i = \int_t^{t+\tau} \hat{\gamma}_i(x) dx = \tau \cdot \frac{\hat{\gamma}_i(t) + \hat{\gamma}_i(t+\tau)}{2} \quad (6)$$

즉 현재 시점부터 다음 검색 시점까지의 추정 RSS  $\hat{\gamma}_i$ 의 합  $PR_i$ 가 가장 큰 AP가 연결 우선순위가 가장 높은 AP가 된다.  $PR_i$ 는 현재 시점부터 다음 검색 시점까지의 추정 RSS  $\hat{\gamma}_i$ 의 합을 의미한다. 추정 RSS  $\hat{\gamma}_i$ 는 시간에 대한 직선 함수이므로, 현재 시점  $t$ 부터 다음 검색 시점  $t+\tau$ 까지의 추정 RSS  $\hat{\gamma}_i$ 의 합은 AP 검색 주기  $\tau$ 에  $\hat{\gamma}_i(t)$ 과  $\hat{\gamma}_i(t+\tau)$ 의 산술 평균을 곱한 값과 같다. 단말은 우선순위 값  $PR_i$ 이 가장 큰 AP가 현재 연결 중인 AP일 경우 핸드오프하지 않고, 현재 연결 중인 AP가 아닐 경우에만 해당 AP로 핸드오프 한다. 이때 AP 검색 과정에서 Probe request와 Probe response를 주고받는 과정을 이미 수행했으므로 단말은 해당 AP에 바로 Authentication request를 전송하

여 핸드오프 과정을 수행한다. 앞에서 기술한 제안 기법의 동작 과정을 그림 4에 순서도로 도시하였다.

제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법은 수신 신호 세기를 기반으로 동작한다. 현실적인 환경에서는 수신 신호 세기의 분포가 채널 페이딩 및 주변 전파 환경의 영향으로 그림 3과 같이 정형적인 분포를 보이기는 어려울 수 있다. 하지만 교차로 Line-Of-Site(LOS) 환경 및 평균 수신 신호 세기의 추세를 기반으로 할 때, 단말의 이동에 따른 수신 신호 세기는 거리에 따라 단조 감소 함수 형태를 띤다고 볼 수 있다. 그림 5는 도심 지역, 등산로 지역, 지하 주차장 지역, 산 정상 지역 등의 여러 환경에서 측정된 AP와의 거리에 따른 단말의 평균 수율을 보여 주고 있다. AP와의 거리에 따라 단말의 평균 수율은 단조 감소 함수를 보인다. 이를 통하여 제안하는 기법이 교차로 LOS 환경에서 채널 페이딩 및 주변 전파 환경의 영향으로 인한 순간적인 수신 신호의 변화에 강건한 동작할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 그러나 불규칙적인 신호 세기 패턴이 나타나는 환경에서는 제안 기법의 성능이 저하될 가능성이 있다.

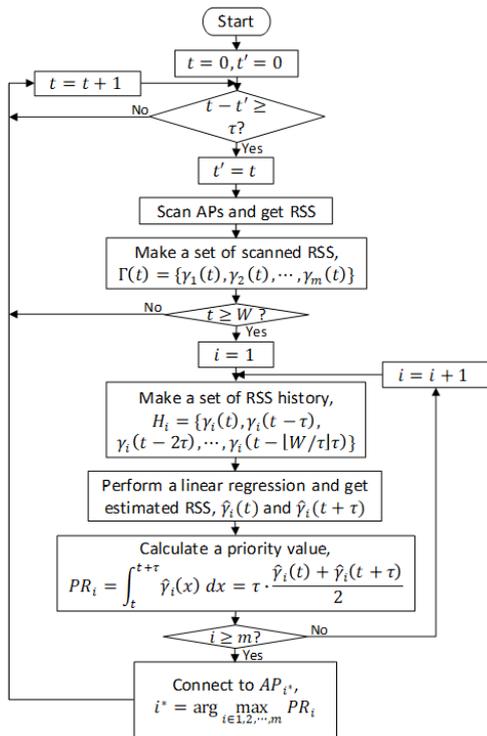


그림 4. 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법의 동작 순서도  
Fig. 4. Flow chart of the proposed RSS history based handoff

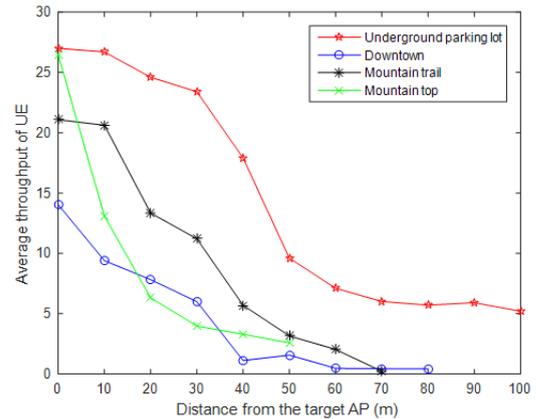


그림 5. AP와의 거리에 따른 단말의 평균 수율  
Fig. 5. Average throughput according to the distance of AP-client.

### V. 모의실험

본 장에서는 모의실험에 사용된 성능 지표를 설명하고 모의실험 환경을 설명한다. 모의실험을 통해 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법의 성능을 평가하고 결과를 분석한다. 먼저 본 논문에서 실행한 모의실험의 환경에 대해 설명한다. 이어서 모의실험 결과를 분석하고 성능을 종래의 핸드오프 기법과 비교한다.

5.1 성능 지표

본 논문에서는 핸드오프 기법의 성능을 평가하기 위해 단말의 평균 수율을 성능 지표로 고려하였다. 단말의 평균 수율  $R$ 을 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$R = \int_0^{t_{service}} c(t) dt / t_{service} \quad (7)$$

여기서  $t_{service}$ 는 단말의 Wi-Fi 서비스 이용 시간을 의미하고,  $c(t)$ 는 단말의 시간  $t$ 에서의 수율을 의미하며 본 논문에서는 이를 식 (8)로 정의하였다.

$$c(t) = \begin{cases} B \log_2 \left( 1 + \frac{s_i(t)}{N + \sum_{i=1, i \neq i^*}^{m(t)} (s_i(t) p_i(t) l_{i,i^*})} \right), & \in \text{data} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

3.2절에서 기술한 바와 같이 각 AP는 ON-OFF 트래픽 모델에 따라 트래픽을 발생시킨다. 그림 6에 IEEE 802.11 채널의 주파수 중복 비율을 도시하였다. 즉  $AP_i$ 의 채널과  $AP_{i^*}$ 의 채널 간의 주파수 중복 비율  $l_{i,i^*}$ 는 식 (9)와 같다.

$$l_{i,i^*} = \begin{cases} 0 & , |CH_i - CH_{i^*}| \geq 4 \\ 1/4 & , |CH_i - CH_{i^*}| = 3 \\ 1/2 & , |CH_i - CH_{i^*}| = 2 \\ 1/3 & , |CH_i - CH_{i^*}| = 1 \\ 1 & , |CH_i - CH_{i^*}| = 0 \end{cases} \quad (9)$$

여기서  $CH_i$ 는  $AP_i$ 가 사용하는 채널을 의미한다. 본 논문에서는 동일 및 인접 채널을 사용하는 AP가 미치는 간섭의 정도를 주파수 중복 비율로 모델링하였다.

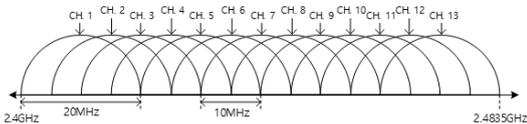


그림 6. IEEE 802.11 채널의 주파수 중복 비율  
Fig. 6. Frequency overlap ratio of IEEE 802.11 channels

5.2 모의실험 환경

본 논문에서는 다양한 교차로 환경에서 모의실험을 통해 제안하는 핸드오프 기법의 성능을 평가한다. 먼저, 그림 7과 같이 다수의 간섭 AP들을 있는 직선 교차로 환경에서 핸드오프 기법의 성능을 확인한다. 그

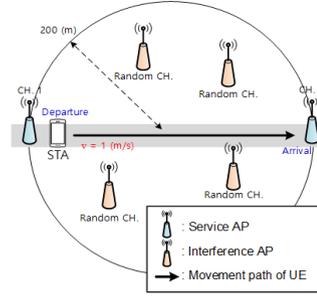


그림 7. 직선 교차로 환경  
Fig. 7. Strait-way intersection environment

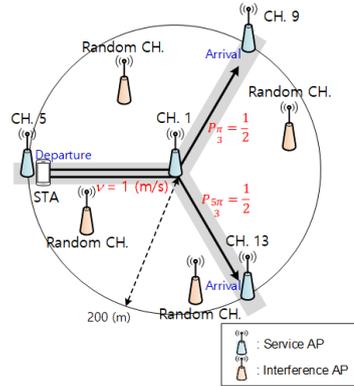


그림 8. 삼거리 교차로 환경  
Fig. 8. Three-way intersection environment

리고 교차로의 형태에 따라 삼거리 교차로 환경, 사거리 교차로 환경, 오거리 교차로 환경의 세 가지 환경에서 수행하였다. 서비스 제공 AP는 200m 간격으로 설치되어 있으며, 간섭 AP는 교차로 지점으로부터 200m 반경 내의 임의 지점에 위치한다. 서비스 제공 AP의 채널은 주파수 대역이 서로 중첩되지 않는 1, 5,

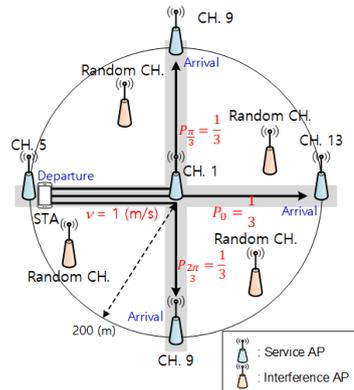


그림 9. 사거리 교차로 환경  
Fig. 9. Four-way intersection environment

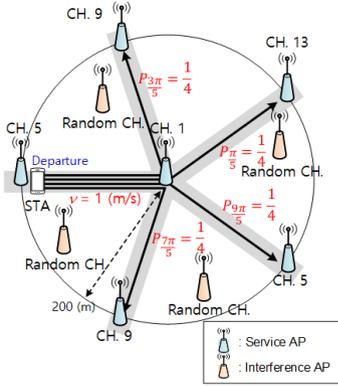


그림 10. 오거리 교차로 환경  
Fig. 10. Five-way intersection environment

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
Distance between service APs	200 m
Center frequency	2.4 GHz
Number of channels used	13
Frequency bandwidth per channel	20 MHz
Shadow fading standard deviation[15]	4 dB
Fast fading model	Jake's model
Average ON state hold time of AP, $\lambda$	0.5 sec
Average OFF state hold time of AP, $\mu$	0.5 sec
Speed of station, $v$	1 m/sec
AP search time of station, $t_{scan}$ [1]	0.2 sec
Number of AP searches per minute of the station, $1/\tau$	1, ..., 10 times/min
Window size of RSS history, $W$	1 min
Number of Interference AP	10

9, 13번 채널을 서로 인접하지 않도록 배치하여 간섭을 최소화한다. 그림 8의 삼거리 교차로 환경에서 교차로에 위치한 서비스 제공 AP는 1번 채널, 주변에 위치한 서비스 제공 AP들은 5, 9, 13번 채널을 사용하여 간섭을 최소화할 수 있다. 한편 삼거리 교차로

환경과 달리, 사거리와 오거리 교차의 경우 그림 9와 그림 10에 표기한 바와 같이 가장 멀리 떨어진 서비스 제공 AP들에 동일 채널을 할당하여 간섭을 줄인다. 간섭 AP들은 1번부터 13번의 채널 중에 임의의 채널을 사용한다. 모의실험에 사용한 파라미터를 표 1에 나타내었다.

### 5.3 모의실험 결과

제안하는 핸드오프 기법의 성능을 평가하기 위해 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 을 증가시켜 가며 모의실험 결과를 확인하였다. 성능 지표로 5.1절에서 제시한 단말의 평균 수율을 고려하였으며, IEEE 802.11 핸드오프 방식<sup>[1]</sup>과 RSS 기반의 Deuce Scan 기법<sup>[3]</sup>, GPS based 기법<sup>[9]</sup>의 세 가지 종래의 기법과 제안 기법을 비교하였다. 직선 도로 환경, 삼거리 교차로 환경, 사거리 교차로 환경, 오거리 교차로 환경 순으로 모의실험 결과를 확인하였다. 그림 11은 그림 7의 직선 도로 환경에서 On-Off 모델을 통하여 트래픽을 발생시키는 10개의 간섭 AP가 존재하는 모의실험 환경에서 단말의 수신 신호 세기를 보여 준다. 무선 페이딩과 간섭 AP의 신호로 인하여 수신 신호 세기의 변동이 크지만, 평균 추세선은 단조함수로 나타난다. 그림 12-14는 각각 삼거리 교차로 환경, 사거리 교차로 환경, 오거리 교차로 환경에서 분당 AP검색 횟수에 대한 단말의 평균 수율을 도시한 것이다. 제안 기법의 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 1회에서 8회로 증가할수록 단말의 평균 수율이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 8회일 때 IEEE 802.11 대비 제안 기법의 평균 수율 증가율은 삼거리 교차로 환경의 경우

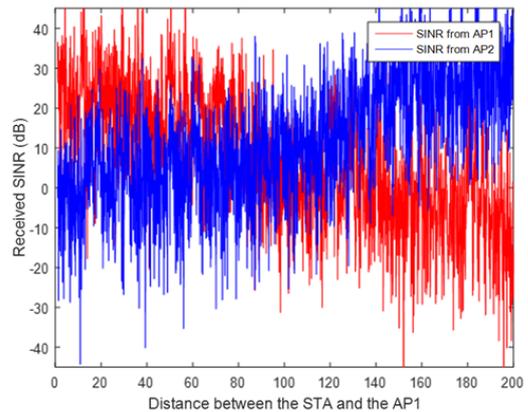


그림 11. 직선 교차로 환경에서 단말의 수신 신호 세기  
Fig. 11. Instantaneous Received SINR in a two-way intersection environment

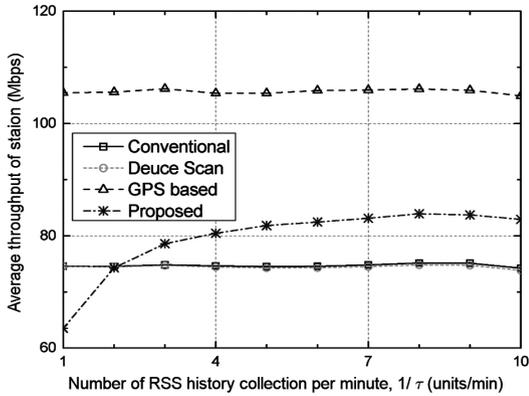


그림 12. 삼거리 교차로 환경에서 단말의 평균 수율  
Fig. 12. Average throughput of the station in a three-way intersection environment

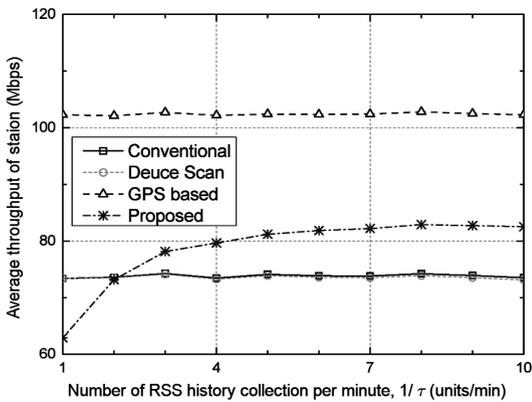


그림 13. 사거리 교차로 환경에서 단말의 평균 수율  
Fig. 13. Average throughput of the station in a four-way intersection environment

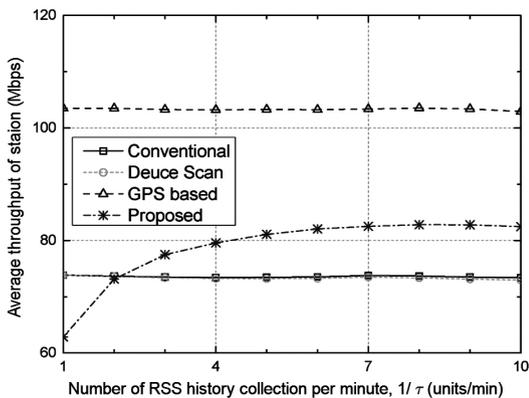


그림 14. 오거리 교차로 환경에서 단말의 평균 수율  
Fig. 14. Average throughput of the station in a five-way intersection environment

11.6%, 사거리 교차로 환경의 경우 11.7%, 오거리 교차로 환경의 경우 12.4%이다. 한편 분당 AP 검색 횟

수  $1/\tau$ 가 2회 이하일 때는 제안 기법이 IEEE 802.11 보다 단말의 평균 수율이 낮다. 제안하는 RSS-HB 핸드오프 기법의 경우 RSS 이력 윈도우 크기 동안 수집한 RSS 이력으로 추세를 계산하여 핸드오프 할 AP를 선택한다. 따라서 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 2회 이하일 때는 수집한 RSS 이력 개수가 적어 추세를 통한 AP 예측이 정확하지 않으므로 단말의 평균 수율이 낮다. 그러나 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 증가할수록 RSS 이력 추세를 통한 AP 예측 정확도가 높아져서 단말의 평균 수율이 증가한다. 분당 AP 검색횟수  $1/\tau$ 이 8회 이상에서는 단말의 평균 수율이 미미하게 감소하는데, 이는 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 의 증가가 RSS 이력 추세를 통한 AP 예측 정확도를 크게 향상시키지 않기 때문이다. 또한 AP 검색에 소요되는 시간 동안 단말의 평균 수율은 0이므로, 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 증가할수록 단말의 평균 수율을 감소시키는 요인으로 작용한다. 또한, 삼거리에서 사거리, 오거리로 교차로의 도로 수가 증가함에 따라 제안 기법, IEEE 802.11 핸드오프 방식, Deuce Scan 기법의 경우 단말의 평균 수율이 감소한다. 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 4회일 때 삼거리 대비 오거리의 평균 수율 감소율은 제안 기법이 1.1%, IEEE 802.11 핸드오프 방식이 1.6%, Deuce Scan 기법이 1.6%이다. 삼거리에서 사거리, 오거리로 교차로의 도로 수가 증가함에 따라 RSS 기반 기법들의 성능이 감소하는 이유는 다음과 같다. 삼거리 교차로 도로 사이의 각도는  $120^\circ$ , 사거리 교차로 도로 사이의 각도는  $90^\circ$ , 오거리 교차로의 경우 도로 사이의 각도는  $72^\circ$ 로 교차로의 도로 수가 증가함에 따라 도로 사이의 각도는 감소한다. 또한 교차로 지점을 기준으로 삼거리 교차로의 서비스 가능 AP 수는 4대, 사거리 교차로의 서비스 가능 AP 수는 5대, 오거리 교차로의 서비스 가능 AP 수는 6대로 교차로의 도로 수가 증가함에 따라 서비스 가능 AP의 수가 증가한다. 따라서 서비스 제공 AP들이 더욱 가까이 위치하고, 서비스 제공 AP의 수가 많아지므로, RSS 기반 핸드오프 기법들의 경우 최적의 AP를 선택하지 못할 확률이 증가하기 때문에 단말의 평균 수율이 감소한다. GPS based 기법은 단말의 평균 수율이 약 103Mbps로 네 가지 기법 중 월등한 성능을 보인다. GPS based 기법은 RSS가 아닌 단말과 AP의 위치 좌표를 실시간으로 확인하여 핸드오프 하므로, 무선 페이딩과 간섭의 영향 없이 핸드오프를 결정하기 때문에 단말의 평균 수율이 높다. 그러나 2장에서 기술한 바와 같이 GPS 기반 핸드오프 기법은 단말의 에너지 소모가 매우 크기 때문에 효율적이지 못하다<sup>11)</sup>.

Deuce Scan 기법은 IEEE 802.11 핸드오프 방식과 비교하여 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 증가할수록 미미한 성능 하락을 보이는데, 이는 AP 검색 횟수의 증가가 단말의 평균 수율을 감소시키는 요인으로 작용하기 때문이다.

## VI. 모의실험

본 논문에서는 공공 Wi-Fi 네트워크 환경에서 RSS-HB 핸드오프 기법을 제안하였다. 제안하는 핸드오프 기법을 통해 단말은 GPS와 같은 별도의 하드웨어의 도움 없이 RSS의 이력만으로 단말의 평균 수율을 높일 수 있다. 또한 제안하는 핸드오프 기법은 무선 페이딩과 간섭으로 RSS의 변동이 큰 도심 환경에서도 IEEE 802.11의 일반적인 핸드오프 방식 보다 핸드오프 할 AP를 더 정확하게 선택하여 단말의 평균 수율을 높인다. 단말은 AP 검색 주기  $\tau$ 마다 주변 AP들을 검색하여 RSS를 수집하고, 이어서 RSS 이력 윈도우 크기  $W$  동안 수집한 RSS 이력으로 추세선을 계산한다. 다음으로 RSS 이력 추세선으로 현재 시점부터 다음 검색 시점까지의 RSS를 추정하여, 현재 시점부터 다음 검색 시점까지의 추정 RSS 합이 가장 큰 AP를 선택한다. 선택한 AP가 단말과 연결 중인 AP일 경우 핸드오프 하지 않고, 단말과 연결 중인 AP가 아닐 경우 선택한 AP로 핸드오프 한다. 모의실험을 통해 RSS-HB 핸드오프 기법이 종래의 RSS 기반 핸드오프 방식들 대비 단말의 평균 수율을 높이는 것을 확인하였다. 모의실험은 삼거리, 사거리, 오거리 교차로 환경에서 단말의 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 를 변경하면서 진행하였으며, 제안 기법에서 단말의 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 가 증가할수록 단말의 평균 수율이 증가하였다. 분당 AP 검색 횟수  $1/\tau$ 이 8회일 때 IEEE 802.11의 일반적인 핸드오프 방식 대비 제안 기법이 단말의 평균 수율을 삼거리 교차로 환경에서 11.6%, 사거리 교차로 환경에서 11.7%, 오거리 교차로 환경에서 12.4% 증가시켰다. 하지만 Wi-Fi 수신 신호 세기가 불규칙한 환경에서는 제안하는 핸드오프 기법의 성능이 저하될 수 있다. 따라서 추후에는 실제 공공 Wi-Fi 네트워크와 유사한 채널 환경을 모델링하여 제안 기법의 성능을 평가할 수 있을 것이다.

## References

- [1] A. Mishra, M. Shin, and W. Arbaugh, "An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC

layer handoff process," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 33, no. 2, pp. 93-102, Apr. 2003.

- [2] H. Wu, K. Tan, Y. Zhang, and Q. Zhang, "Proactive scan: Fast handoff with smart triggers for 802.11 wireless LAN," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 749-757, May 2007.
- [3] Y. S. Chen, M. C. Chuang, and C. K. Chen, "DeuceScan: deuce-based fast handoff scheme in IEEE 802.11 wireless networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 2, pp. 1126-1141, Mar. 2008.
- [4] B. Zhang, X. Zhao, Z. Lu, X. Wen, and L. Tao, "A fast handoff scheme for IEEE 802.11 networks using software defined networking," *IEEE Int. Symp. WPMC*, pp. 476-481, Shenzhen, China, Nov. 2016.
- [5] G. Yao, "OppoScan: Enabling fast handoff in dense 802.11 WMNs via opportunistic probing with virtual radio," *IEEE MASS*, pp. 198-205, Orlando, USA, Oct. 2017.
- [6] J. P. Jeong and Y. D. Park, "An efficient channel scanning scheme with dual-interfaces for seamless handoff in IEEE 802.11 WLANs," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 22, no. 1, pp. 169-172, Jan. 2018.
- [7] C. C. Tseng, K. H. Chi, M. D. Hsieh, and H. H. Chang, "Location-based fast handoff for 802.11 networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 9, no. 4, pp. 304-306, Apr. 2005.
- [8] D. Kim, S. Byun, and J. Kim, "Expected capacity based handoff scheme for multimedia data in WLAN," in *Proc. ICOIN*, pp. 385-389, Apr. 2014.
- [9] M. Almulla, Y. Wang, A. Boukerche, and Z. Zhang, "Design of a fast location-based handoff scheme for IEEE 802.11 vehicular networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 3853-3866, Oct. 2014.
- [10] H. Lee and S. Kim, "Improvement of handoff performance using prefetched AP information in IEEE 802.11," *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 2401-2409, Dec. 2015.
- [11] K. Nawarathne and F. Zhao, "Trade-off between smartphone battery life and stop

detection accuracy,” in *Proc. ISCTSC*, Dec. 2014.

- [12] J. So and Y. Kim, “Interference-aware frequency hopping in crowded Wi-Fi networks,” *Electronics Lett.*, vol. 52, no. 17, pp. 1503-1505, Aug. 2016.
- [13] S. Geirhofer, L. Tong, and B. M. Sadler, “Cognitive radios for dynamic spectrum access-dynamic spectrum access in the time domain: modeling and exploiting white space,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no. 5, pp. 66-72, May 2007.
- [14] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*, 3rd Ed., McGraw-Hill, 1991.
- [15] *Spatial channel model for multiple input multiple output (MIMO) simulations*, 3GPP TR 25.996 V14.0.0, 2017.

**최 기 욱 (Giwook Choi)**



2017년 2월: 서강대학교 전자공학과 학사  
 2017년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선자원관리, 자원할당기법, 5G 이동통신, 차량통신

**김 선 경 (Sunkyung Kim)**



2013년 2월: 서강대학교 전자공학과 학사  
 2017년 8월: 서강대학교 전자공학과 석사  
 2017년 9월~현재: 현대자동차, 연구원  
 <관심분야> 무선자원관리, 자원할당기법

**소 재 우 (Jaewoo So)**



1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 학사  
 1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 2002년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
 2001년~2005년: 아이피원, 수석연구원

2005년~2007년: 삼성전자, 책임연구원  
 2007년~2008년: Stanford University, 전기공학과 박사후연구원  
 2014년~2015년: UIUC, ECE 방문교수  
 2008년~현재: 서강대학교 전자공학과 교수  
 <관심분야> 5G/IoT 커넥티비티, 차량통신, 블록체인, 무선 통신 보안