

# 장거리 사물인터넷을 위한 캐리어 센싱 기술

이일구  
성신여자대학교 융합보안공학과

## Carrier Sensing Techniques for Long Range Internet of Things

Il-Gu Lee

Department of Convergence Security Engineering, Sungshin University

요 약 사물인터넷 시대에는 사물들이 유무선 네트워크로 서로 연결되어 필요할 때마다 정보를 주고 받는다. 채널과 네트워크 환경은 시간에 따라 변하고 잡음과 간섭 신호가 채널에 혼재하므로 자신이 수신해야 하는 신호가 언제 채널에 존재하는지 판단하는 캐리어 센싱 기능이 매우 중요하다. 무선 통신 시스템의 캐리어 센싱 회로는 수신기의 수신감도를 결정짓고, 수신감도는 시스템의 서비스 커버리지와 서비스 품질과 밀접한 연관이 있다. 수신감도가 낮을수록 서비스 커버리지가 증가하지만 노이즈에 민감해지고, 수신감도가 높을수록 서비스 커버리지는 감소하는 반면에 노이즈에 둔감해 진다. 그러므로 수신감도와 노이즈 민감도 관점에서 최적의 캐리어 센싱 설계와 최적화가 매우 중요하다. 본 논문에서는 장거리 사물인터넷을 위해 수신감도의 최적화 관점에서 효과적인 캐리어 센싱 기법을 제안한다.

주제어 : 캐리어 센싱, 사물인터넷, 장거리, Sensitivity, 무선 네트워크

**Abstract** In the Internet of Things (IoT) era, objects are connected to each other by wired and wireless networks, and information is exchanged whenever necessary. Channel and network environments change over time; thus, a carrier sensing function that identifies whether signals containing information are present in the channel is essential. The carrier sensing circuit of a wireless communication system determines the receiver sensitivity, and the receiver sensitivity is closely related to the service coverage and service quality of the system. As the receiver sensitivity decreases, the service coverage increases but it becomes sensitive to noise. However, as the receiver sensitivity increases, the service coverage decreases but it becomes insensitive to the noise. Therefore, carrier sensing design and optimization are very important from the viewpoint of the receiver sensitivity and noise sensitivity. This paper proposes an effective carrier sensing technique from the viewpoint of the receiver sensitivity for the long range IoT.

**Key Words** : Carrier Sensing, Internet of Things, Long Range, Sensitivity, Wireless Network

### 1. 서론

유무선 인터넷 기술이 급속히 발전하고 보편화됨에 따라 인간은 언제 어디서든지 인터넷에 접속할 수 있는 사물인터넷 시대에 살게 되었다[1,2]. 인터넷과 무선랜은 모두 CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 방식을 사용하고 있으며, 다른 통신 장치가 채널을 사용하고 있는

지 여부를 사전에 검사해 채널이 사용 중이면 일정 시간을 기다린 후 다시 전송을 시도하고 채널이 사용되고 있지 않으면 전송한다[3,4]. 이 때 캐리어 센싱은 다른 통신 장치가 채널을 사용 중인지 여부를 판별하는 기능을 제공하며, 물리적 캐리어 센싱과 가상 캐리어 센싱으로 구분된다[5,6].

물리적 캐리어 센싱은 프리앰블의 반복적인 시퀀스

\*This work was supported by the Sungshin University Research Grant of 2017-2-28-001/1

\*Corresponding Author : Il-Gu Lee (iglee@sungshin.ac.kr)

Received June 12, 2018

Accepted August 20, 2018

Revised July 9, 2018

Published August 28, 2018

특징을 검출하거나, 프레임블의 파워가 일정 파워 레벨 이상인지 여부를 측정해 신호가 채널에 존재하는지 판단하는 반면에, 가상 캐리어 센싱은 프레임 헤더에 기록된 프레임의 채널 점유 시간을 참고해 다른 통신 장치가 채널을 점유하는 시간을 계산한 후 채널 점유가 끝날 때까지 기다린다[7-9].

이와 같이 무선 통신 네트워크 장치는 공용 자원인 무선 채널을 분산 네트워킹 방식으로 접근해 효율적으로 사용하기 위해 캐리어 센싱 방식을 사용하고 있지만, 무선 네트워크 환경은 간섭과 노이즈 뿐만 아니라 많은 무선 단말 장치의 혼재로 인해 채널 점유 경쟁이 치열하다[10]. 이러한 무선 네트워크 환경에서 장거리 사물인터넷 서비스를 가능하게 하려면 수신감도, 신호 도달 거리, 서비스 품질의 관계를 고려해 시스템을 설계해야 한다[11, 12].

통신 장치의 캐리어 센싱 성능은 수신감도와 서비스 품질을 결정짓는다. 수신감도는 수신기의 성능을 나타내는 지표로서, 수신되는 신호의 세기가 어느 정도 이상으로 커야 일정 수준 이상의 에러율로 수신할 수 있는지의 능력을 표시한 것이다. 통신 시스템의 서비스 범위는 송신 출력 성능과 수신감도에 의해 결정된다.

최근 우리 일상 생활과 산업계에서 스마트홈, 스마트공장, 스마트시티를 위해 사물인터넷 장치와 모바일 기기들이 널리 사용되고 있다. 이러한 애플리케이션 분야에서는 통신 장치들의 신호 도달 거리가 매우 넓어야 하고, 수신 감도는 낮고, 안정적인 서비스 품질이 요구된다. 그러나 수신 감도가 매우 낮고, 신호 도달 거리가 매우 넓은 경우에는 원거리의 간섭원의 신호도 수신이 쉽게 되고, 장치 자체의 백색잡음에 의해 성능 열화가 발생할 수 있으며, 안정적인 서비스 품질이 불가능해 진다[13, 14].

사물인터넷 시대에는 무선 통신 장치의 수가 기하급수적으로 증가해 간섭의 정도가 더 심해지고, 전자회로가 고집적화되어 백색 잡음의 영향이 더 커질 전망이다. 이렇게 열악한 통신 환경에서 장거리 사물인터넷 통신 네트워킹이 안정적으로 가능하려면 무엇보다 수신해야 하는 신호를 감지하고 노이즈에 강인한 캐리어 센서 설계 기술이 중요하다. 장거리 사물인터넷 통신 네트워킹을 위한 캐리어 센서는 수신기의 가장 앞 단에 위치해 수신감도와 신호 도달 범위에 가장 큰 영향을 미치고 시스템 안정도를 결정하므로 주변 환경에 맞춰 지능적으로

적응해야 하며, 노이즈와 간섭에 강인한 캐리어 센싱 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문의 2장에서는 캐리어 센싱 기술에 대해 소개하고, 3장에서는 장거리 사물인터넷을 위한 캐리어 센싱 회로 구현 방법을 서술한다. 4장에서는 캐리어 센싱 알고리즘의 동작을 설명하고, 5장에서는 실험 환경 및 결과를 보여주고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 캐리어 센싱 기술 소개

2.4 GHz와 5 GHz에서 동작하는 IEEE 802.11a/g 표준 와이파이의 썬열 노이즈(Thermal noise)는  $-174 + 10 \cdot \log_{10}(\text{신호대역폭})$ 으로  $-101 \text{ dBm}$  수준이고, 노이즈 피겨 (Noise Figure) 4 dB와 디지털 모델에서 10 % PER을 만족시키기 위해 필요한 신호대 잡음비 (signal-to-noise ratio)가 5 dB라고 가정할 때,  $-92 \text{ dB}$ 의 수신감도를 얻을 수 있다[15]. 그러나, 무선랜 표준에서는 RF와 디지털 모델의 구현 난이도와 기술 수준을 감안해 최소 수신감도 요구 조건으로  $-82 \text{ dBm}$ 을 규정하고 있다[16].

이와 같이 장거리 사물인터넷용 와이파이가 이론적으로 10 dB 이상 수신감도가 낮을 수 있지만, 수신감도가 낮다는 것은 그만큼 노이즈 혹은 간섭 신호에 민감하다는 문제점을 내포하고 있다.

캐리어 센싱은 선택된 채널에 신호가 존재하는지 여부를 결정한다. 채널에 신호가 존재한다고 판단되더라도 노이즈 레벨이 높거나 간섭 신호의 파워가 큰 경우에는 신호를 잘 못 검출하는 경우도 발생한다. 캐리어 센싱 회로를 설계할 때 무선 단말이 동작할 수 있는 가장 낮은 신호 레벨부터 가장 높은 신호 레벨까지 캐리어 센싱 성능을 보장해야 한다. 하지만, 신호 레벨이 낮은 영역에서는 오탐 (false alarm) 확률이 증가할 수 있고, 신호 레벨이 높은 영역에서는 강한 간섭 신호에 의해 방해 받아 정작 받아야 하는 신호를 놓치는 미탐 (mis-detection) 확률이 증가할 수 있다. 더욱더 중요한 것은 오탐률과 미탐률은 트레이드 오프 (trade-off) 관계에 있기 때문에 모든 경우에 안정적으로 동작할 수 있도록 지능형 캐리어 센싱 회로를 설계해야 한다는 것이다.

제안하는 캐리어 센싱 회로는 아날로그 디지털 변환기 (ADC, Analog-to-Digital Converter) 회로의 범위를

넘는 신호를 검출하기 위한 포화 상태 기반의 케리어 센싱, 적절한 크기의 입력 신호를 검출하기 위한 수신 신호 세기 지표 (RSSI, Received Signal Strength Indicator)를 이용한 에너지 기반의 케리어 센싱, 그리고 낮은 레벨의 입력 신호를 검출하기 위해 입력 신호의 상관성을 이용한 상관성 기반의 케리어 센싱 알고리즘을 포함하고, 이제까지 알고리즘 중 어느 하나에 의해 신호가 센싱되면 이로 인해 수신기가 입력 신호를 처리하기 시작한다.

상관성 기반의 케리어 센싱은 자기 상관성과 교차 상관성 방식으로 나뉜다. 상관성 분석은 두 변수 간에 어떤 선형적 관계를 갖고 있는지를 분석하는 방법이다. 두 변수는 서로 독립적인 관계에서 상관성이 있을 수 있으며, 두 변수의 상관 강도를 상관성이라고 한다. 교차 상관성 기반의 케리어 센싱은 표준으로 정해진 짧은 훈련 신호 (STF, short training field)와 입력 신호의 상관성을 이용해 신호를 검출하고, 자기 상관성 기반의 케리어 센싱은 짧은 훈련 신호의 주기성을 이용해 반복되는 시퀀스의 상관성을 이용해 신호를 검출한다. 상관성 기반의 케리어 센싱은 입력되는 신호의 주기성을 이용하므로 에너지 기반의 케리어 센싱 보다 더 정확한 신호 검출이 가능하다.

### 3. 장거리 사물인터넷을 위한 케리어 센싱 회로 구현

#### 3.1 케리어 센싱 회로 구조

케리어 센서는 선택된 채널에 존재하는 신호를 검출하는 기능을 한다. 신호를 검출하는 경우는 수신 단말으로 전송되는 신호를 검출했거나 다른 단말이나 AP (Access Point)로 전송되는 신호일 수 있다. 일단 신호가 입력되면, 검출되는 신호의 목적지 주소를 판별할 수 없으며, 채널 상의 신호 존재 유무만을 체크하게 된다. 안테나를 통해 수신되는 신호의 세기는 바로 옆에서 높은 송신 파워로 전송했을 경우의 높은 수신 파워 레벨에서부터 매우 멀리에서 전송한 신호를 수신할 경우에는 노이즈 레벨에 근접한 매우 낮은 레벨까지 입력 신호의 범위가 매우 넓다. 높은 레벨의 신호의 경우 빠른 검출이 가능한 반면에, 신호의 레벨이 낮은 경우에는 수신 파워가 큰 신호에 비해 검출이 어렵고 신호를 잘못 검출하는 경우도 발생한다. 모든 무선 통신 시스템은 케리어 센싱이

가능한 신호의 최소 수신 입력 레벨 표준에 정의된 수신 감도를 만족하여야 한다. 그러나 검출 가능한 신호의 요구 조건이 과도하게 낮은 경우, 오탐 확률이 증가할 수 있어, 수신 감도 요건을 만족할 경우 오탐 발생 확률을 줄이기 위해 수신 감도를 제어할 필요가 있다. 이와 같이 넓은 범위의 수신신호 레벨에서 신호 검출이 가능하기 위해서는 하나의 케리어 센싱 알고리즘이 아닌 복수개의 알고리즘을 사용해야 한다.

케리어 센싱 회로에 사용된 알고리즘은 다음의 4가지다.

- 포화 상태 기반 케리어 센싱 (Saturation based carrier sensing)
- 에너지 기반 케리어 센싱 (Input power based carrier sensing)
- 자기 상관성 기반 케리어 센싱 (Auto-correlation based carrier sensing)
- 교차 상관성 기반 케리어 센싱 (Cross-correlation based carrier sensing)

#### 3.2 포화 상태 기반 케리어 센싱

포화 상태 기반의 케리어 센싱은 매우 높은 파워의 입력 신호를 검출하기 위한 알고리즘이다. 안테나를 통해 수신된 신호는 RF의 LNA (Low Noise Amplifier)와 VGA (Variable Gain Amplifier) 등을 거치면서 신호의 세기가 조정된다. 안테나에 수신된 신호의 에너지가 충분히 큰 경우, AGC (Automatic Gain Control)의 높은 초기 이득 값으로 인해 신호의 입력 신호 크기가 ADC의 동작 범위에 근접하거나 넘어가 신호에 왜곡이 발생할 경우 포화 상태로 판별 된다.

포화 상태를 이용한 케리어 센싱은 ADC에서 출력되는 I와 Q신호를 사용한다. 기본적인 동작은 ADC의 출력 I와 Q 신호에 절대값을 취한 후, 이 값들을 검출 임계치 값과 비교하는 방식이다. 일정 시간 내에 미리 설정된 임계치 값을 넘어서는 I와 Q 신호 샘플이 일정 개수 이상 검출 되었을 때, 큰 파워 신호가 수신되고 있음을 알리는 플래그를 활성화시킨다.

포화 상태 기반의 케리어 센싱 회로의 구조는 크게 입력 IQ 신호의 절대값을 취하는 부분과 절대값을 취한 IQ 신호와 레지스터를 통해 설정된 검출 임계치를 비교하는 부분, 그리고 비교 결과를 저장하기 위한 쉬프트 레지스터 (shift register)로 구성된다. 쉬프트 레지스터에는 절대값 IQ가 임계치 값보다 큰 경우, '1', 작은 경우 '0'의 값

이 저장된다. 쉬프트 레지스터는 16 비트 크기를 가지며, 쉬프트 레지스터의 각 비트를 더한 결과와 설정된 임계치 값과 비교해 측정 결과가 큰 경우, 포화 상태 캐리어 센싱 플래그가 활성화되는 방식으로 동작하도록 설계되었다.

### 3.3 에너지 (에너지) 기반 캐리어 센싱

에너지 기반의 캐리어 센싱은 수신 IQ 신호의 파워 레벨을 이용한 신호 검출 방식이다. 에너지 레벨은 채널 상에 신호가 없는 경우, 노이즈만이 존재하여 낮은 파워 레벨을 유지하다가, 채널에 신호가 존재할 때 증가하고, 전송이 완료된 후, 다시 낮아지게 된다. 따라서 수신 신호의 파워가 증가하는 시점을 이용하여 신호의 검출이 가능하게 된다. 또한 수신 신호의 파워와 수신 신호가 지연된 파워간의 차이를 이용할 경우, 더욱 정확하게 채널 상의 신호 존재 유무를 파악하여 검출할 수 있다.

에너지 기반의 캐리어 센싱은 일정 시간 내에 에너지가 정해진 임계치 값과 지연된 입력 신호 파워보다 큰 샘플 수를 누적하여, 누적된 값이 임계치 값보다 큰 경우에 에너지 기반의 캐리어 센싱 플래그 출력을 활성화한다.

### 3.4 자기 상관성 기반 캐리어 센싱

자기 상관성 기반의 캐리어 센싱은 짧은 훈련 신호(STF, Short Training Field)의 주기성을 이용한 캐리어 센싱 알고리즘을 적용하였다. 802.11a의 짧은 훈련 신호는 4 us 주기를 갖는 시퀀스의 반복으로 구성된다. 따라서 반복된 시퀀스 간의 상관성을 이용하여 상관성 값이 일정 값 이상인 경우 신호 검출이 가능하다.

기본적인 동작은 짧은 훈련 신호의 한 주기 만큼 지연된 신호와 수신 신호의 상관성을 구하고 이를 한 주기만큼 누적하여 상관성을 구하는 방식이다. 이와 같은 방식을 사용할 경우, 짧은 훈련 신호의 시작 부분에서 상관성이 증가하고 짧은 훈련 신호가 수신 중인 동안에는 일정한 값을 유지하게 되고, 짧은 훈련 신호가 끝나는 지점에서 상관성 연산 결과가 감소하게 된다.

짧은 훈련 신호의 주기성을 이용한 자기 상관성 연산 결과는 설정 가능한 임계치와 수신 신호를 이용하여 구한 에너지 값과 비교하여, 자기 상관성 기반의 캐리어 센싱 플래그가 활성화된다.

### 3.5 교차 상관성 기반 캐리어 센싱

교차 상관성 기반의 캐리어 센싱은 짧은 훈련 신호가 알려진 시퀀스라는 점을 이용한다. 즉, 각 전송 모드별 짧은 훈련 신호의 시퀀스와 수신 신호를 교차 상관 연산을 취하면, 각 전송 모드별 상관성 연산 결과 중, 동일한 전송 모드의 상관성 연산 결과에서 피크 값이 발생한다. 상관성 피크 값은 짧은 훈련 신호의 반복 주기로 발생하며, 반복된 피크 값을 짧은 신호 반복 구간 동안 누적해 노이즈를 필터링한다. 누적된 교차 상관성 연산 결과는 매우 높은 값을 갖게 되어, 낮은 입력 신호 레벨 조건에서 효과적인 캐리어 센싱이 가능하게 된다.

누적된 교차 상관성 기반 캐리어 센싱 결과는 검출 임계치와 수신 입력 값과 비교하여, 교차 상관성 기반 캐리어 센싱 플래그를 활성화한다.

## 4. 캐리어 센싱 알고리즘의 동작

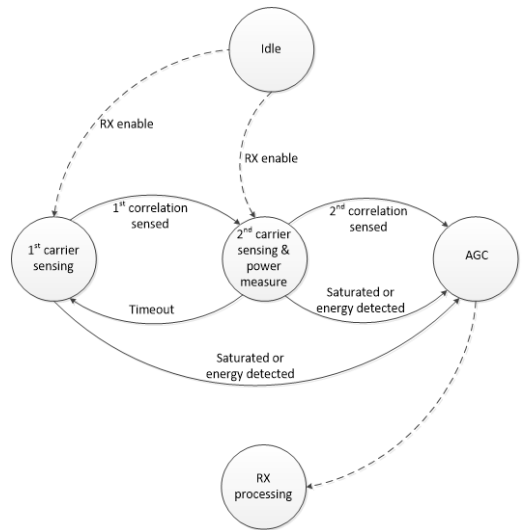


Fig. 1. Operation mechanism of carrier sensing techniques.

그림 1은 앞서 서술한 캐리어 센싱 기법들이 동작하는 방법을 보여준다. 수신 상태에서는 채널에 존재하는 신호가 수신해야 하는 신호인지 노이즈인지 판별하기 어렵고, 수신기는 입력되는 신호의 레벨을 예측할 수 없다. 일단 수신 상태가 되면 1차 캐리어 센싱과 2차 캐리어 센싱이 동시에 병렬적으로 진행된다. 1차 캐리어 센싱은 상

관성 기반의 캐리어 센싱에 전적으로 의존한다. 1차 캐리어 센싱은 상관성 기반의 빠른 캐리어 센싱이 가능한 반면 정확도가 떨어지므로, 1차 캐리어 센싱이 되면 2차 캐리어 센싱 단계에서 상관성과 파워 기반의 캐리어 센싱을 진행한다. 만약 2차 캐리어 센싱에서도 상관성 기반의 캐리어 센싱이 되면 이득 제어가 진행되고, 이 때 포화상태가 발생하거나 에너지 기반의 캐리어 센싱이 되면 이득 제어 상태로 간다. 이 방법은 기존의 에너지 기반의 캐리어 센싱이 간섭에 민감하게 반응해 오토타미 빈번하게 발생할 수 있는 문제점을 해결한다. 즉, 상관성 기반의 캐리어 센싱으로 1차 센싱해 빠르게 캐리어 센싱한 후 에너지 기반의 캐리어 센싱을 활성화 시킴으로써 안정성을 확보할 수 있다.

### 5. 실험 환경 및 결과

본 실험은 802.11a 시스템을 FPGA (Field Programmable Gate Array)에서 구현한 후 와이파이 인증을 받은 하드웨어와 소프트웨어를 기반으로 수행했다. 1024 byte 길이의 패킷 10,000 개를 로데슈바르츠 무선랜 신호 생성 장치로 생성하고, 수신기의 에너지 레벨을 5 dB 간격으로 변경하며 패킷 에러율 (PER, Packet Error Rate) 을 측정했다. 이 때, 캐리어 센싱 기법 각각의 수신 감도와 안정성, 그리고 동작 범위를 측정하기 위해 FPGA 에 프로그래머블 레지스터로 구현된 각각의 비활성화 기능을 활용해서 하나의 캐리어 센싱 회로만 동작 하도록 했다.

실험 결과에 따르면 그림 2와 같이 교차 상관성 기반의 캐리어 센싱, 자기 상관성 기반의 캐리어 센싱, 에너지 기반의 캐리어 센싱, 포화 상태 기반의 캐리어 센싱 순으로 수신감도가 낮았고, 모두 안정적인 동작 범위를 보장 했고, 최대 수신 신호 레벨은 포화 상태 기반의 캐리어 센싱, 에너지 기반의 캐리어 센싱, 자기 상관성 기반의 캐리어 센싱, 교차 상관성 기반의 캐리어 센싱 순으로 높았다. 장거리 통신 시스템의 경우 노이즈와 잡음에 민감할 수 있어서 상관성 없이 에너지 기반의 캐리어 센싱을 다중화하는 연구도 있었지만[17], 본 연구에서 실험한 결과와 같이 에너지 기반의 캐리어 센싱에 의존하는 알고리즘은 상관성 기반의 캐리어 센싱 방식보다 수신할 수 있는 신호 레벨이 높아서 장거리 통신 시스템에 적합하지

않다.

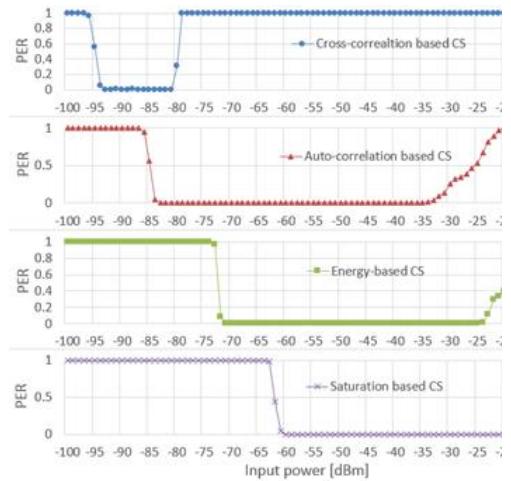


Fig. 2. Receiver sensitivity and dynamic range evaluation results for carrier sensing techniques

표 1은 본 연구에서 제안하는 캐리어 센싱 방법의 한 수신 감도와 표준 문서의 요구사항을 비교한 표다. 표에서 보는 바와 같이 제안하는 캐리어 센싱 방법에 의하면 표준대비 13 dB 이상 수신 감도가 향상되고, 최대 에너지 레벨도 7 dB 이상 향상되어, 표준 요구 사항 대비 20 dB 이상 수신기 동작 범위가 향상되는 것을 알 수 있다. 또한, 다중 캐리어 센싱이 무선 네트워크 상황에 맞춰 활성화 및 비활성화되어 안정적인 서비스 품질 보장이 가능하다.

Table 1. Comparison of proposed scheme and standard specification requirement.

Parameters	Proposed	Standard Req.	Gap
Noise Floor Level	-101dB		-
Noise Figure	4dB		-
Modem Performance	3dB	15dB	12dB
RX sensitivity	-94dB	-82dB	

### 6. 결론

장거리 사물인터넷 기술의 활용 분야가 전 산업 분야와 우리의 일상 생활로 확대되고 있다[18, 19]. 본 논문에

서는 장거리 사물 인터넷을 위한 효과적인 캐리어 센싱 기법을 제시하고 실험을 통해 그 유효성을 입증했다. 본 연구 논문에서 제안한 캐리어 센싱 기법은 장거리 사물 인터넷에 적합하도록 광범위한 수신 신호 동작 범위를 보장하기 위해 교차 상관 기반의 캐리어 센싱, 자기 상관 기반의 캐리어 센싱, 에너지 기반의 캐리어 센싱, 포화 상태 기반의 캐리어 센싱 기법을 동시에 활용하는 캐리어 센싱 구조를 제안했다. 또한, 1차 상관성 기반의 캐리어 센싱 후 2차 캐리어 센싱을 수행할 때 에너지 기반의 캐리어 센싱을 수행함으로써 보다 빠르고 정확한 캐리어 센싱이 가능하도록 설계했다. 실험 결과에 따르면 표준 대비 13 dB 이상 수신 감도가 향상되고, 최대 에너지 레벨도 7 dB 이상 향상되어, 표준 요구 사항 대비 20 dB 이상 수신기 동작 범위가 향상됨을 알 수 있었다. 앞으로 본 연구 결과를 실제 사물인터넷 응용 제품에 도입해 실제 응용 환경에서 발생할 수 있는 간섭에 의한 성능 영향을 분석하고 개선하는 방안을 검토할 계획이다. 그리고, 동적 무선 네트워크 환경에서 캐리어 센싱 회로들의 적응형 동작 알고리즘을 연구할 계획이다.

## REFERENCES

- [1] T. Snyder, G. Byrd. (2017). Internet of Everything, *Computer*, 50(6), 8-9.
- [2] I. G. Lee, M. Kim. (2016). Interference-aware self-optimizing Wi-Fi for high-efficiency internet of things in dense networks, *Computer Communications*, 89(1), 60-74.
- [3] B. Yan, H. Gharavi. (2017). Receiver Sensitivity in CSMA Networks, *IEEE 2006 International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*.
- [4] R. Laufer, L. Kleinrock. (2016). The Capacity of wireless CSMA/CA networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 24(3), 1518-1532.
- [5] F. Y. Hung, I. Marsic. (2007). Effectiveness of Physical and Virtual Carrier Sensing in IEEE 802.11 Wireless Ad Hoc Networks, *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*.
- [6] C. Thorpe, L. Murphy. (2014). A Survey of Adaptive Carrier Sensing Mechanisms for IEEE 802.11 Wireless Networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1266-1293.
- [7] X. Yang, N. Vaidya. (2005). On physical carrier sensing in wireless ad hoc networks. 24<sup>th</sup> Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications (ICC) Societies.
- [8] M. Takai, J. Martin, R. Bagrodia, A. Ren. (2002). Directional virtual carrier sensing for directional antennas in mobile ad hoc networks. *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing (MobiHoc)*, 183-193.
- [9] J. Deng, B. Liang, P. K. Varshney. (2004). Tuning the carrier sensing range of IEEE 802.11 MAC, *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)*.
- [10] B. Bellalta. (2016). IEEE 802.11ax: High-efficiency WLANs, *IEEE Wireless Communications*, 23(1), 38-46.
- [11] M. S. Afaqui, G. V. Eduard, L. A. Elena. (2017). IEEE 802.11ax: Challenges and Requirements for Future High Efficiency WiFi, *IEEE Wireless Communications*, 24(3), 130-137.
- [12] D. Deng, Y. P. Lin, X. Yang, J. Zhu, Y. B. Li, J. Luo, K. C. Chen. (2017). IEEE 802.11ax: Highly Efficient WLANs for Intelligent Information Infrastructure, *IEEE Communications Magazine*, 55(12), 52-59.
- [13] C. D. Lee. (2017). An Adaptive Traffic Interference Control System for Wireless Home IoT services. *Journal of Digital Convergence*, 15(4), 259-266.
- [14] D. C. Son. (2016). A Study on Algorithm for Reducing Communication Error Rate in Special Network, *Journal of Digital Convergence*, 14(11), 325-331.
- [15] I. G. Lee, J. B. Son, S. K. Lee. (2009). Field Test and Experimental Characterization of 5GHz RF Transceiver for Coverage Extension *Wireless Communications and Networking Conference*.
- [16] IEEE 802.11a Standard. (1999). Part 11: Wireless LAN, Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band, supplement to IEEE 802.11 Standard.
- [17] R. Bhardwaj, K. Chintalapudi, R. Ramjee. (2018). Skip-Correlation for Multi-Power Wireless Carrier Sensing, *14<sup>th</sup> USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI)*, 227-242..
- [18] J. Y. Su. (2018). Linking Algorithm between IoT devices for smart factory environment of SMEs, *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(2), 233-238.
- [19] S. H. Lee, D. H. Shim, D. W. Lee. (2016). Actual Cases of Internet of Thing on Smart City Industry, *Journal of Convergence for Information Technology*, 6(4), 65-70.

이 일 구(Lee, Il-Gu)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 한국과학기술원 정보통신대학원 (공학석사)
- 2012년 2월 : 한국과학기술원 지식재산대학원 (경영학석사)
- 2016년 2월 : 한국과학기술원 정보보호대학원 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 성신여자대학교 융합보안공학과 조교수
- 관심분야 : 정보통신, 정보보호, 지식재산
- E-Mail : iglee@sungshin.ac.kr