

WRAN Cognitive Radio MAC 프로토콜 기술

□ 유상조, 노권문, 정재학, 김재명 / 인하대학교

1. 서론

최근 무선 통신 기술의 급격한 발전과 그 수요가 증가됨에 따라 유한 자원인 주파수 자원에 대한 중요성과 주파수 이용 효율을 극대화하기 위한 기술에 대한 연구가 중요하게 부각되고 있다. 특히, 앞으로 도래할 유비쿼터스 시대에는 이동통신, Wibro, DMB, RFID/USN, UWB 등과 같은 다양한 무선 기술들이 혼재하는 상황 때문에 부족한 주파수 자원의 희소성이 더욱 심화될 전망이고, 간섭의 영향으로 심각한 통신 성능 저하를 초래할 가능성이 높다. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해 비어있는 상태로 사용하지 않는 유휴 무선 자원을 인지하여 스펙트럼 검출, 동적 주파수 선택, 잉여 주파수 대역확보 등의 기술을 기반으로 하는 무선 인지 기술(CR: Cognitive Radio) [1-3]에 대해 많은 관심이 집중되고 있으며,

새로운 기술적 대안으로 급부상하고 있다.

이러한 무선인지 기술을 이용한 최초의 표준화 기술인 IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network)은 특정지역에서 일시적으로 사용되지 않는 TV 채널을 사용하여 무선 데이터 통신을 제공하는 것을 목적으로 한다. IEEE 802.22 WRAN 시스템의 주요 전제조건은 비어있는 TV 스펙트럼을 재사용하는 대신 기존의 허가된 사용자에게 유해한 간섭을 주어서는 안 된다는 것이다. 이를 위해 WRAN에서의 MAC 계층 프로토콜은 기존 무선통신 시스템에서의 MAC 요구사항 외에 센싱정보의 보고 및 처리 절차, 허가된 사용자 시스템 신호의 검출 및 동적인 주파수 선택과 이동, 다른 CR 시스템과의 공존 등 새로운 CR 시스템 요구사항을 처리할 수 있어야 한다. 본 고에서는 현재 IEEE 802.22 워킹 그룹에서 표준화가 진행 중인 IEEE

※ 본 인하대의 IEEE 802.22 WRAN 연구는 삼성종합기술원의 지원으로 이루어 졌습니다.

802.22 WRAN MAC 계층 표준화 동향과 주요 CR MAC 기술들에 대해 살펴본다.

II. IEEE 802.22 WRAN MAC 계층 표준화 동향

미국 FCC (Federal Communications Commission) 의 미국 각 지역 주파수 활용도를 조사한 결과 매우 낮은 주파수 사용률을 보이고 있는 것으로 나타났다 [4]. 따라서 주파수 활용도를 높이고 새로운 무선 통신 시스템의 도입을 용이하게 하고자 미국 FCC 에서 CR 기술도입을 추진하게 되었고, 2003년 12 월 FCC NPRM (Notice of Proposed Rule Making) [5]의 주파수 공용 사용 가능성이 언급된 이후 이를 현실적인 시스템으로 개발하려는 노력이 IEEE 802.22 WRAN 표준화의 계기가 되었다.

IEEE 802.22는 사용하지 않는 TV 대역에 CR 기술을 활용하여 PMP (Point-to-Multi-Point) 구조를 기본으로 허가된 무선 통신 시스템인 TV, LE

(License Exempt) 시스템에 대한 간섭 억제, QoS 제공, WRAN 시스템간의 공존 등을 제공하여 미국이나 캐나다의 도시 외곽 지역이나 개발도상국에 무선 통신 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있으며 인구 밀도가 낮은 인구분포를 보이는 지역을 그 목표 시장으로 삼고 있다.

WRAN를 위한 IEEE 802.22 워킹 그룹은 CR 기술 기반의 PHY/MAC에 대한 표준을 개발 중이다. 2004년 8월에 PAR (Project Authorization Request)를 승인받았고, 2004년 11월 정식 회의를 시작으로 WRAN 참조 모델의 정의와 PHY/MAC에 사용할 기반 기술에 관한 각종 제안 및 기본 요구사항에 연구가 이루어졌다 [5]. 2005년 11월에 표준안 제안이 있었는데, 국내 기관으로는 ETRI/삼성전기와 삼성전자/인하대 두 그룹에서 full proposal을 제출하였다. 전체적으로는 Nextwave, I2R, ETRI-SEM-GATech, Thomson, STM-Runcom, Samsung, Nanotron, CSU-Huawei, Philips-FT, 총 9개 회사들이 표준안에 대한 제안서를 상정했다. 그 후 2006년 1월에 I2R, Thomson, STM-Runcom, CSU-Huawei, ETRI-

〈표 1〉 IEEE 802.22 표준화 일정

날짜	회의 종류	주요 내용
2004. 11.	Plenary	IEEE 802.22 Kick-off meeting
2005. 01.	Interim	Working Group policy and procedures
2005. 03.	Plenary	Draft Functional Requirement
2005. 05.	Interim	Editing of Functional Requirement
2005. 07.	Plenary	Editing of Functional Requirement
2005. 09.	Interim	Functional Requirement 확정 및 Call for Proposals Proposals/Contributions
2005. 11.	Plenary	Consolidation/Selection
2006. 01.	Interim	WG Draft Standard Process Start
2007. 01.		Sponsor ballot
2007. 06.		Submittal to RevCom
2008. 01.		Final Approval/Publication
2008. 12.		Closing

FT-Philips-Samsung 5개의 그룹으로 통합되었고, 2006년 3월 회의 전까지 Huawei-NextWave-Runcom-STMicro와 ETRI-FT-I2R-Motorola-Philips-Samsung-Thomson[6] 두 개의 안으로 통합되었으며, 3월 회의 결과 두 통합안을 한 개의 통합안으로 만들기로 합의하였고 향후 draft v1.0을 작성, 작업을 진행할 예정이다. 또한, 3월 회의에서는 방송 관련 회사인 SHURE, MSTV, NAB, IEEEETS, CBS, FOX가 방송사 입장에서의 IEEE 802.22 통합안에 대한 의견을 개진하였다. <표 1>은 IEEE 802.22의 표준화 계획이다. 현재 이 계획은 약간 지연되고 있다.

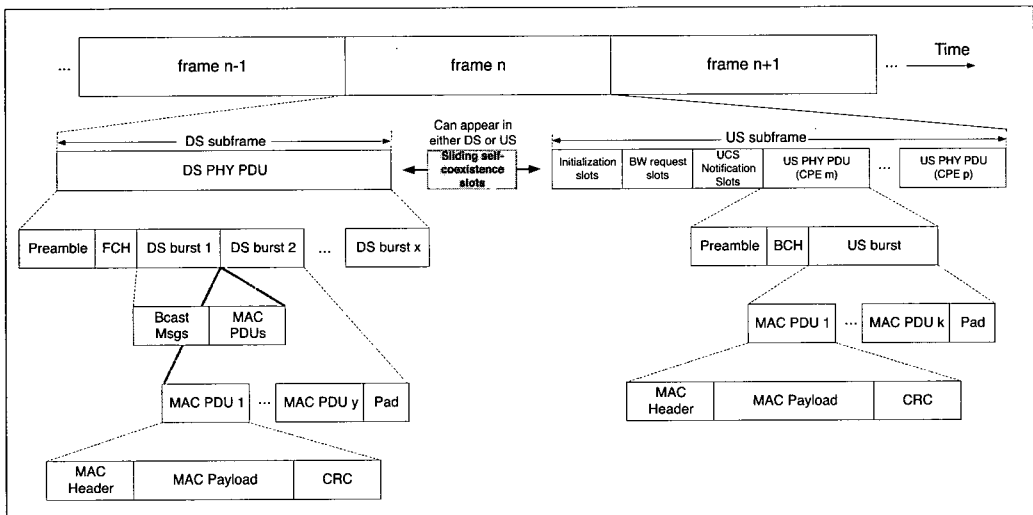
상기한 IEEE 802.22 WRAN의 목표를 달성하기 위해서는 TV 스펙트럼 검출과 같이 현재 사용자의 주파수 사용 현황을 감지하는 기술이 중요하고, 허가된 무선 통신시스템이 등장했을 때, 사용자들에게 지속적인 QoS를 만족시키기 위하여 동적으로 주파수를 선택하는 기술과 잉여 주파수 대역을 확보하는 기술이 필요하다. 또한 CR을 사용하는 서로 다른 서비스 제공자가 인접하여 존재할 때, 이웃 BS들 간에 비

어있는 주파수를 먼저 선점하여 사용하려는 문제들이 발생한다. 따라서 이러한 BS들 간의 상호 간섭 또는 주파수 사용 분배와 같이 BS간의 공존 문제를 해결하기 위한 중재 프로토콜이 필요하다. 특히, 허가된 무선 통신 시스템이 등장했을 때, 이를 빠르게 공지하여 서비스 중인 주파수 대역을 이용 가능한 주파수 대역으로 변경하여 간섭을 최소화 할 수 있는 기술들이 매우 중요하다. 다음 장에서는 이러한 CR WRAN MAC 프로토콜 핵심기술에 대해 설명한다.

III. WRAN MAC 프로토콜 주요 기술

1. WRAN MAC 프레임의 구조

IEEE 802.22의 요구사항[5]은 FDD (Frequency Division Duplexing), TDD (Time Division Duplexing)를 제공하도록 명시되어 있다. <그림 1>은 Duplexing 모드로 TDD를 사용하였을 때의 MAC 프레



<그림 1> MAC 프레임 구조(TDD 모드)

입 구조도이다. 하나의 프레임은 크게 BS (Base Station)가 각 CPE (Consumer Premises Equipment) 들에게 전송하는 DS (DownStream) 하부 프레임과 CPE가 BS에게 전송하는 US (UpStream) 하부 프레임, BS간 동기화 등에 이용하는 자기-공존 슬롯(self-coexistence slot)으로 나누어진다. 하나의 DS 하부 프레임은 각 CPE들에 전송할 여러 개의 DS Burst로 구성되고, 하나의 DS Burst는 여러 개의 MAC PDU (Protocol Data Unit)들로 구성될 수 있다. 하나의 US 하부 프레임은 초기화 과정을 위한 초기화 슬롯(initialization slots), CPE가 BS에게 자원을 요청하기 위한 대역폭 요청 슬롯(bandwidth request slot), 허가된 무선 통신 시스템이 검출되었을 시 BS에게 공지하기 위한 UCS(Urgent Coexistence Situation) 공지 슬롯, 여러 개의 US Burst로 구성된다.

2. 네트워크 진입 및 초기화

CPE는 BS로부터 서비스를 받기 전에 네트워크 진입과 capability에 대한 정보를 교환하는 초기화 과정이 필요하다. 이 초기화 과정은 CPE와 BS간에 프레임 교환이나 채널을 센싱하는 것과 같은 많은 작업들을 수반한다. 또한, CPE의 네트워크 진입 시 인컴버트 시스템(incumbent system: 허가된 무선 통신 시스템, 예: TV 방송 시스템)에 간섭을 끼칠 가능성이 존재하기 때문에 초기화 과정은 매우 중요하다. 따라서, 네트워크 진입과 초기화 과정은 인컴버트 시스템에 간섭을 미치지 않는 것을 보장하도록 설계되어야 한다. CPE에서 수행되는 네트워크 진입과 초기화 과정은 다음과 같다.

- (1) BS를 찾기 위해서 채널들을 스캔한다.
- (2) 하나의 채널로부터 SCH(Superframe Control

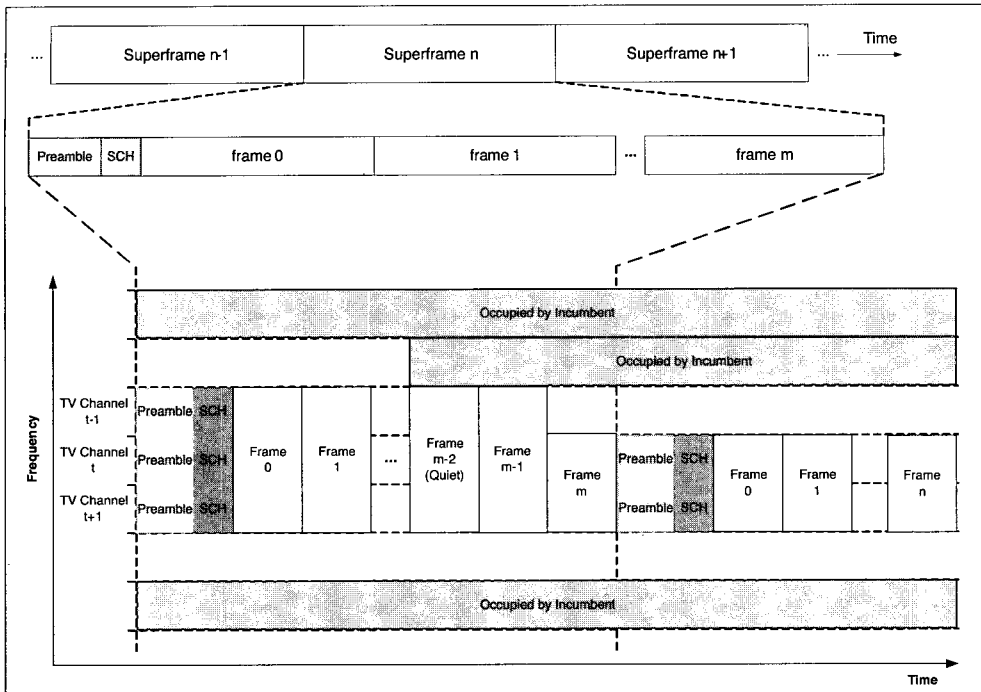
Header-하나의 슈퍼프레임에 대한 정보를 포함하는 헤더)를 받으면, 그 채널이 인컴버트 시스템에 간섭을 미치지 않는 지에 대한 여부를 확인한다.

- (3) BS와 동기화한다.
- (4) BS로부터 UCD(Upstream Channel Descriptor-상향 스트림의 물리계층의 특성을 나타내는 MAC 메시지)안에 포함되어 있는 전송 파라미터를 얻는다.
- (5) 레이징(ranging)을 수행하고 기본적인 capability를 협상한다.
- (6) CPE를 인증하고 키를 교환한다.
- (7) 등록 절차를 수행한다.
- (8) 등록 절차를 수행하는 동안에 CPE가 IP 연결 수립, 시간 설정과 같은 추가적인 다른 초기화 절차를 요구한다면, 그 절차들을 수행한다.
- (9) 연결을 수립한다.

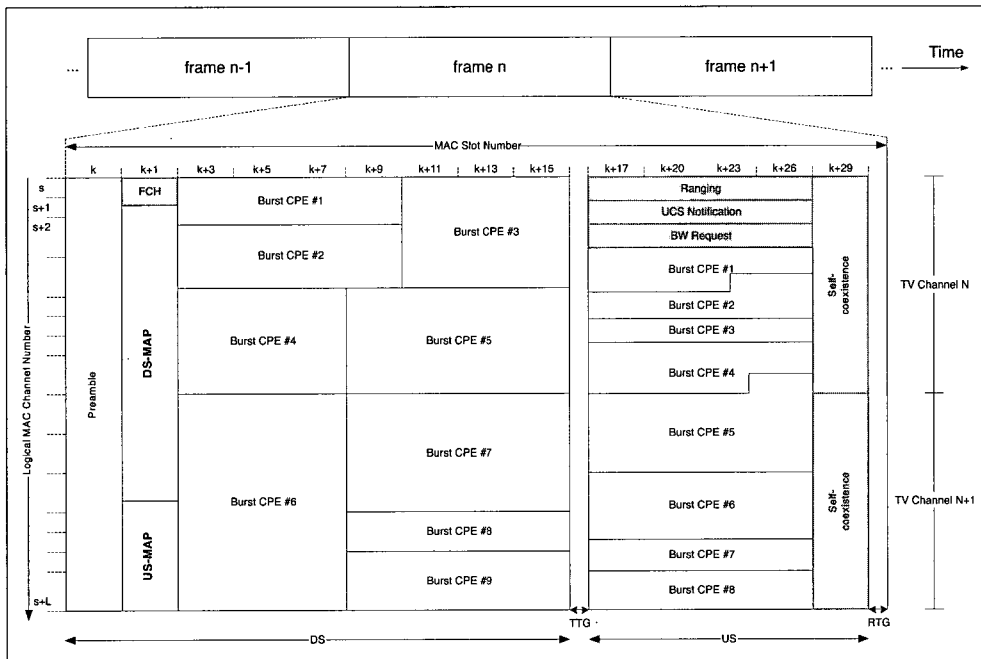
3. 다중 채널 제공

FCC의 주파수 이용률에 대한 보고와 같이 현재 사용하지 않는 이용 가능한 많은 양의 주파수 자원이 존재한다. 따라서 비어있는 TV 채널에 대한 연속적이거나 연속적이지 않는 다중 채널의 사용 능력은 CR MAC에서 중요한 특징이다. 연속적인 TV 채널의 사용을 channel Bonding이라 하며, 연속적이지 않는 TV 채널의 사용을 channel aggregation이라 한다. 이것은 MAC에 유연한 구조를 제공함으로써 가능하다.

〈그림 2〉는 다중 TV 채널 모드로 동작할 때, 제공하는 슈퍼프레임 구조도를 나타낸다. 하나의 슈퍼프레임은 PHY 프리엠블 (preamble), 슈퍼프레임 제어 헤더 (SCH: Superframe Control Header), 여러 개의 프레임을 포함한다. 각 슈퍼프레임의 시작 시에 BS (Base Station)는 CPE (Consumer Premise Equipment)와 통신하는데 이용하는 각 채널에 PHY 프리엠블과 SCH를 포함하여 전송한다. 특히, SCH는 슈퍼프레임 당 프레임의 수, 묶여진 채널의



〈그림 2〉 슈퍼프레임 구조도



〈그림 3〉 Time structure of a MAC frame

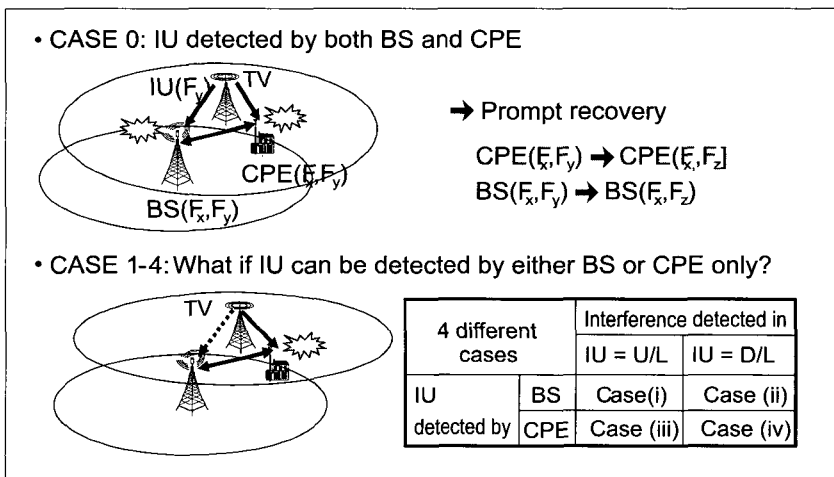
수, 전송 파워, QP (Quite Period)와 같은 802.22 셀에 대한 필수적인 정보들을 포함하고 있기 때문에, SCH를 수신한 CPE는 BS와 초기 통신을 위한 모든 정보를 얻을 수 있다. 또한, 하나의 프레임은 여러 개의 채널에 걸쳐서 전송할 수 있기 때문에 더 나은 시스템 용량과 데이터률 등을 제공할 수 있다. <그림 3>은 다중 TV 채널 모드로 동작할 때, 하나의 슈퍼 프레임에 속하는 하나의 프레임의 구조를 나타낸다.

4. 인컴버트 시스템 검출

IEEE 802.22 WRAN에서는 TV 사업자 기지국이나 무선 마이크론폰(Part 74 장치)을 인컴버트 유저(IU: Incumbent User) 또는 인컴버트(incumbent)라 부른다. 기존 채널에 대한 권한을 가진 IU가 출현했을 때, 간섭을 최소화하는 것이 CR MAC의 주요 이슈이다. 다음은 인컴버트 시스템의 출현을 인지했을 때, 간섭을 최소화하기 위한 CR MAC이 제공하는 두 가지 프로토콜에 대해서 서술한다.

1) 인컴버트 검출 복구 프로토콜(Incumbent Detection Recovery Protocol)

IU의 등장으로 BS가 서비스 채널을 변경해야 하는 경우, 이를 위한 프로토콜이 인컴버트 검출 복구 프로토콜(IDRP: Incumbent Detection Recovery Protocol)이다. IDRP는 명시적 공지 방법(explicit notification), 묵시적 공지 방법(implicit notification), 짧은 묵시적 공지 방법(short implicit notification), 이 세 가지 타입의 공지 방법을 이용할 수 있다. 먼저, 명시적 공지 방법은 가장 좋은 방법으로 채널 변경에 대해서 CPE에게 공지하는 방법이다. 그러나, IU의 등장으로 인해 CPE가 하향 스트림을 수신할 수 없는 경우에는 BS로부터 어떠한 채널 변경 메시지를 수신할 수 없다. 이러한 경우에는 묵시적 공지 방법과 짧은 묵시적 공지 방법을 이용한다. 하지만 묵시적 공지 방법은 명시적 공지 방법보다 더 많은 시간을 요구한다. 이러한 인컴버트 공지 방법은 인컴버트 시스템의 등장 시나리오에 따라 달리 적용하여야 한다. 아래 <그림 4>는 인컴버트 시스템이 등



<그림 4> 인컴버트 시스템 등장 시나리오

장하는 5가지 경우를 나타낸다.

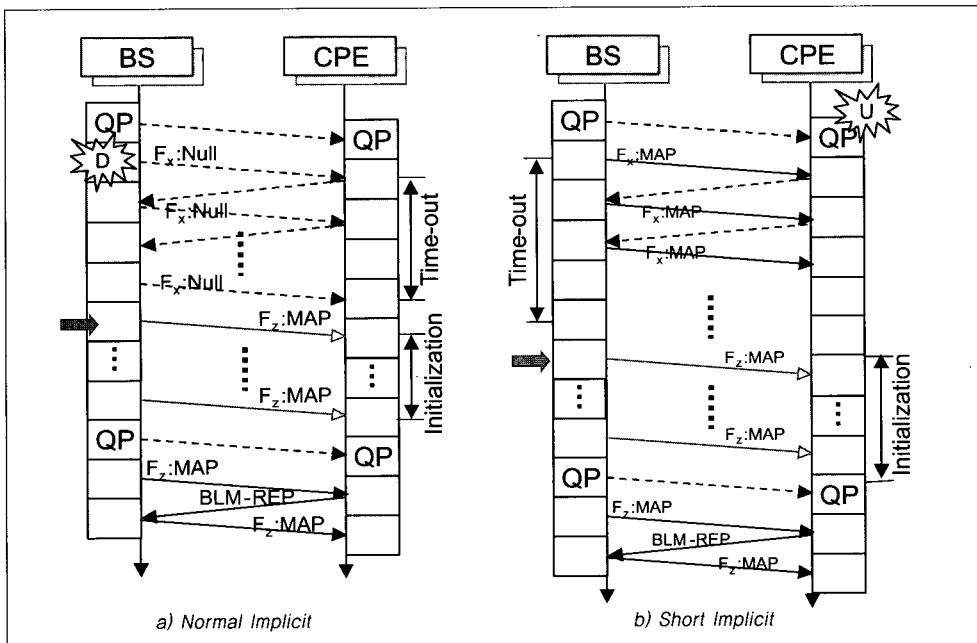
- Case 0 : BS와 CPE가 IU를 인지하는 경우
- Case 1 : BS가 상향 스트림(upstream)에서 IU를 인지하는 경우
- Case 2 : BS가 하향 스트림(downstream)에서 IU를 인지하는 경우
- Case 3 : CPE가 상향 스트림에서 IU를 인지하는 경우
- Case 4 : CPE가 하향 스트림에서 IU를 인지하는 경우

Case 0인 경우, BS와 CPE가 인컴버트 시스템의

출현을 인지하였기 때문에, BS와 CPE간에 특별한 공지 없이 즉시 미리 정의된 후보 채널(candidate channel)로 서비스 중인 채널을 변경시킨다. 나머지 각 경우에 대해서는 <표 2>와 같은 공지 방법을 이용한다. <그림 5>는 묵시적 공지 방법과 짧은 묵시적 공지 방법의 동작 과정을 나타낸다. 기본적으로 묵시적 방법은 그림과 같이 현재 서비스 중인 등록된 CPE가 DS 채널의 간섭으로 BS의 채널 F_x 를 통한 센싱 요구를 듣지 못해 일정 시간동안 센싱 응답을 보내지 못하거나 CPE의

<표 2> 각 Case에 따른 인컴버트 시스템 공지 방법(FDD Mode)

	IU appear in	Detected IU by	Implicit	Explicit	Short implicit
Case 1	UL	BS	0	0	0
Case 2	DL	BS	0	x	x
Case 3	UL	CPE	0	0	0
Case 4	DL	CPE	0	x	0



<그림 5> 일반적인 묵시적 공지 방법과 짧은 묵시적 공지 방법

센싱 응답을 BS가 US 채널 간섭으로 일정시간 받지 못하는 경우에 대해, BS는 이를 인컴버트 시스템과의 간섭으로 간주하고 다른 채널로 이동하게 된다.

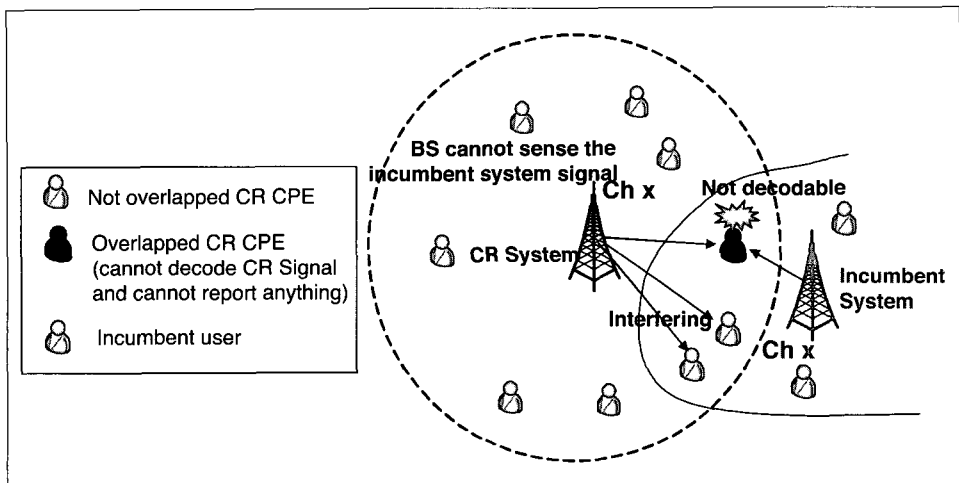
2) 인컴버트 시스템 검출을 위한 명시적 아웃 밴드 시그널링(Explicit Out-Band Signaling)

인컴버트 시스템 신호 검출을 위한 명시적 아웃 밴드 시그널링 방법은 CR BS와 CPE간에 인컴버트 시스템과의 강한 간섭 등의 이유로 현재 사용 중인 채널을 통해 통신이 불가능 할 경우, 별도의 다른 채널들을 통해 인컴버트 시스템의 존재와 간섭 여부 등의 정보를 알려주는 프로토콜이다.

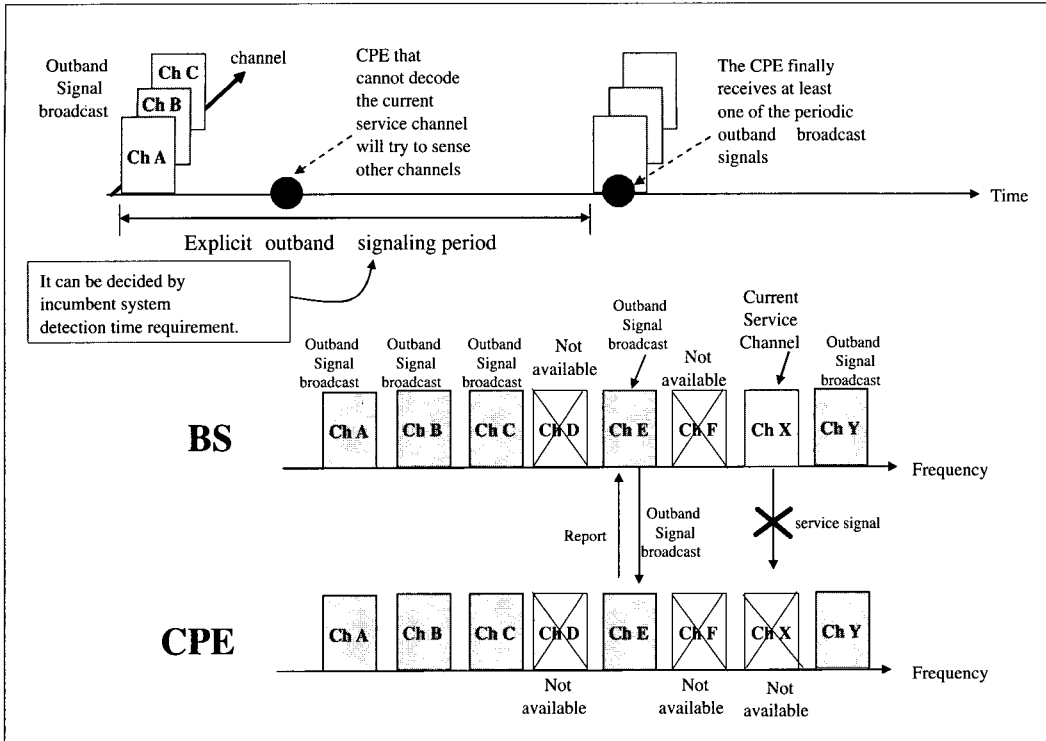
〈그림 6〉과 같이 WRAN 시스템과 인컴버트 시스템이 오버랩된 영역에서 동일한 채널에서의 상호강한 간섭신호로 겹쳐진 영역의 CPE가 BS 신호를 디코딩 하지 못할 경우 BS에 이를 명시적으로 알릴 방법이 없게 된다. 이러한 상황을 숨겨진 인컴버트 시스템이라 한다. 또한 오버랩된 영역의

CPE 들이 파워를 끈 상태에서 인컴버트 시스템 출현 후 파워를 켜게 되면 WRAN BS에 등록 조차 할 수 없고 BS는 해당 CPE에 대해 어떠한 정보도 갖고 있지 않게 된다. 이는 WRAN CPE들에게는 서비스 제공의 장애 요소로 작용하고 기존 인컴버트 시스템 사용자에게는 지속적인 중대한 간섭을 주게 된다. BS가 인컴버트 신호를 검출하지 못하고, 인컴버트 시스템과 WRAN 시스템에 오버랩된 영역에 존재하며 서비스 받고 있지 않는 CPE들이 장치의 파워를 키지 않아 CPE로부터 인컴버트 시스템의 등장을 보고 받지 못할 경우에 IDRP는 인컴버트 시스템의 사용자들에게 심각한 간섭을 초래할 수 있다.

명시적 아웃밴드 시그널링에서, BS는 〈그림 7〉과 같이 주기적으로 현재 서비스 중인 채널에 대한 정보를 담은 아웃 밴드 신호(out-band signal)를 어느 시스템도 아직 점유하지 않는 몇 개의 채널 (예: 후보채널 - WRAN BS는 향후 사용이 가능한 우선 후보 채널을 주기적으로 CPE들에게 알려준다)로



〈그림 6〉 숨겨진 인컴버트 시스템 상황 예



〈그림 7〉 숨겨진 인컴버트 시스템 검출을 위한 명시적 아웃 밴드 시그널링

전송한다. 여기서, BS가 전송하는 아웃 밴드 신호의 주기성은 요구되는 인컴버트 시스템 검출 시간에 따라 결정된다. 아웃 밴드 신호는 추가적인 프로토콜 또는 물리계층의 모듈의 발생을 피하기 위해서 기존 서비스를 위해 이용하는 물리 계층과 MAC 계층과 동일한 구조를 갖는다. CPE는 BS의 현재 서비스 중인 채널을 디코딩할 수 없을 때, BS와의 동기를 위해 후보채널을 시작으로 다른 채널을 센싱하기 시작한다. 만약 CPE가 다른 채널에서 BS의 아웃 밴드 시그널 신호를 수신하면 현재 서비스 중인 채널에 대한 정보를 얻게 되고, 현재 서비스 중인 채널이 디코딩할 수 없어 수신이 불가능한 채널인 경우라면 외부 밴드 신호를 받은 채널의 상향 스트림(upstream) 자원을 이용하여 BS에게 이러한 사

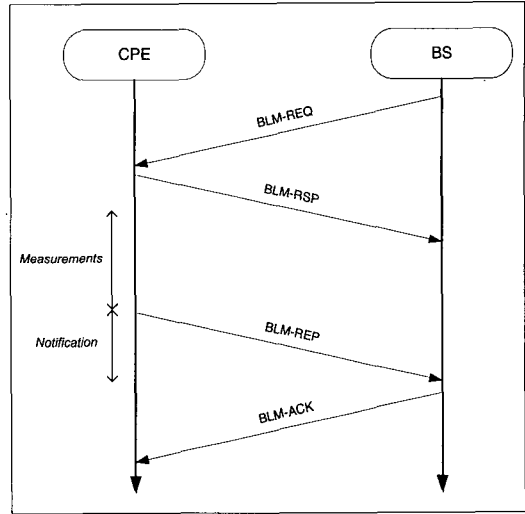
실을 보고한다. 보고 메시지에 CPE의 센싱결과 가능한 채널 리스트가 포함될 수 있다. 이러한 보고를 받은 BS는 숨겨진 인컴버트 시스템이 존재하는 것으로 간주하고 다른 이용 가능한 대역으로 서비스 채널을 변경한다.

5. 센싱 보고(Sensing Report) 절차

WRAN에 속한 구성 요소들(BS, CPE)은 사용 중인 채널과 비어있는 채널에 대해서 지속적으로 센싱을 해야 한다. 이것은 인컴버트 시스템이 등장했을 때, 인컴버트 시스템에 미치는 간섭을 최소화하기 위해서 인컴버트 시스템의 채널을 회피하여 서비스해야 하기 때문이다. 센싱의 대상은 in-

band와 out-band로 나뉜다. in-band는 셀 안에서 데이터 서비스를 위해 사용하는 채널을 의미하고, out-band는 in-band를 제외한 나머지 채널을 의미한다. BS가 받은 보고의 타입은 정기적인 보고와 긴급한 보고로 구별되는데, 정기적인 보고는 BS가 각 CPE들에게 명시적으로 채널에 대한 센싱 정보를 주기적으로 보고하라는 메시지를 전송하여 각 CPE가 주기적으로 보고하는 것을 의미하고, 긴급한 보고는 CPE가 서비스 중인 채널 안에서 인컴버트 시스템의 등장을 인지하여 BS가 이에 대한 긴급한 대응을 할 수 있도록 보고하는 것을 의미한다. 따라서, BS는 정기적인 보고를 통해서 발생 가능한 잠재적인 공존 문제를 해결하기 위한 절차를 수행할 수 있고, 긴급한 보고를 통해서 인컴버트 시스템의 등장으로 긴급하게 채널을 변경해야 하는 경우에 신속하게 대처할 수 있기 때문에, 인컴버트 시스템에 끼치는 간섭을 최소화 할 수 있다.

각 CEP들로부터 센싱한 채널에 대한 정보를 보고받는 과정은 다음과 같다. 먼저, BS는 채널에 대한 센싱 보고를 받기 원하는 CPE들에게 센싱을 시작하도록 하나의 BLM-REQ (Bulk Measurement Request) 메시지를 전송한다. 따라서, BLM-REQ는 여러 개의 단일 측정 요청 메시지(single measurement request)로 구성할 수 있다. 각 단일 측정 요청 메시지는 CPE로부터 보고받고 싶은 주파수와 타이밍 정보와 같은 파라미터 값을 포함하고 있다. BLM-REQ를 받은 CPE들은 BLM-REQ에 대한 응답으로 BLM-RSP (Bulk Measurement Response)를 전송하고 BS가 지시한 채널들에 대한 측정을 시작한다. 측정이 끝난 이후에 요구된 채널에 대한 정보를 담은 BLM-REP (Bulk Measurement Report)를 전송한다. 이러한



〈그림 8〉 BS와 CPE간의 센싱 보고를 위한 메시지 플로우

BLM-REP는 BLM-REQ 메시지에서 정의한 주기성으로 BS에게 주기적으로 전송할 수 있다. BS가 BLM-REP를 성공적으로 수신하면, BLM-ACK (Bulk Measurement Acknowledgement) 메시지를 전송한다. 〈그림 8〉은 센싱 보고를 위한 BS와 CPE 간에 메시지 플로우를 나타낸다.

5. 자기-공존(Self-Coexistence) 프로토콜

기존의 IEEE 802 표준들은 필수적인 사항들에 대한 명세가 끝난 이후에 자기 공존(self-coexistence) 문제를 고려하였다. 그러나, IEEE 802.22는 요구 사항 문서에서 자기-공존이 명시되어 있기 때문에 표준화 과정에서 사전적(proactive) 접근 방식을 취하고, MAC 계층에서 자기-공존을 위한 프로토콜과 알고리즘을 포함할 것을 요구한다. 현재 제안된 통합안에는 자기-공존을 위한 두 가지 방법으로 공존 비콘 프로토콜과 BS간 자원 공유 방법을 제공하고 있다.

1) 공존 비콘 프로토콜(CBP: Coexistence Beacon Protocol)

실제 WRAN의 통신 환경에서 발생 가능한 심각한 자기-간섭(self-interference)에 대처하기 위해서 CBP (Coexistence Beacon Protocol)가 제안되었다. WRAN 시스템에서는 동일한 영역에 여러 개의 BS와 CPE가 중복해서 존재하기 때문에 이들 간의 정보교환 및 공존을 위한 메시지 전송이 필요하다. CBP는 공존 비콘 전송을 기반으로 하는 최선형(best-effort) 프로토콜이기 때문에 비콘의 성공적인 수신을 보장하지 않는다. <그림 9>는 CBP 패킷의 구조를 나타낸다. 프리앰블 다음에 SCH안에 CT(Content Type) 필드가 존재하는데, 이 CT 필드가 1로 설정되어 있는 경우에는 전송 중인 패킷이 CBP 패킷임을 나타낸다. CBP는 자기-공존(Self-Coexistence) 슬롯으로 전송되어 오버랩된 BS간 동기화나, BS간 통신에 사용될 수 있다.



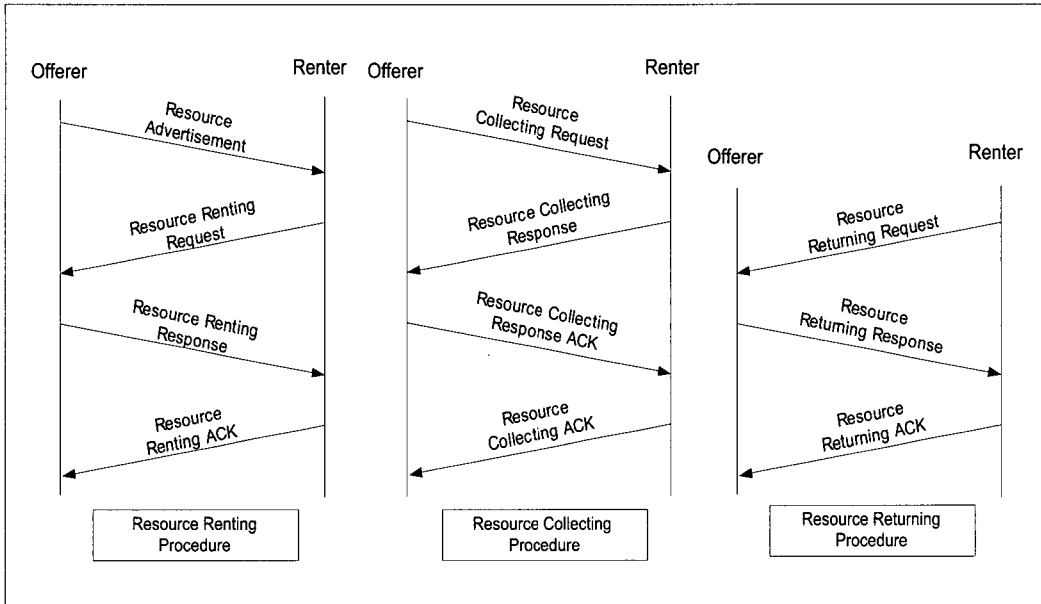
<그림 9> CBP 패킷의 구조

2) BS간 동적 자원 공유(Inter-BS Dynamic Resource Sharing) 프로토콜

WRAN에서 어느 한 지역(co-located)에 여러 WRAN BS가 운용될 수 있다. 만약 해당 지역에 비어있는 가용 대역이 부족한 경우, BS간의 자원 공유를 통해 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있고, WRAN의 사용자들에게는 지속적인 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있다. 이러한 WRAN BS간의 자원을 공유하기 위한 프로토콜이 BS간 동적 자원 공유(Inter-BS Dynamic Resource Sharing) 프로토콜이다. 이웃 WRAN의 BS와 통신하는 방법

은 CBP 프로토콜을 사용한다. 이웃 BS들에게 임대할 자원을 가진 BS를 Offerer라 하고, 자원이 필요한 BS를 Renter라 한다. BS간 동적 자원 공유 프로토콜은 다음과 같은 3가지 절차를 갖는다.

- **자원 임대 절차(resource renting procedure) :**
Offerer가 사용자에게 서비스하고 남은 여분의 무선 자원을 자원이 필요한 이웃 WRAN BS들에게 임대함으로써, 무선 자원의 이용률을 최대화하는 절차이다. 먼저, Offerer가 여남은 자원에 대한 광고 메시지(RA: Resource Advertisement)를 전송한다. 자원이 부족한 Renter는 임대할 자원의 양과, 임대 기간을 포함하는 자원 요청 메시지(RR-REQ: Resource Renting Request) Offerer에게 전송하고, Offerer가 간섭 여부 등을 계산하여, 자원을 임대할 Renter들을 선택하고, RR-REQ에 대한 응답 메시지로 RR-RSP(Resource Renting Response)를 전송한다. 이를 수신한 Renter는 RR-ACK(Resource Renting Acknowledgement)를 전송하고, 임대된 자원을 이용하여 사용자들에게 서비스한다.
- **자원 회수 절차(resource collecting procedure) :**
Offerer가 필요시에 임대한 자원을 Renter로부터 회수를 요청함으로써, 자원 임대의 유연성을 제공하는 절차이다. 먼저, Offerer가 자원 회수 요청 메시지(RC-REQ: Resource Collecting Request)를 Renter에게 전송한다. 이를 수신한 Renter는 자원 회수에 대한 요구를 받아들일 것인지, 거부할 것인지에 대해 결정하고, 이에 대한 정보를 담은 RC-RSP(Resource Collecting Response)를 Renter에게 전송한다. 그 후, Renter는 성공적인 수신을 알리는 RC-RSPACK(Resource Collecting Response Acknowledgement)를 전송하고, 마지막으로 Renter가 RC-ACK(Resource Collecting Acknowledgement)를 전송하는 것으로 자원 회수 절차를 끝낸다.
- **자원 반환 절차(resource returning procedure) :**
Renter가 임대 기간이 만료되거나, 임대된 자원이 더 이상 필요치 않아서 Offerer에게 임대한 자원을 반환하는 절차이다. Renter는 Offerer에게 자원 반환 요청 메시지(RRET-REQ: Resource Returning Request)를 전송



〈그림 10〉 BS간 동적 자원 공유를 위한 세 가지 절차의 메시지 플로우

한다. 이에 대한 응답으로 Offerer는 RRET-RSP (Resource Returning Response)를 전송하고, 마지막으로 Renter가 RRET-ACK(Resource Returning Acknowledgement)를 전송하는 것으로 절차를 끝낸다.

〈그림 10〉은 BS간 동적 자원 공유를 위한 세 가지 절차에 대한 메시지 플로우를 나타낸다.

IV. 결 론

본 고에서는 주파수 이용의 효율성을 높이는 새로운 기술인 무선인지기술 (cognitive radio)을 적용한 최초의 국제 표준화인 IEEE 802.22 WRAN 시스템의 MAC 계층 연구동향과 주요 기술적 고려 사항을 기술하였다.

향후 주파수 자원에 대한 수요는 앞으로 지속적

으로 증가할 것이고, 이에 대한 주파수 자원 고갈 문제 또한 심화될 것으로 전망된다. 이에 따라, 주변 무선 환경을 감지하여 지역과 시간에 따라 비어있는 주파수를 자동으로 찾아 주변의 허가된 시스템에 간섭을 미치지 않으면서 통신하는 CR 기술이 앞으로 미래 사회에 중요한 기술로 자리잡게 될 것이다. 또한, 무선 업계는 SDR (Software Defined Radio) 이후 CR 통신이 각광받을 것이라는 믿음으로 주저없이 CR 기술을 받아들이고 있으며, 세계의 대학들은 CR에 관한 이론, 구현, 실용적 적용에 대한 연구를 시작하였다. 또한 SDR 포럼은 무선 인지 통신 실무그룹(CRWG: Cognitive Radio Working Group)과 인지응용 특별이해그룹(Cognitive Applications Special Interest Group)들을 구성하며, 많은 관심을 쏟고 있다. 따라서, 이와 같이 각계의 큰 관심을 받고 있는 CR 기술의 첫 번째 상용화

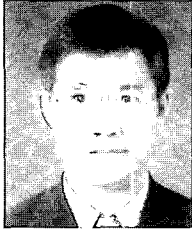
를 목표로 하는 IEEE 802.22 표준은 그 의미가 더욱 크다고 할 수 있겠다. 금번 IEEE 802.22 WRAN 분야는 우리나라의 여러 기관이 주도적으로 참여하여 물리계층 및 MAC 계층 주요 기술사항을 제안하

였고 핵심 원천기술을 확보하고 있다고 할 수 있다. 이러한 성과는 향후 CR을 적용하는 다른 시스템에서도 우리나라가 선도적으로 참여할 수 있는 좋은 계기가 될 것이다.

참고 문헌

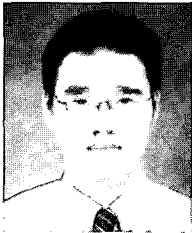
- [1] Joseph Mitola III, "Software radios : Survey, critical evaluation and future directions", IEEE Aerospace and Electronic System Magazine, Vol. 8, Issue. 4, pp. 25-36, April 1993.
- [2] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications", IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications, pp. 3-10, November 1999.
- [3] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", 2004.
- [4] FCC, Spectrum policy task force report, No. 02-155, November 2002.
- [5] FCC, Notice of rule making and order, No. 03-322, December 2003.
- [6] IEEE 802.22-5/0007r47, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN standard", 2006.
- [7] IEEE 802.22-06/0003r1, "A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems Part 2: The MAC", March 2006.

필자 소개



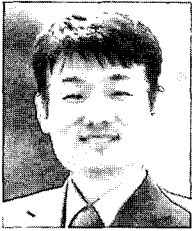
유 상 조

- 1988년 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1990년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 : 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)
- 1990년~2001년 : 한국통신(KT) 연구개발본부
- 1994년~1995년 : NIST 초빙연구원
- 2001년~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 부교수
- 주관심분야 : 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계



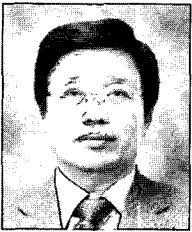
노 권 문

- 2004년 : 인하대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2004년~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
- 주관심분야 : Cognitive Radio 프로토콜, 센서 네트워크



정 재 학

- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (학사)
- 1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (석사)
- 2000년 : University of Texas at Austin 전기전산학과 (박사)
- 1990년 3월~1995년 : (주)신도리코
- 1995년~1996년 : 신호처리연구센터
- 2000년~2001년 : post doctoral fellow, University of Texas at Austin
- 2001년 9월~2005년 2월 : 삼성중합기술원 Communication & Net. Lab.
- 2005년 3월~현재 : 인하대학교 조교수
- 주관심분야 : cognitive radio, 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM, cross layer 설계



김 재 명

- 1974년 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1981년 : 미국 남가주대학교(USC) 전기공학과 졸업(공학석사)
- 1987년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1974년 3월~1979년 6월 : 한국과학기술연구소, 한국통신기술연구소 근무
- 1982년 9월~2003년 3월 : 한국전자통신연구원 위성통신연구단 단장/무선방송연구소 소장 역임
- 현재 : 통신위성우주산업연구회 회장, 한국방송공학회 부회장 외 정부 및 다수 기업에 기술자문 등으로 활동 중
- 주관심분야 : 광대역 무선전송, 이동통신 및 위성통신, 디지털방송 분야