

VHF/UHF 주파수 대역을 위한 AWBN(Adaptive Wireless Broadband Network) 시스템 개발

□ 황성호, 이정석, 김기홍, 민준기, 박용운 / 삼성전기

요약

다양한 무선 통신 서비스의 등장으로 주파수 자원의 수요가 급증하여 스펙트럼 이용 효율을 극대화하기 위한 새로운 기술 개발의 필요성이 대두되고 있으며, 이에 대한 기술로 Cognitive Radio (CR) 기술이 주목받고 있다. CR 기술은 선택된 주파수 대역에 최적의 QoS를 제공하기 위해서는 먼저 주파수 환경에 적응성을 갖는 스펙트럼 센싱 (Spectrum sensing) 기술이 필요하며, CR 기술이 적용된 무선 브로드밴드 네트워크 (AWBN : Adaptive Wireless Broadband Network) 모듈은 최근 각광 받고 있는 방통융합 솔루션의 Hot Issue인 QoS 보장 홈네트워크 기반의 멀티미디어 전송(TV Portal Service)용 네트워크에 최적화된 솔루션으로 활용될 것으로 기대하고 있을 뿐만 아니라, IEEE 802.22 그룹에서 연구되고 있는 비어있는 TV 대역 및 마이크로폰 대역에 활용될 뿐만 아니라, 기존의 Mobile Wimax에 의한 브로드밴드 네트워크에도 활용 가능하다. 본 고에서는 IEEE 802.22/16d 시스템 규격에 의해 개발된 AWBN 시스템 개발 내용을 기술한다.

1. 서론

다가올 미래의 주파수 환경은 다양한 형태의 무선 통신 서비스의 등장으로 인해 주파수 자원의 수요가 급증하여 주파수 부족으로 인한 기존 주파수 대역의 활용성을 극대화하기 위한 새로운 기술 개발이 필요할 것이다.

현재까지는 각 통신 서비스마다 별도의 주파수 대역을 통신 사업자에게 할당하고, 해당 주파수 대역을 사업자가 독점적으로 사용하는 고정형 주파수 할당 방식으로 주파수를 관리하였으나, 최근 통신 서비스의 종류가 다양해지면서 새로운 서비스를 제공하기 위해 주파수 수요가 대폭 늘어나 한정된 주파수 자원의 이용 효율에 관한 문제점이 부각되고 있어 세계 대부분의 국가에서는 이에 대한 대비책

※ 본 고에 기술한 내용은 산업자원부가 시행하는 부품소재기술개발사업으로 수행한 기술개발과제의 내용입니다.

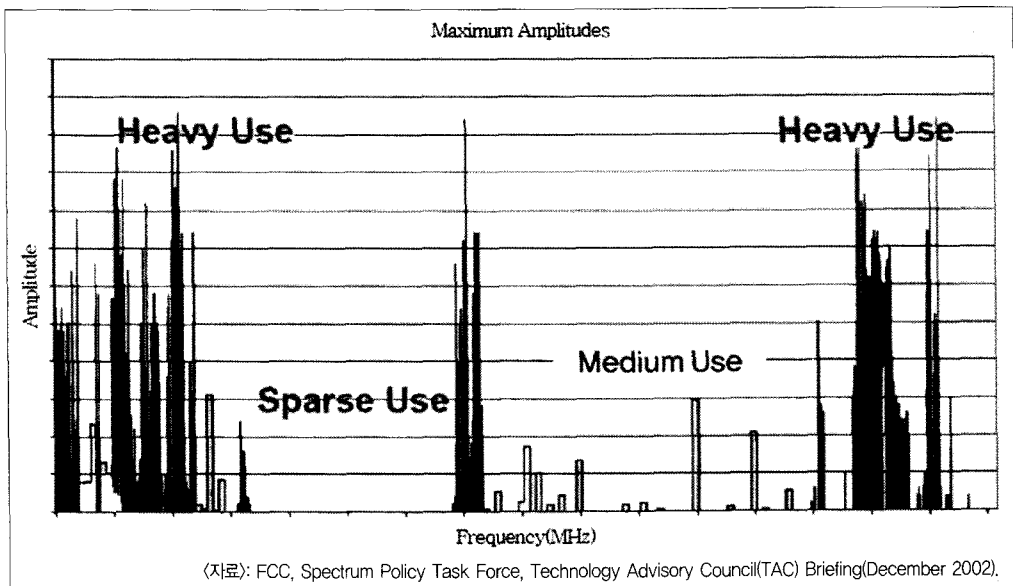
마련에 노력 중이다. 이러한 미래 주파수 환경에 대한 문제 인식으로 이미 통신 선진 국가에서는 국가적인 차원에서 연구 개발에 투자하고 있으며, 무선 자원의 한계성을 해결하기 위해 관심을 받고 있는 기술이 CR (Cognitive Radio) 기술이다. 다시 말하면, 기존 고정형 주파수 할당 정책이 아닌 개방형 주파수 할당이라는 새로운 주파수 관리 정책에 기반하는 주파수 공유 개념의 기술로서 장소나 시간에 따라 할당된 주파수 대역이 사용되지 않는 경우가 발생하면 다른 사용자가 사용하게 함으로서 결과적으로 주파수 이용 효율을 높일 수 있는 기술이라 말할 수 있다.

CR 기술의 기본 개념은 주변 무선 주파수 환경에 관한 다양한 정보를 인지하여 이미 다른 용도로 할당된 스펙트럼이 유휴 상태에 있음을 감지할 경우, 해당 스펙트럼의 기존 주파수 우선 사용자 (1차 사용자 : Incumbent User)의 우선권을 보장하면서

유휴 상태 대역을 CR 사용자 (다른 WRAN 시스템 사용자)가 비주기적으로 해당 주파수를 일시적으로 사용할 수 있도록 하여 주파수 이용 효율을 높이는 것이다. 이러한 CR 시스템에서는 구체적으로 스펙트럼 센싱 (Spectrum sensing) 기법을 이용하는 능동적인 유휴 채널 검출 및 신호 인지 과정을 기반으로 하며, 특정 시점에서의 주파수 채널 특성에 따라 선택적으로 통신 채널을 결정하여 데이터를 전송하는 방법이다[3-5].

실제로 미국의 FCC에서 주파수 자원의 이용 효율에 대한 측정 결과를 보면 이용 효율이 평균적으로 80% 이하로 나타나고 있으며, 이에 표준화의 필요성에 의해 FCC는 2003년 12월에 Cognitive Smart Radio에 대한 입법 예고와 함께 2004년 11월에 IEEE 802.22 WG이 결성되었다.

IEEE 802.22 WG에서는 54-862 MHz VHF/UHF TV 대역에서 CR 기술을 기반으로 하



(그림 1) 주파수 이용현황 측정 자료

여, 광대역 무선 인터넷 서비스(AWBN : Adaptive Wireless Broadband Network)를 제공하기 위해 IEEE 802.22 WRAN 시스템 표준화 작업을 시작하였으며, 2005년 7월에 FRD(Functional Requirement Document) 작성을 완료하였다. 또한, 2005년 11월 IEEE 802.22 회의에서는 WRAN 시스템 구현을 위한 FRD를 바탕으로 WRAN 시스템을 위한 PHY 및 MAC 계층 규격에 대한 제출된 표준 후보안들 중 단일안 작성을 위한 회의를 진행하였다. 이로 인해 2006년 5월 표준안 1차 초안을 작성한데 이어 11월 표준 초안 투표를 실시하였으며, 이후 2007년에 기술 검증을 거쳐 2008년 1월경 표준 규격을 완료할 예정이다 [1-5]. 우리나라에서는 삼성전기와 ETRI가 표준 통합 안을 제출하는 등 CR 기술 표준을 주도하고 있으며, 특히 삼성전기는 미국의 조지아공대의 우수 기술과 인력을 활용, 차세대 무선 이동통신용 CR 핵심 칩을 연구 개발하는 등 기술선도 기업으로서 CR 기술 분야에서 선도적인 역할을 수행하고 있다.

현재까지 정의된 IEEE 802.22 표준 규격을 살펴보면 광대역 고정 무선 액세스 서비스와 시스템 구조는 IEEE 802.16 WMAN(Wireless Metropolitan Area Network)와 동일하기 때문에 기존 WMAN 규격에 실시간 주파수 스펙트럼 검출 관련 기술인 스펙트럼 센싱 (Spectrum Sensing) 기술과 동적 스펙트럼 관리 기술 등과 같은 스펙트럼 활용 기술이 추가적으로 요구된다. CR 기술은 WLAN, WPAN, 유비쿼터스 센서 네트워크등 다양한 무선 응용 기술에 적용될 수 있고 고정 및 이동 통신 서비스 등에도 적용할 수 있다 [1-5].

앞서 설명한 것처럼, 스펙트럼 이용효율을 극대화하기 위해 스펙트럼 인지 기술을 이용하여 선택된 주파수 대역에 최적의 QoS를 제공하기 위해서

는 먼저 주파수 환경에 적응성을 갖는 스펙트럼 센싱 기술이 필요하다. 특히, 스펙트럼 센싱 기술을 적용한 브로드밴드 네트워크 모듈은 최근 각광받고 있는 방통융합 솔루션의 Hot Issue인 QoS 보장 홈 네트워크 기반의 멀티미디어 전송(TV Portal Service)용 무선네트 전송에 최적화된 솔루션으로 활용될 예정이다. 본 고에서 기술하고자 하는 스펙트럼 센싱 기술은 IEEE 802.22 그룹에서 연구되고 있는 비어있는 TV 대역 및 마이크로폰 대역에 활용될 뿐만 아니라, 기존의 Mobile WiMax에 의한 브로드밴드 네트워크에도 활용 가능하다.

본 고에서는 IEEE 802.22 시스템 규격에 의해 개발된 AWBN 시스템 개발 내용을 기술하고자 하며, 개발한 AWBN 시스템은 Cognitive Radio 기술 기반의 Spectrum sensor 및 MAC 모듈을 포함한다. 먼저 2장에서는 AWBN 시스템 구조에 대해서 설명하고, 주파수 센싱을 위한 Spectrum sensor 시스템 구조 MAC 모듈의 설명을 3장에서 기술한다. 마지막으로 4장 맺음말에선 향후 개발되어야 할 관련 이슈들에 대한 논의를 한다.

II. AWBN (Adaptive Wireless Broadband Network) 시스템 구조

앞서 기술한대로 AWBN 시스템은 넓은 방송 주파수 대역내의 스펙트럼을 검색하고, 검색한 정보를 이용하여 사용자에게 개인의 통신 요구 사항을 만족시키는 것을 목적으로 한다. 통신 단말기 혹은 네트워크가 지능화되어 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 상황을 정확히 인지하여 사용자의 요구 및 주파수 상황에 적합하도록 주어진 무선 자원을 최적으로 활용하는 제반 기술을 의미한다. 이를 위

해선 무선 주파수 대역을 검색할 수 있는 스펙트럼 센싱(Spectrum sensing) 기술이 필수적이다. 이를 위해 그림 2에 나타난 것처럼 기존 무선 시스템에 스펙트럼 센싱을 위한 스펙트럼 센서(Spectrum Sensor) 블록, 스펙트럼 센서의 결과에 의해 채널 대역폭의 가변, 가변된 채널 대역폭에 따른 FFT/IFFT 크기 변경, 변·복조방식 및 전송속도를 변화시키며, 동시에 다중접속 등을 수행하는 적응형(Adaptive) 모뎀 블록과 54~862MHz VHF/UHF TV 방송대역 신호를 수신하는 기존의 튜너(Tuner) 기능을 수행하지만 가변되는 채널 대역폭에 따라 원하는 신호를 수신할 수 있는 수신기(Receiver) 및 가변되는 채널 대역폭에 따라 낮은 주파수 대역에서 높은 주파수 대역까지 선형 특성을 유지하고 최대 전력 4W로 데이터를 송신할 수 있는 송신기(Transmitter)로 이루어진 트랜시버(Transceiver) 블록으로 구성된다.

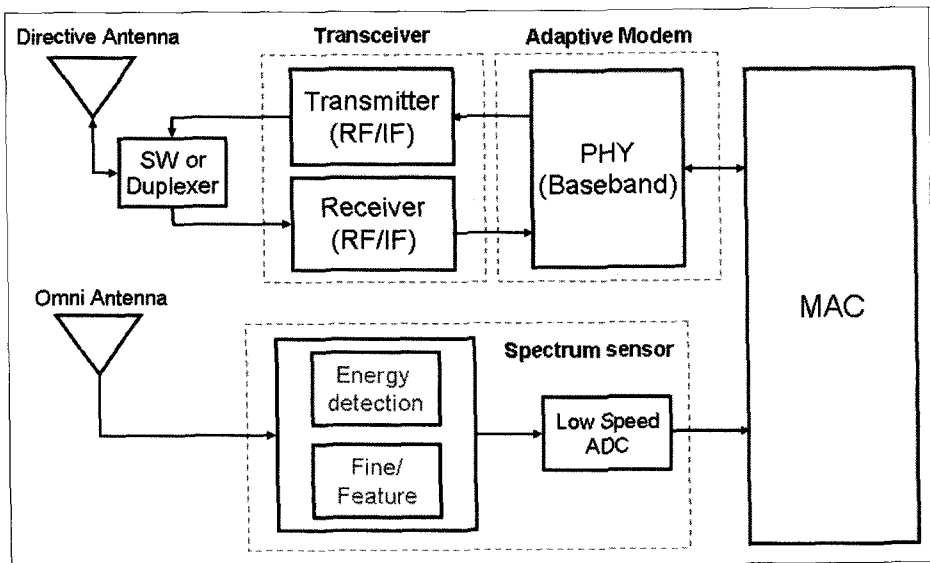
또한 MAC (Medium Access Control) 블록은 IEEE 802.16 MAC 규격을 기반으로 전송 파라미터의 최적화, 채널 관리(Management), 간섭 회피, 자원 관리 등 효율적으로 주파수 자원을 관리 수행한다.

III. VHF/UHF 대역용 Spectrum sensing 관련 모듈

본 고에서는 AWBN 시스템 모듈 중 CR 기술을 위한 Spectrum sensor 모듈과 Spectrum sensing MAC 모듈에 대한 내용을 기술한다.

1. VHF/UHF 대역 Spectrum sensor

본 고에서 기술할 스펙트럼 센서는 TV 방송대역



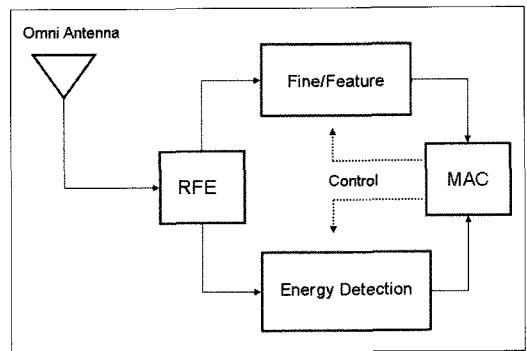
〈그림 2〉 AWBN 시스템 모듈 블록도

인 VHF/UHF 대역에서 채널 상태를 측정하고자 수신신호의 세기를 검출하는 Received Signal Strength Indicator(RSSI) 또는 광대역 신호 에너지를 검출하는 Multi-Resolution Spectrum Sensing(MRSS)으로 이루어진 에너지 검출(Energy detection) 블록과 수신된 신호의 특성 확인 및 저전력 신호의 검출을 위한 Fine/Feature 블록으로 구성되어 있다.

주파수 스펙트럼을 검출하는 스펙트럼 센서는 교외 지역까지 초고속 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해 허가(Licensed) 주파수 대역인 54~862 MHz TV 방송대역에서 기존 주파수 우선 사용자의 이용 현황을 감지하고 간섭을 일으키지 않고 사용하는데 유연한 기능을 보장할 수 있으며, 비허가(Unlicensed) 주파수 대역인 ISM 대역, UNII 대역 등에서 미사용 주파수를 검출하여 상황에 따라 채널을 신속하게 변경하며 사용할 수 있는 핵심적인 요소 기술이다.

미사용 주파수 현황과 관련하여 할당된 주파수 대역에 구애받지 않고 언제 어디서나 자유롭게 무선 채널을 선택하여 초고속 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 주파수 스펙트럼 검출 기능이 포함된 전파환경 및 사용자 요구에 맞는 자동 무선 채널 접속, 서비스 변화에 따른 유연성(Flexible), 채널 상황에 변복조 방식을 지원하는 적응성을 갖춘 무선 브로드밴드 시스템을 구현할 수 있다. 본 고에 기술한 AWBN 시스템은 WLAN, WPAN, 유비쿼터스 센서 네트워크, Ad-hoc 네트워크, Wireless Earset 등 다양한 무선응용 기술에 적용되고 고정 및 이동통신 서비스에 이용할 수 있다. 그림 2의 AWBN 시스템의 스펙트럼 센서 블록에서 스펙트럼 센싱 관련 부분인 스펙트럼 센서 블록을 그림 3에 나타냈다. 그림 3에서 스펙트럼 센서는 광대역

RF 에너지를 수신하는 광대역 안테나, 수신된 신호를 하향 변환하는 RF Front-End (RFE), 비어 있는 채널을 결정하기 위한 에너지 검출 (Energy Detection) 및 수신된 신호의 특성을 확인하고 저전력 신호를 검출하기 위한 Fine/Feature detection 으로 이루어진다.



〈그림 3〉 스펙트럼 센서 (Spectrum sensor) 블록도

스펙트럼 센서의 에너지 검출은 RSSI 또는 MRSS로 구성하여 RF 에너지를 검출하고 다수의 비어 있는 채널을 선택한다. 이를 위해 빠른 시간 내에 54~862 MHz TV 방송대역에 존재하는 에너지를 검출하고 검출된 에너지 레벨을 미리 결정된 레벨 (Threshold)과 비교하여 결정된 레벨 이하인 경우 비어 있는 채널을 선정한다. 선정된 결과를 MAC에 전송하여 통신 가능한 채널로 선택한다.

1) 비정밀 검출 모듈

비정밀 검출 모듈은 다중 해상도 스펙트럼 검출 (Multi-Resolution Spectrum Sensing: MRSS)로 알려진 다중 해상도 검출 특성을 제공하는데 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 사용할 수 있다. 비정밀 검출 모듈을 이용한 MRSS의 사용은 하드웨어의 부담을 증가시키지 않고 유연한 검출 해상도

를 가능하게 한다.

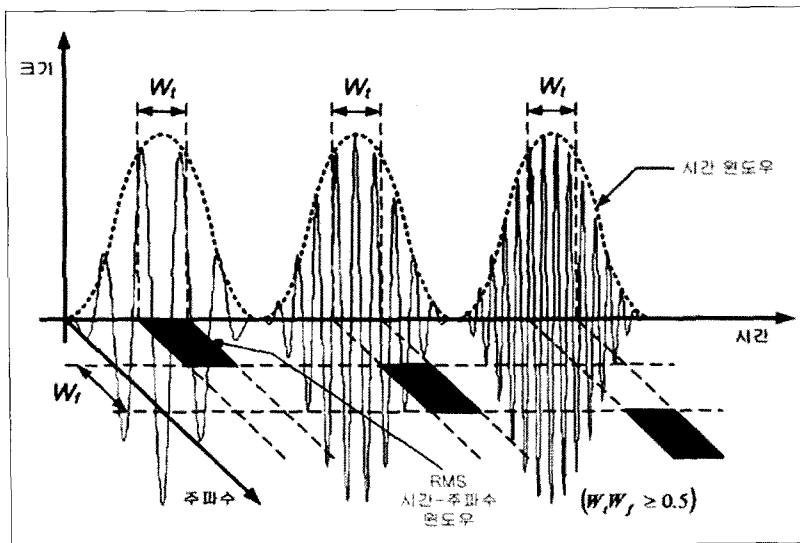
MRSS와 함께, 웨이블릿 변환은 시변동 신호(time-variant signal)와 웨이블릿 변환에 대한 베이스(basis)(예를 들어, 웨이블릿 펄스)로서 적용되는 함수 사이의 상관관계(correlation)를 결정하기 위해 주어진 시변동 신호에 적용될 수 있으며, 이렇게 결정된 상관관계는 웨이블릿 변환 계수로 알려져 있다. MRSS와 함께 사용된 웨이블릿 변환에 대한 베이스로 적용된 웨이블릿 펄스는, MAC 모듈을 통해 변경되거나 설정될 수 있다. 특히, 웨이블릿 변환에 대한 웨이블릿 펄스는 대역폭, 캐리어 주파수, 주기가 변동될 수 있다. 웨이블릿 펄스의 폭, 캐리어 주파수, 주기의 변동에 의해 주어진 신호에 대한 웨이블릿 변환 계수를 통해 제공되는 스펙트럼 정보는 가변(scalable) 해상도 또는 다중 해상도로 표현될 수 있다. 예를 들어, 소정 시간간격 동안 유지한 후 웨이블릿 펄스폭 및 또는 캐리어 주파수를 변동함으로써, 웨이블릿 변환 계수는 시변동 신

호의 스펙트럼 정보의 분석을 제공할 수 있다.

① 웨이블릿 펄스 선택

MRSS에서 사용되기 위한 웨이블릿 펄스 및 특히 웨이블릿 펄스의 폭과 캐리어 주파수의 적절한 선택에 대해 더욱 상세하게 설명될 것이다. 그림 2-1은 적절한 웨이블릿 펄스를 선택할 때 고려될 수 있는 웨이블릿 펄스폭(W_t)과 웨이블릿 펄스 주파수(W_f)의 상충관계(tradeoff)를 도시한다. 즉, 웨이블릿 펄스폭이 증가함에 따라 웨이블릿 펄스 주파수는 일반적으로 감소한다. 그림 4에 도시된 바와 같이, 웨이블릿 펄스폭은 웨이블릿 펄스 주파수와 반비례할 수 있다.

불확실성 부등식(uncertainty inequality)이 웨이블릿 펄스폭(W_t)과 해상도 주파수(W_f)의 선택에 적용될 수 있다. 일반적으로 불확실성 부등식은 웨이블릿 펄스의 특정 형식에 대한 웨이블릿 펄스폭(W_t)과 해상도 대역폭(W_f)의 범위(bound)를 제공한



<그림 4> 웨이블릿 펄스폭 및 웨이블릿 펄스 주파수 사이의 상충관계

다. 불확실성 부등식은 웨이블릿 펄스폭(W_t)와 해상도 대역폭(W_f)의 곱이 0.5보다 크거나 동일한 경우(즉, $W_t \cdot W_f \geq 0.5$)에 사용될 수 있다. 웨이블릿 펄스가 가우시안 웨이블릿 펄스(Gaussian wavelet pulse)인 경우에 등호가 성립할 수 있다. 따라서 가우시안 웨이블릿 펄스에 대해, 웨이블릿 펄스폭(W_t)과 해상도 주파수(W_f)는 불확실성 부등식에 따라 그 곱이 0.5가 되도록 웨이블릿 변환에 사용되는데 선택될 수 있다.

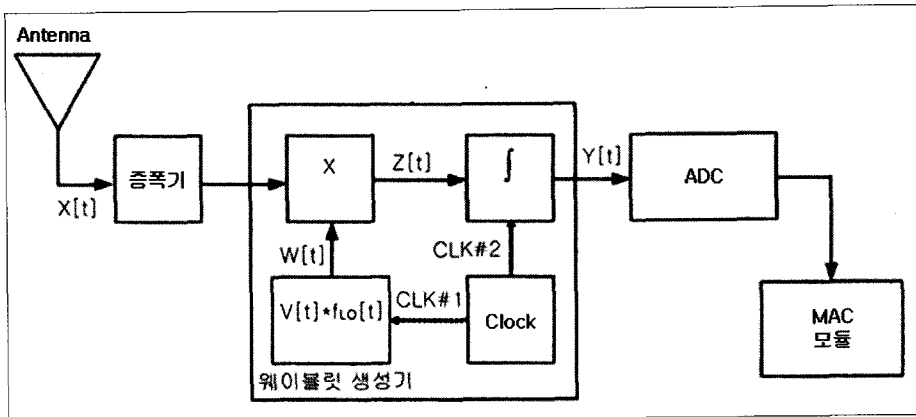
본 실시형태에서는 가우시안 웨이블릿 펄스에 대해 설명하고 있으나, Hanning, Harr, Reverse Bior, Meyer, DMeyer, Maxican hat, Morlet, Complex Gaussian, Shannon, Frequency B-Spline 및 Complex Morlet 웨이블릿 패밀리를 포함하는 다른 형태의 웨이블릿 펄스가 사용될 수 있다.

② MRSS 실행을 위한 블록도

그림 5는 비정밀 검출 모듈을 포함하는 다중 해상도 스펙트럼 검출 실행의 일례에 대한 블록도를 도시한다. 특히, 비정밀 검출 모듈은 안테나로부터 시

변동(time-variant) RF 입력 신호($x(t)$)를 수신할 수 있다. 이 RF 입력 신호($x(t)$)는 비정밀 검출 모듈에 제공되기 이전에 증폭기에 의해 증폭될 수 있다. 예를 들어, 증폭기는 넓은 주파수 범위에 대해 일정한 이득을 제공하도록 동작하는 드라이버 증폭기(driver amplifier)일 수 있다. 그림 5의 비정밀 검출 모듈을 참조하면, 비정밀 검출 모듈은 아날로그 웨이블릿 파형 생성기, 아날로그 승산기, 아날로그 적분기 및 타이밍 클럭을 포함할 수 있다. 타이밍 클럭은 웨이블릿 생성기 및 아날로그 적분기에 의해 사용되는 타이밍 신호를 제공한다. 아날로그 상관값(analog correlation value)이 아날로그 적분기의 출력에서 제공되며, 차례로 아날로그-디지털 변환기(ADC)로 제공된다. 아날로그-디지털 변환기는 저속 아날로그-디지털 변환기일 수 있다. 아날로그-디지털 변환기에서 출력되는 디지털화된 상관값은 매체 접근 제어(MAC) 모듈로 제공될 수 있다.

비정밀 검출 모듈의 웨이블릿 생성기는 일련의 변조 웨이블릿 펄스(a chain of modulated wavelet pulse)($w(t)$)를 생성하기 위해 변조되는 일련의 웨이블릿 펄스($v(t)$)를 생성하도록 동작할 수



(그림 5) 제안된 다중 해상도 스펙트럼 검출의 Block diagram

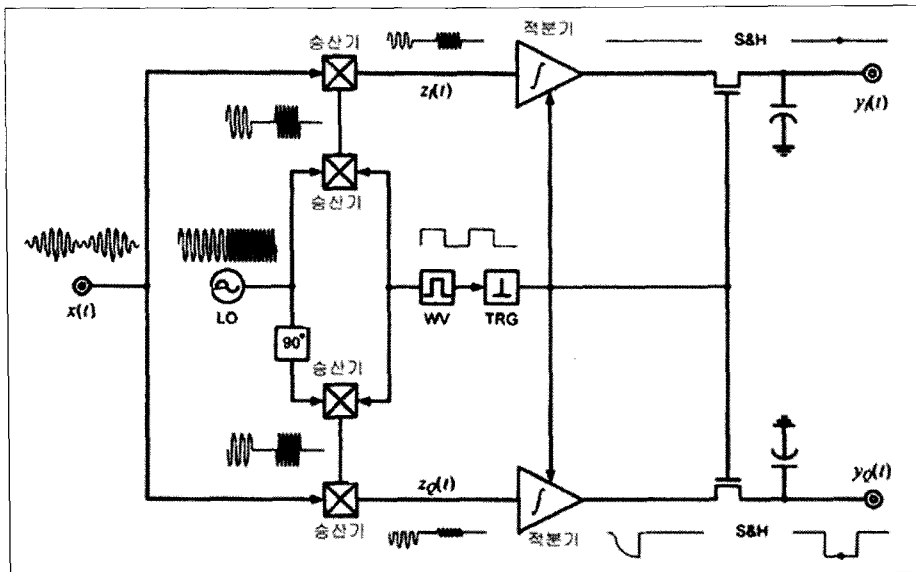
있다. 예를 들어, 일련의 웨이블릿 펄스($v(t)$)는 소정의 국부 발진 주파수를 갖는 I 및 Q 사인 캐리어(I/Q sinusoidal carrier: $f_{LO}(t)$)를 이용하여 변조될 수 있다. I 및 Q 사인 캐리어를 이용할 경우 I 성분 신호와 Q 성분 신호는 크기가 동일하고 위상이 90도 차이가 난다. 웨이블릿 생성기에 의한 일련의 변조 웨이블릿 펄스($w(t)$) 출력은 아날로그 적분기로 입력되는 아날로그 상관 출력 신호($z(t)$)를 생성하기 위해 아날로그 승산기에 의해 시변동 입력 신호($x(t)$)와 승산되거나 결합된다. 아날로그 적분기는 아날로그 상관값($y(t)$)을 결정하고 출력한다. 아날로그 적분기에서 출력되는 아날로그 상관값($y(t)$)은 전술한 펄스폭 및 해상도 대역폭에 기초한 소정 스펙트럼 폭을 갖는 웨이블릿 펄스($v(t)$)와 관련된다. 다시 그림 5의 비정밀 검출 모듈을 참조하면, 웨이블릿 펄스는 변조 웨이블릿 펄스($w(t)$)를 생성하기 위해 I 및 Q 사인 캐리어를 이용하여 변조된다. 이어 I

및 Q 사인 캐리어의 국부발진 주파수는 제거되거나 조정될 수 있다. I 및 Q 사인 캐리어를 제거함으로써 시변동 입력 신호($x(t)$) 내에서의 파워 크기 및 주파수 값이 스펙트럼 범위, 특히 가변 해상도 (scalable resolution)를 제공하는 관심 스펙트럼 범위에서의 아날로그 상관값($y(t)$) 내에서 검출될 수 있다.

③ 비정밀 검출 블록의 회로도

비정밀 검출 모듈을 위한 회로도가 그림 6에 도시되었다. 그림 6에서처럼 웨이블릿 생성기, 승산기 및 적분기를 도시한다. 웨이블릿 생성기는 웨이블릿 펄스 생성기, 국부 발진기(LO), 위상 변위기 및 승산기를 포함한다.

웨이블릿 펄스 생성기는 웨이블릿 펄스($v(t)$)의 폭과 형상을 결정하는 포락선 신호(envelope signal)를 제공한다. 승산기를 이용하여, I 성분 변조 웨이



〈그림 6〉 비정밀 검출 모듈의 회로도

블릿 펄스(w(t))를 생성하기 위해 국부 발진기에 의해 제공되는 국부 발진 주파수의 I 성분과 웨이블릿 펄스(v(t))가 승산된다. 유사하게 승산기를 이용하여, Q 성분 변조 웨이블릿 펄스(w(t))를 생성하기 위해 위상 변위기에 의해 90° 변위된 국부 발진 주파수의 Q 성분과 웨이블릿 펄스(v(t))가 승산된다. 변조 웨이블릿 펄스(w(t))의 I 성분 및 Q 성분은 각각의 상관 출력 신호(zI(t), zQ(t))를 생성하기 위해 승산기에 의해 각각 승산된다. 이어, 상관 출력 신호(zI(t), zQ(t))는, 각각의 상관값(yI(t), yQ(t))을 생성하기 위해 적분기에 의해 각각 적분된다.

④ 비정밀 검출 블록 구현

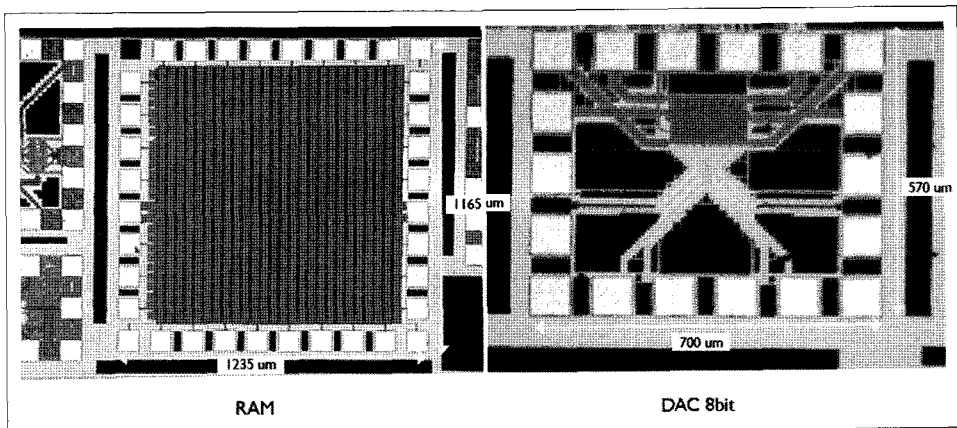
비정밀 검출 모듈의 구현은 그림 7에 회로도에서 도시된 변조 웨이블릿 펄스 w(t) 생성기가 핵심 기술로서 RAM에 저장된 wavelet파라미터를 DAC를 통하여 실시간 생성하여 수신된 신호와 correlation 시킴으로서 이루어진다. 따라서 비정밀 검출기(MRSS)의 구현은 correlation 함수를 구현하기 위한 Multiplier 및 Integrator와 웨이블릿 펄스 생성을 위한 Multipoint Digital Wavelet Generator

(MT-DWG)의 구현으로 이루어진다. 본 고에서 구현된 각 기능 블록은 TSMC 180nm 공정을 이용하였다.

2) 정밀 검출 모듈

정밀 검출 모듈은 예측되는 변조 포맷 또는 프레임 구조에 따라 고유한 입력 신호의 주기적 특성을 인식하도록 동작할 수 있다. 이 주기적 특성은, 사인 캐리어, 주기적 펄스 트레인, 주기적 프리픽스(cyclic prefix) 및 프리앰블 등으로 구성되어 있다. 정밀검출 모듈은 입력 신호의 이러한 주기적 특성을 인식하기 위하여나 또는 그 이상의 상관 함수를 실행할 수 있으며, 인식된 입력 신호는, IS-95, WCDMA, EDGE, GSM, Wi-Fi, Wi-MAX, Zigbee, Bluetooth, 디지털 TV(ATSC, DVB) 등을 포함하는 다양한 최근의 무선 표준에서 적용되는 다양한 정밀 신호 포맷을 포함할 수 있다.

정밀 검출 모듈에서 실행되는 상관함수는 아날로그 자동 상관(AAC) 함수일 수 있다. AAC 함수는 두 신호의 상관 크기를 도출할 수 있다. 즉, 동일함 파형 사이의 상관은 최대값을 생성한다. 그러나 근본



〈그림 7〉 Multipoint Digital Wavelet Generator(MT-DWG) 기본 블록

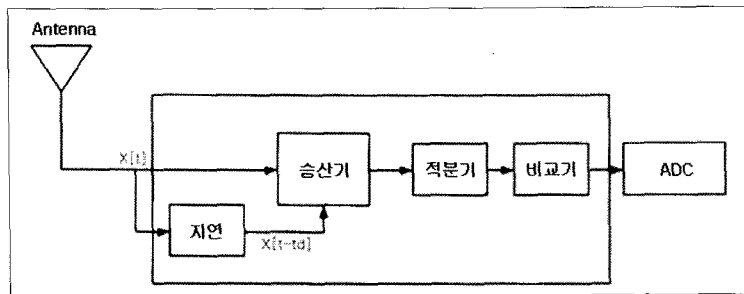
적인 원 데이터가 무작위 값을 가지므로 데이터 변조된 파형은 무작위의 특성을 갖기 때문에, 주기적 신호 파형 및 데이터 변조 신호 파형 사이의 상관은 무시될 수 있다. 대신, 주어진 신호의 주기적 특성은 특정 신호 형식에 대한 표시로서 AAC 함수에 의해 사용될 수 있는 높은 상관을 갖는다. 정밀 검출 모듈에서 AAC 함수에 의해 식별되는 특정 신호 형식은 간섭 효과를 경감하기 위해 신호 처리 모듈로 제공될 수 있다.

① AAC 실행의 블록도

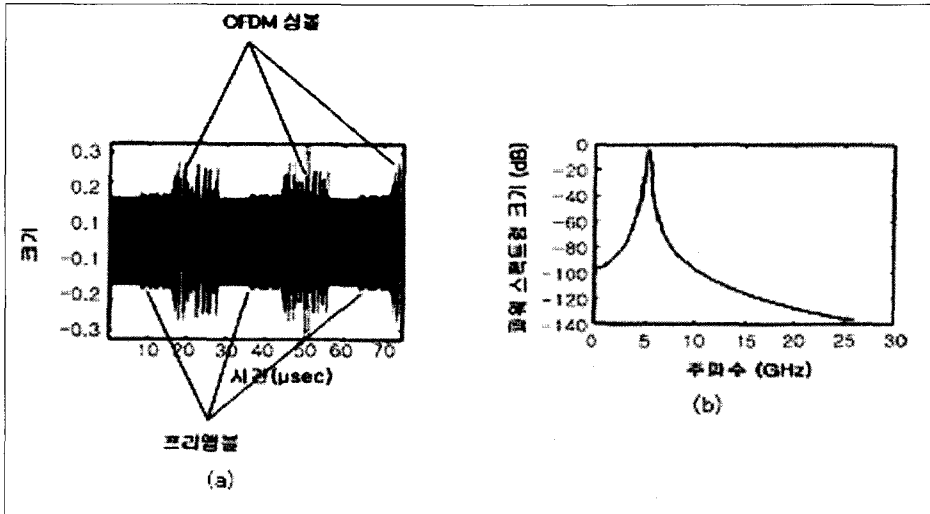
그림 8은 AAC 함수를 이용한 정밀 검출의 기능적 블록도이다. 특히, 정밀 검출 모듈은 아날로그 지연 모듈, 아날로그 승산기, 아날로그 적분기 및 비교기를 포함한다. 정밀 검출 모듈의 출력에서 제공되는 아날로그 상관값은 아날로그-디지털 변환기에 의해 디지털화 될 수 있다. 안테나로부터의 입력 RF 신호($x(t)$)는 아날로그 지연 모듈에 의해 소정 지연값(T_d) 만큼 지연된다. 아날로그 지연 블록에 의해 제공되는 지연값(T_d)는 기설정 될 수 있으며, 각 주기적 신호 포맷에 대해 고유한 것일 수 있다. 예를 들어, IEEE802.11a-WLAN(OFDM) 신호는 제 1 지연값(T_{d1})과 연관될 수 있고, 3G-셀룰러(WCDMA) 신호는 제 1 지연값(T_{d1}) 과 다른 제 2 지연값(T_{d2})

와 연관된다.

원 입력 신호($x(t)$)와 그에 대한 지연 신호($x(t-T_d)$) 사이의 아날로그 상관은 상관 신호를 생성하기 위해 아날로그 승산기를 이용하여 두 신호-원 입력 신호($x(t)$)와 그에 대한 지연 신호($x(t-T_d)$)를 승산하거나 결합함으로써 수행될 수 있다. 그리고 상관 신호는 상관값을 생성하기 위해 아날로그 적분기를 이용하여 적분되며, 아날로그 적분기는 슬라이딩-윈도우 적분기(sliding-window integrator)일 수 있다. 적분기로 부터의 상관값이 소정의 임계값보다 더 큰 것으로 비교기에 의해 결정되면 원 입력 신호에 대한 특정 신호 형식이 MAC 모듈의 스펙트럼 인식 모듈에 의해 식별된다. 이러한 신호 형식은 IS-95,WCDMA, EDGE, GSM, Wi-Fi, Wi-MAX, Zigbee, Bluetooth, 디지털 TV(ATSC, DVB) 등을 포함할 수 있다. 그림 9에 도시된 AAC 실행의 일례는 아날로그 영역에서 모든 신호를 처리하므로, 실시간 작동뿐만 아니라 낮은 파워 소모를 가능하게 할 수 있다. 지연(T_d) 및 그에 따른 입력신호의 상관을 적용함으로써, 임의의 알려진 기준 신호를 필요로 하지 않으면서 블라인드 검출(blind detection)이 가능하다. 이러한 블라인드 검출은, 기준 신호 복구를 위한 하드웨어 부담 및 또는 파워 소모를 현저하게 감소시킬 수 있다. 그림 9의 AAC 실행은



(그림 8) AAC 기능을 이용한 정밀 검출 기법의 블록도



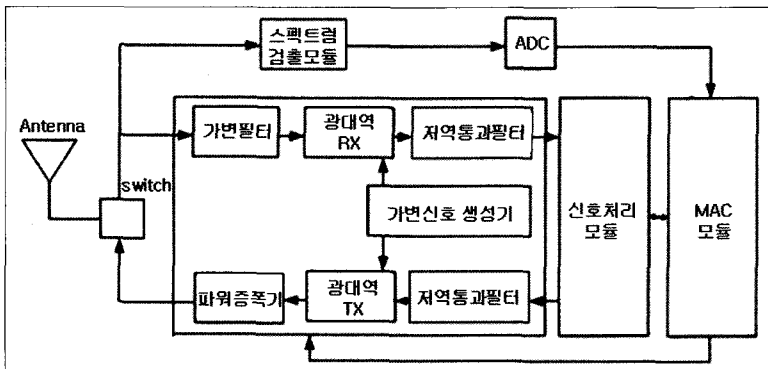
〈그림 9〉 (a) 프리앰블이 따르는 데이터 OFDM 신호 (b) AAC 실시에 의해 검출된 입력 IEEE802.11a 신호의 스펙트럼 실행 예

전술한 MRSS와 결합하여 제공될 때 스펙트럼 검출 성능을 향상시킬 수 있다. 특히, MRSS 실행이 의심 (suspicious) 간섭 신호의 수신을 검출하면, AAC 실행은 신호를 검사하고 그 표시에 기초하여 특정 신호 형식을 식별하게 된다.

② 신호 처리 블록

신호 처리 모듈은 하나 또는 그 이상의 변조 및 복

조를 포함하는 기저대역 처리를 제공할 수 있다. 또한, 신호 처리 모듈은 임의의 식별된 간섭자 신호에 기초하여 간섭 경감을 제공할 수 있으며 이용 가능한 스펙트럼의 적어도 일부에 기초하여 송신기 및 수신기를 포함하는 무선 프론트엔드를 재설정하도록 동작할 수 있다. 예를 들어, 신호 처리 블록은 송신기에 대한 전송 파워 제어를 조정할 수 있으며 특정 주파수 범위 내에서 동작하도록 수신기에 대한



〈그림 10〉 주파수 반응 RF Front-end의 구조

필터를 튜닝 할 수 있다.

③ 주파수 반응(frequency-agile) 무선 프론트 엔드

그림 10은 주파수 반응 무선 프론트엔드에 대한 구조이다. 특히, 무선 프론트엔드의 수신부는 하나 또는 그 이상의 가변 필터(tunable filter), 광대역 수신기 및 하나 또는 그이상의 저역 통과 필터 등을 포함하고 있으며 가변 필터는 웨이블릿 생성기 및 송신기를 포함할 수 있다.

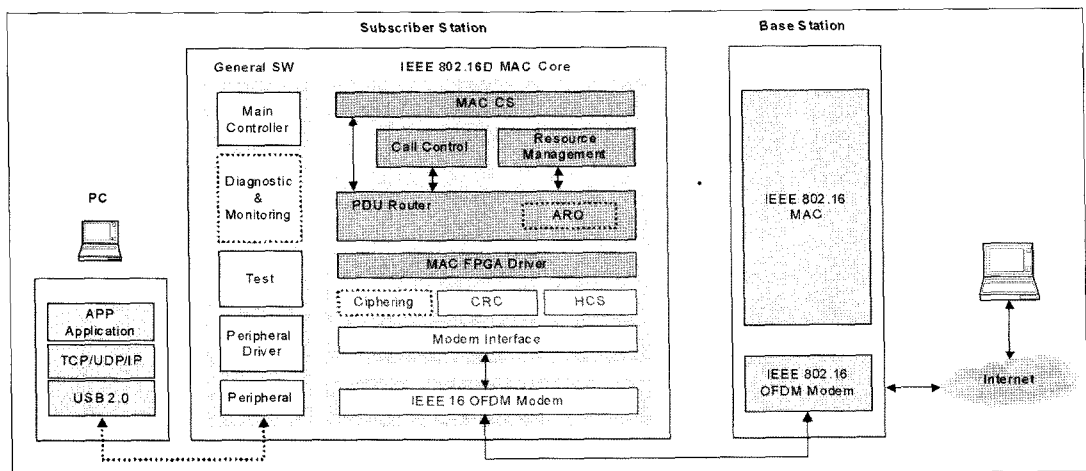
광대역 수신기는 주파수단(frequency stage) 및 필요에 따라 하나 또는 그 이상의 하향 변환기(down-converter)를 포함하게 된다. 무선 프론트엔드의 송신부는 하나 또는 그 이상의 저역 통과 필터, 파워(전력) 증폭기, 상향 변환기(up-converter)를 포함하며 광대역 수신기 및 광대역 송신기는 가변 신호 생성기(tunable signal generator)와 통신할 수 있다.

그림 10과 같이 MAC 모듈은 안전한 인지 무선 링크를 위해 이용 가능한 스펙트럼을 할당하기 위해 스펙트럼 검출 모듈로부터의 디지털화된 데이터

를 처리하며, 할당된 주파수에서 최적의 무선 링크를 위해 무선 프론트엔드로 재설정 제어 신호를 제공한다. 이어, 무선 프론트엔드는 주파수 반응 동작에 따라 동작 RF 주파수를 상응하는 주파수 값으로 변경한다. 가변 필터 및 가변 신호 생성기 중 하나 또는 둘 모두는 상응하는 주파수 영역 내에서 신호를 선택하기 위해 그 동작 주파수를 변경할 수 있다. 한편, MAC 모듈의 제어 정보에 기초하여, 물리 신호 처리 모듈은 적응형 변조 및 간섭 경감 기법을 이용하여 링크 성능을 향상시킬 수 있다.

2. Spectrum sensing MAC 모듈

본 기고문에 기술할 Spectrum sensing MAC 하드웨어 플랫폼은 IEEE 802.16d 표준에 기반하여 개발되었으며, 개발된 소프트웨어는 무선 전송 기술 방식인 OFDM 전송 방식을 지원하도록 설계되었다. 먼저, 본 절에서는 구현된 단말 MAC 소프트웨어의 일반 내용과 해당 소프트웨어의 개발 환경 및 동작 등과 같은 소프트웨어 개발 내용을 기술한다.



(그림 11) OFDM 단말 소프트웨어 구조

1) 소프트웨어 개발 환경 및 구조

구현된 MAC 소프트웨어의 전체 구조는 그림 11과 같으며, 원활한 MAC 동작을 수행하기 위해 CS (Convergence Sublayer) 모듈, 호 제어 (CC, Call Control) 모듈, 무선 자원 관리 모듈 (RM, Radio Resource Management), PDU 라우터 모듈, 모뎀 인터페이스 모듈, USB 모듈 그리고 시험관련 모듈로 정의한다. 구현된 각 모듈은 Linux OS의 thread 형태로 구현하였으며, thread 사이 통신은 큐를 통하여 이루어진다.

정의된 소프트웨어 모듈 가운데 호 제어 모듈은 패킷 응용을 활성화, 형상 변경 그리고 비활성화시키는 패킷 세션 처리 기능과 인증 및 암호화 같은 security 관련 처리 기능을 담당한다. 호 제어 모듈은 이들 기능을 수행하기 위하여 IEEE 802.22/16d에 정의된 패킷 세션 관리 및 security 관련 절차가 구현되었다. 패킷 세션을 활성화 과정에서 상향 또는 하향 링크 버스트와 같은 무선 자원은 무선 자원 관리 모듈에서 이루어지며 호 제어 모듈은 세션 자체에 대한 제어만을 수행한다.

① 블록별 상세 설계

본 절에서는 개발한 AWBN MAC 프로토콜의 각 기능 블록들에 대한 설계 내용에 대하여 정리한다.

가) 호 제어 블록 설계

호 제어 블록은 주요하게는 사용자의 AWBN 서비스의 접근의 적합성 여부를 확인하기 위한 인증, AWBN 도메인 내 단말의 등록 및 등록 해제 그리고 사용자 데이터 송수신을 위한 패킷 세션 관리 등의 기능을 수행한다. 이의 기능을 수행하기 위하여 호 제어 블록은 IEEE 802.22/16d MAC의 Dynamic 서비스 생성/변경/해제, 단말 등록 그리고 인증 및

암호화 관련 프로토콜 절차들이 구현된다.

호 제어 모듈의 동작은 주요하게는 다음의 세 가지로 구분된다. 첫째, 패킷 세션 관련 기능으로 단말과 기지국 사이에 패킷 응용의 트래픽을 주고받기 위한 연결 활성화, 비활성화 그리고 변경과 관련된 기능을 의미한다. 둘째 단말 등록 관련 기능으로 단말이 통신하기 위해서 단말이 속한 셀을 관리하는 기지국에 등록(Registration)을 하고, 더 이상 통신이 필요 없으면 해제(Deregistration)하는 기능을 의미한다. 셋째, security 관련 기능으로 현재 통신을 하려는 단말이 권한을 보유한 단말이라는 판단을 해주는 인증(Authentication) 기능과 단말과 기지국 사이에 주고받는 메시지의 기밀성(Confidentiality)을 위해 암호화와 복호화에 필요한 키 관리(Key Management) 기능을 의미한다.

무선 구간을 통하여 교환되는 데이터에 대한 구분은 사용되는 CID를 통하여 이루어지며, 각 단말에 할당되는 CID의 종류는 BCID (Basic CID), PrCID (Primary CID), ScCID (Secondary CID), TrCID (Transaction CID)가 있다. 호 제어 모듈에서는 언급된 4가지 CID 중에 PrCID(Primary CID)로 단말을 인식한다. 단말은 세션 활성화 과정에서 기지국으로부터 SFID (Service Flow ID) 및 TrCID (Transport CID)를 할당 받는다. 단말과 기지국 사이 무선 구간의 무선자원을 할당하기 위해서 MAC 제어 메시지를 통해서 QoS 파라미터를 주고받은 후에 기지국이 무선구간의 상향 링크 또는 하향 링크에 무선자원을 할당한다. 이 호 제어 모듈은 SFID(Service Flow ID)로 응용 서비스를 구별하고, 단말에서 활성화된 호 연결은 SFID(Service Flow ID)와 TrCID(Transport CID)를 자신의 매핑 테이블에 추가한다. 단말은 망에 연결해서 여러 종류의 응용 서비스를 받을 수 있고, 또 동시에 여러 개의

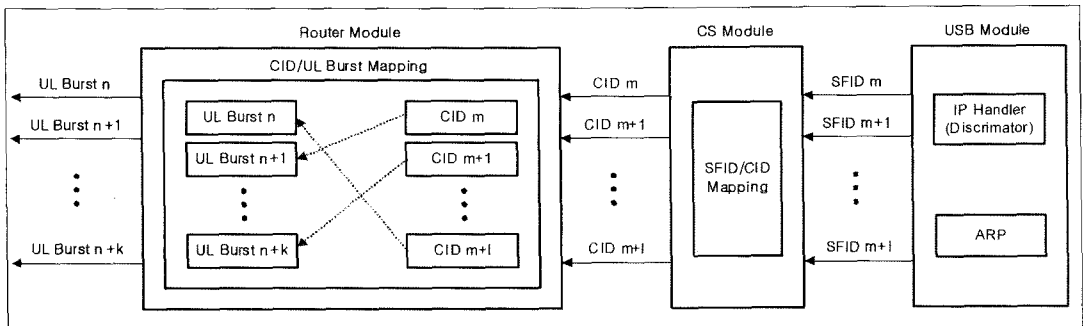
응용 서비스를 받을 수도 있다. 이런 응용 서비스를 시그널링 측면에서 호라고 부른다. 각각의 응용 서비스의 요구사항을 만족하기 위해서 단말과 기지국 사이의 무선구간에 필요한 자원의 양이 모두 다르다. 호 연결 후에 단말과 기지국 사이에서 주고받는 MAC PDU를 위해 상향 링크와 하향 링크의 무선자원인 버스트 할당은 PrCID (Primary CID)를 가지고 이루어진다. 호 제어 모듈은 각각의 응용 서비스를 만족하기 위해서 필요한 무선자원의 할당, 응용 서비스 종료 후 할당된 자원 해제, 응용 서비스의 변화로 무선자원의 수정을 MAC 제어 메시지를 통해서 기지국에 알려준다. 그림 12는 호 연결에서 SFID (Service Flow ID)와 TrCID(Transport CID) 맵핑 과정을 보여주고 있다.

호 제어 모듈은 보안(Security) 측면에서 인증(Authentication)과 키 관리(Key Management)가 필요하다. 먼저 인증이란 기지국이 관리하는 셀 내에 있는 단말이 적합한 단말임을 인정해주는 절차이다. 인증은 공인된 기관의 인증서(CA-Certification)와 그 기간에서 단말에게 발급해 준 인증서(SS-Certification)를 통해서 수행된다. 즉, 단말은 공인된 기간으로부터 자신의 인증서와 발급해준 기간의 인증서를 발급받은 후 그 두 가지 인증

서를 통해서 기지국에게 적합한 단말임을 알려준다. 두 번째, 인증된 단말과 기지국은 무선구간에서 데이터를 송수신 할 수 있다. 이 때 송수신되는 모든 데이터는 기밀성(Confidentiality)이 보장이 되어야만 한다. 기밀성을 보장하기 위해서 모든 데이터를 암호화할 때, 송수신되는 데이터인 MAC PDU에서 헤더(header)를 제외한 나머지 부분만 암호화한다. 이렇게 메시지의 기밀성을 위해서 데이터를 암호화할 때 항상 키가 필요하다. 키는 메시지를 송수신하는 단말과 기지국 외에는 어느 누구도 알지 못하도록 비밀스럽게 나누어 가져야만 한다. 그러기 위해서 키 또한 암호화해서 단말과 기지국이 나누어 가진다. 즉, 키 암호화를 위해서 필요한 키인 KEK (Key Encryption Key)와 실제 데이터 암호화에 필요한 키인 TEK(Traffic Encryption Key)가 필요하다.

나) 무선 자원 관리 블록 설계

무선 자원 관리 모듈은 호 제어 모듈 메시지 및 사용자 응용 데이터 교환을 위한 CID 관리 기능과 무선 자원 할당에 대한 처리 기능을 수행한다. 호 제어 모듈에서 발생한 메시지 송수신을 위해서는 단말은 basic 및 primary CID를 할당받아야 한다. 이는 초기 ranging에 의하여 이루어진다. 무선 자원 관리



(그림 12) PrCID (Primary CID)와 SFID (Service Flow ID)의 맵핑

모듈은 단말의 초기 전원 인가 후 시스템 선택 및 초기 ranging 절차 수행을 담당한다. 셀 내에서 사용될 수 있는 채널은 기지국에 의하여 관리된다. 기지국의 자원 할당(상향 및 하향 버스트)은 단말의 CID를 통하여 이루어진다. 단말에 대한 상향 및 하향 링크 버스트에 할당은 하향 링크 버스트 0를 통하여 방송되는 DCD, UCD, UL-MAP 및 DL-MAP 메시지들을 통하여 이루어진다. 무선 자원 관리 모듈은 무선 자원 할당 관련된 메시지들을 내용에 따라 모뎀을 제어한다.

다) 수렴 부계층 블록 설계

수렴 부계층(Convergence Sublayer) 모듈은 MAC 소프트웨어의 최상위에 위치하여, 사용자에게 패킷 서비스를 제공하기 위하여 USB 드라이버 모듈과 IP 데이터그램을 교환한다. 사용자에게 의하여 PC의 패킷 응용이 활성화가 요구되면 호 제어 블록은 기지국과 해당 패킷 세션에 대한 활성화 절차를 수행한다. 활성화 절차가 성공적으로 완료되는 경우 패킷 세션은 하나의 flow ID를 할당받게 된다. 수렴 부계층 블록은 flow ID를 통하여 패킷 세션을 구분한다.

상향 링크 데이터 전송에 있어 PC로부터 IP 데이터그램을 수신한 후 flow ID에 해당하는 송신 버퍼에 저장한다. 저장된 데이터의 무선 구간 전송은 라우터 모듈에 의하여 이루어진다. 하향 링크 데이터 수신에 있어 무선 구간을 통하여 수신된 MAC PDU들을 이용한 IP 데이터그램의 재조립은 라우터 모듈에 의하여 이루어진다. 라우터 모듈은 IP 데이터그램 즉, MAC SDU의 재조립이 완료되는 경우 이를 CS 모듈에 전송하여 PC에 수신한 데이터의 전송을 요구한다.

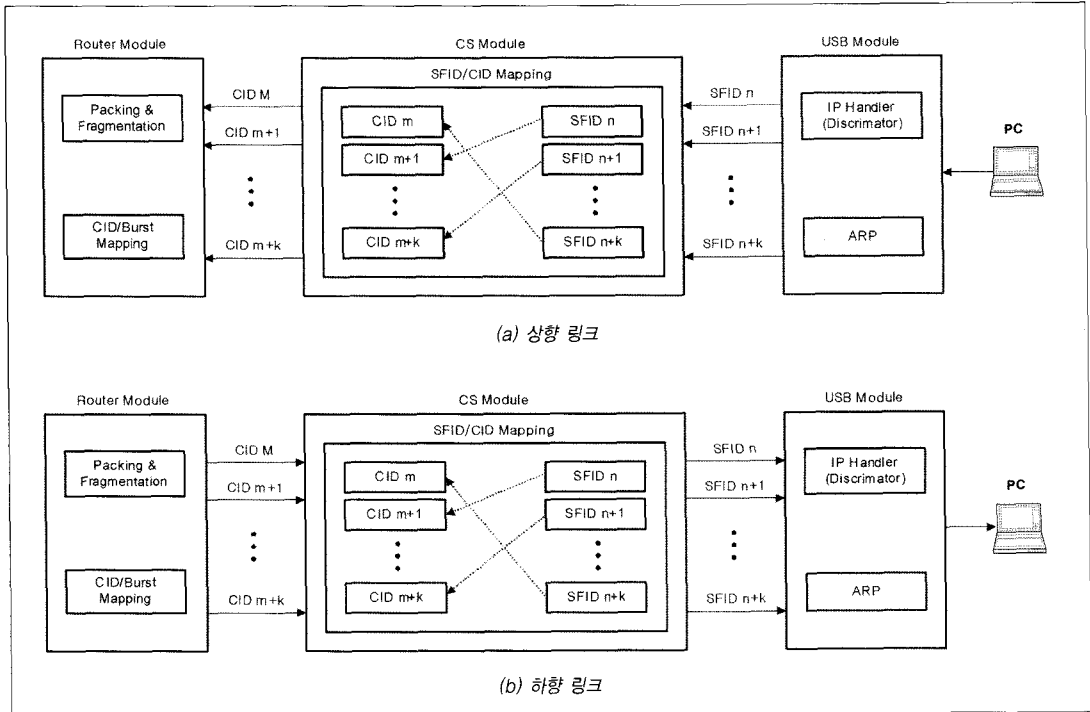
수렴 부계층 모듈에서 활성화된 각각의 패킷 세

션은 flow ID로 인식된다. 이와는 달리 무선 구간에서 각 세션은 할당된 CID로 인식된다. 패킷 세션을 활성화하는 과정에서 호 제어 모듈 및 무선자원관리 모듈은 각 세션 별로 SFID (Service Flow ID) 및 TrCID (Transport CID)를 할당한다. 세션이 성공적으로 활성화되는 경우 수렴 부계층 모듈은 무선 자원관리 모듈로부터 새로이 활성화된 세션의 SFID 및 TrCID를 전달받는다. 이후 수렴 부계층 모듈은 할당된 SFID 및 TrCID를 자신의 맵핑 테이블에 추가한다.

상향 링크 데이터 전송에 있어서, 망 연동 모듈은 USB 드라이버 모듈로부터 IP 데이터그램을 수신한다. 수신된 IP 데이터그램은 할당된 SFID 값과 함께 수렴 부계층 모듈로 큐를 통하여 전달된다. 해당 프리미티브를 수신한 수렴 부계층 모듈은 자신의 SFID/CID 맵핑 테이블을 통하여 SFID에 대한 CID 값과 확인된 CID 값에 할당된 MAC 공통 전송 버퍼를 찾는다. 수신된 IP 데이터그램(MAC SDU)은 해당 전송 버퍼에 저장된다. 저장된 MAC SDU는 라우터 모듈에 의하여 MAC PDU 형태로 구성되어 무선 구간에 전송된다. 이에 대한 내용은 PDU 라우터 모듈의 내용을 참조하기 바란다.

그림 13은 상향 링크에서의 SFID와 CID 맵핑 과정을 보여 준다. 공통 송신 버퍼에서 Push Index는 수렴 부계층 모듈에 의하여 증가되며 다음에 수신되는 MAC SDU의 저장 위치를 표시한다. Pop Index는 저장된 SDU가 무선 구간에 모두 전송되는 경우 증가되며 라우터 모듈에 의하여 관리된다. Push Index는 Pop Index를 초과하지 않는다.

하향 링크 데이터 수신에 있어서, 무선 구간의 특정 버스트를 통하여 MAC PDU를 수신한 라우터 모듈은 PDU의 generic 헤더의 CID 값을 확인한다. 해당 CID에 할당된 MAC 공통 수신 버퍼에 수신한



〈그림 13〉 Service Flow ID와 Connection ID의 맵핑

PDU를 저장한다. 하나의 SDU의 수신을 완료한 경우 라우터 모듈은 수렴 부계층 모듈의 큐를 통하여 수신이 완료되었음을 알리는 프리미티브를 전송한다. 해당 프리미티브를 수신한 수렴 부계층 모듈은 해당 CID의 수신 버퍼에서 MAC SDU를 가져오며, SFID/CID 맵핑 테이블을 통하여 해당 CID에 대한 SFID 값과 함께 USB 드라이버 모듈에 전송한다. USB 드라이버 모듈은 수신한 IP 데이터그램을 패킷 데이터망에 전송한다.

라) PDU 라우터 블록 설계

라우터 모듈은 주요하게는 모뎀과 인터페이스하여 무선 구간에서 MAC PDU를 송수신하기 위하여 필요한 기능을 수행한다. 라우터 모듈은 세부적으로 모뎀에 대한 형상 및 할당과 관련된 처리, MAC

SDU를 무선 구간에 전송하는 과정에서 발생하는 packing 및 fragmentation에 대한 처리, 송수신되는 PDU에 대한 라우팅 등에 대한 기능들을 수행한다. IEEE 802.22/16 시스템에서 상향 링크 및 하향 링크에 대한 채널 형상은 UCD와 DCD 메시지를 가지고 이루어진다. 기지국은 현재 사용 가능한 채널들에 정보(예, modulation 타입, 채널 코딩 타입 등)를 주기적으로 셀 내 단말에 방송한다. 특정 단말에 대한 상향 링크 및 하향 링크 채널의 할당은 UL-MAP 및 DL-MAP 메시지를 통하여 이루어진다. 채널 할당은 짧은 시간 주기로 이루어지는 반면 형상 변경은 상대적으로 긴 시간 주기로 이루어진다. 이에 대한 원활한 동작을 지원하기 위하여 개발된 소프트웨어에서는 채널 형상은 무선 자원 관리 모듈에서 수행하며, 할당 내용에 대한 변경은 라우터

모듈에서 처리되도록 설계되었다.

마) Low MAC 블록 설계

규격에서 권고되는 MAC 기능들 가운데 일부 기능은 소프트웨어에 의한 처리보다 하드웨어적인 처리가 적절하다. 이는 해당 기능 처리를 위하여 프로세서의 부하가 크게 증가하는 경우가 해당되며 비트 처리가 필요한 CRC와 HCS 계산 및 데이터에 대한 암호화 관련 기능 그리고 빈번한 인터럽트 처리를 필요로 하는 OFDM 심볼 인터페이스가 이에 해당된다. 그림 14는 이에 대한 구현 구조를 보여준다.

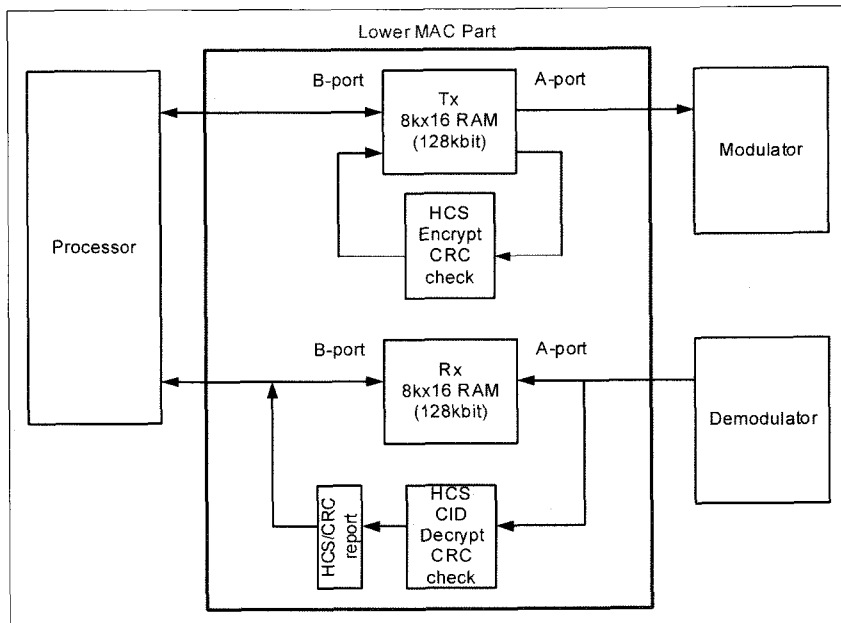
바) 테스트 블록 설계

모뎀 및 소프트웨어 개발 과정에서는 모듈 별 기능 확인을 위하여 시험 관련 기능들이 필요하다. 예를 들어 모뎀 시험을 위하여 하향 버스트 0을 통하여 수

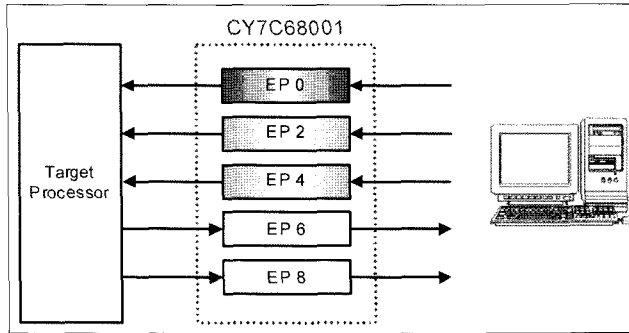
신되는 채널 형상 관련 메시지의 수신 없이 특정 채널을 활성화시킬 필요가 발생한다. 테스트 모듈에는 이와 같이 시험을 위한 추가 기능이 구현된다. 테스트 모듈의 기능은 세부적으로는 모뎀 관련 내용, MAC 소프트웨어 관련 내용 그리고 주변 peripheral에 대한 기능 확인 내용으로 구분된다. 시험 항목에 대한 선택은 PC UART를 통하여 이루어진다.

사) USB 드라이버 블록 설계

사용자에 의하여 패킷 응용이 활성화된 이후 단말은 PC의 패킷 응용과 데이터를 교환할 수 있어야 한다. 개발된 단말 타겟 소프트웨어는 PC와 USB 2.0 인터페이스를 통하여 IP 데이터그램을 교환한다. 타겟 보드는 USB 2.0 기능을 지원하기 위하여 Cypress 사의 CY7C68001 칩을 사용한다. USB 드라이버 블록은 CY7C68001 칩을 통하여 PC의 패킷 응용과 IP 데이터그램을 Ethernet 프레임



〈그림 14〉 Lower MAC 구현 구조



(그림 15) 타겟과 PC 데이터 교환을 위한 USB 인터페이스 구조

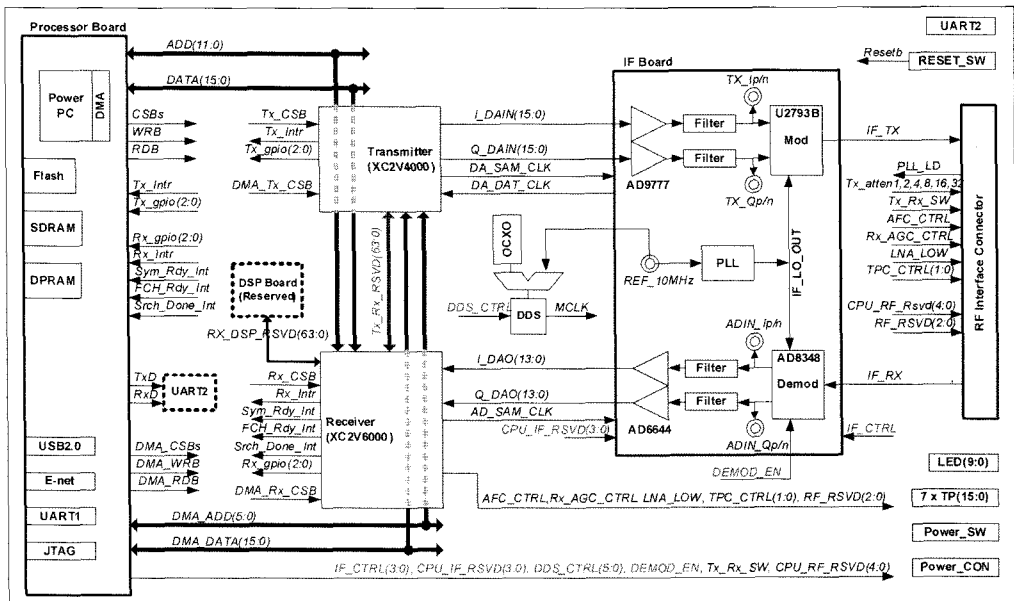
(Ethernet over USB) 형태로 교환한다.

여 각각 사용된다.

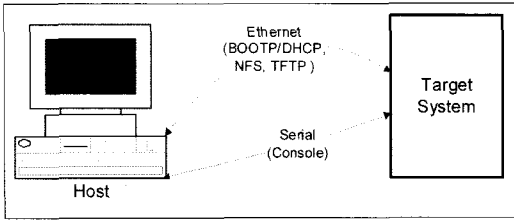
USB 인터페이스에서는 최대 5개의 EP0, EP2, EP4, EP6 그리고 EP8의 송수신 버퍼를 사용할 수 있다. 개발된 USB 드라이버는 EP0, EP2 그리고 EP6의 버퍼를 설정하여 사용한다. EP0 버퍼는 USB 제어를 위하여, EP2는 PC로부터 데이터 수신을 위하여 그리고 EP6는 PC로 데이터 송신을 위하여

IV. AWBN 시스템 모듈 테스트

본 고에서 기술한 AWBN 하드웨어 플랫폼은 그림 16과 같은 하드웨어 구조상에서 설계되었으며,



(그림 17) 단일 하드웨어 구조도



〈그림 17〉 디버깅 환경 설정을 위한 서버 연결

하드웨어 플랫폼은 베이스밴드 보드, 프로세서 보드, 그리고 IF 보드로 구성된다. 프로세서 보드와 IF 보드는 daughter 보드 형태로 구현되어 베이스밴드 보드에 장착된다. 구현된 MAC 소프트웨어는 프로세서 보드에 포팅되어 동작하며, MAC 소프트웨어 개발을 위해 OS (Operating System)로 Montavista 사에서 개발된 Linux professional edition을 사용한다.

소프트웨어 개발 과정에서 디버깅을 위하여 Montavista 사에서 제공되는 DevRocket이 사용되었다. DevRocket을 사용하기 위해서는 타겟 보드에서 제공하는 Ethernet 및 serial 연결이 필요하며, 이에 대한 전체 구조를 그림 17에 도식하였다. 이 환경을 이용하여 소프트웨어 코드에 대한 실험,

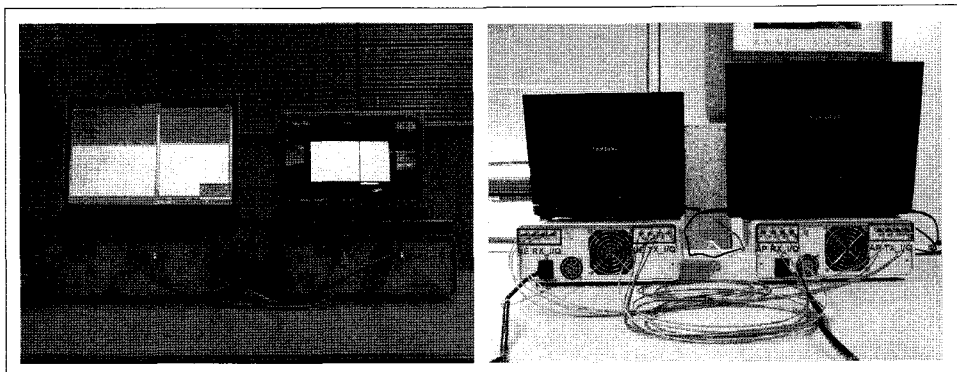
break point 설정, 동작 중 변수에 대한 값의 확인 등이 가능하며, DevRocket 디버깅 환경을 사용하여 MAC 동작을 확인하였다.

1) 단말 시험을 위한 시스템 구성

본 절에서는 개발된 AWBN 시스템 소프트웨어 시험 수행을 위한 시스템 구성 및 시험 내용에 대하여 기술한다. 전체 시험을 위한 시스템 구성은 단말 시스템과 기지국 시스템 그리고 패킷 응용 시험을 위한 서버 PC와 일반 PC로 구성하였으며, 단말 시스템과 기지국 시스템 사이 인터페이스에는 analog I/Q가 사용되었다. 시험을 위한 시스템 구성은 그림 18에 나타내었다. 패킷 응용 시험을 위하여 기지국 시스템을 서버 PC와 그리고 단말 시스템을 PC와 연결하며, Ethernet 연결을 통하여 패킷 호 생성에 대한 신호 절차를 완료한 후 사용자는 스트리밍 또는 ftp와 같은 패킷 응용을 활성화 시킬 수 있다.

2) 시험 절차 및 내용

시험의 내용은 AWBN 도메인에서의 사용자 등록 또는 호 활성화와 같은 신호 절차에 대한 시험과 사용자에 의하여 활성화된 패킷 응용에서 발생하는



〈그림 18〉 제공된 시험 시스템 구성 및 Analog I/Q 연결도

(표 1) 단말 신호 절차 시험 항목

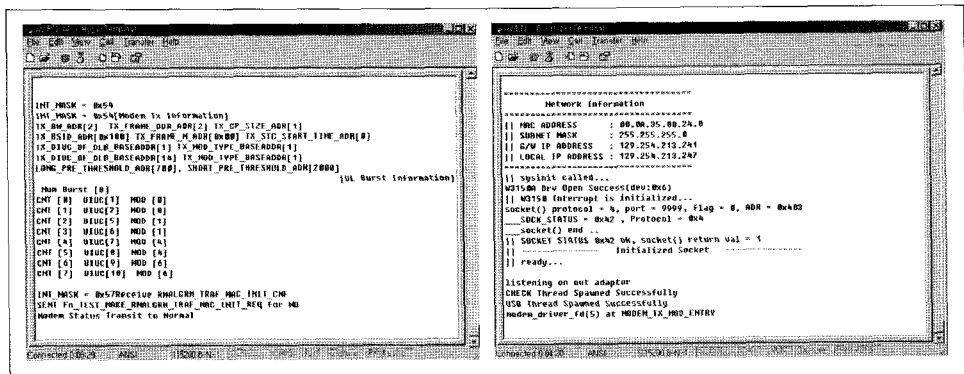
시험 항목	내 용	
위치등록	부 항목 1: 단말 초기 절차	- 기지국의 시스템 정보 방송, 시스템 액세스를 위한 Initial ranging 그리고 기본 기능 협상에 대한 절차 시험. - RM 모듈의 Initial ranging 신호 절차 처리 기능 및 CID 할당 기능. 할당된 Primary CID 를 통한 MSS Polling 절차 처리 기능 - RM 모듈의 MSS basic capability check에 대한 신호 절차 처리 기능
	시험 항목 2: 인증절차	- MM 모듈의 MSS 인증에 대한 신호 절차 처리 기능.
	시험 항목 3: 암호화 키 교환 절차	- MM 모듈의 MSS 위치등록을 위한 신호 절차 처리 기능.
	시험 항목 4: 등록 절차	- MM 모듈의 MSS 위치 등록을 위한 신호 절차 처리 기능. - 등록된 단말에 대한 NI 모듈의 ARP 기능.
시험 항목 5: 서비스 생성 절차	- 응용을 사용하기 위한 CC 모듈의 서비스 생성(IP 연결설정) 기능. - 서비스 생성 완료 후 응용 간 정상적인 데이터 교환 확인	
시험 항목 6: 서비스 삭제 절차	- 응용을 사용하기 위한 CC 모듈의 서비스 삭제(IP 연결해제) 기능.	

데이터의 교환을 위한 시험으로 구분하여 수행하였다. 다음의 표 1은 개발된 MAC 알고리즘의 동작을 시험하기 위한 단말과 기지국과의 신호 절차 항목을 보여준다.

표 1의 서비스 활성화 절차가 완료된 후 단말은 기지국과 패킷 응용에서 발생한 데이터를 교환할 수 있으며, 이에 대한 확인을 위하여 제공된 시험 시스템에서 Streaming 서비스를 통하여 절차를 시험

하였다. 시험을 통하여 정상적인 데이터 송수신이 이루어짐을 응용을 통하여 확인하였다.

단말 시스템 및 기지국 시스템을 동작 및 동작 확인을 위해서는 제공된 소프트웨어를 각 시스템에서 실행을 시켜야 한다. 초기 전원 인가 후 단말 및 기지국 시스템은 자동적으로 Linux 커널에 대한 이미지를 로딩하게 하였으며, 소프트웨어의 실행을 통하여 단말 기지국의 초기화가 정상적으로 이루어진



(그림 19) 기지국 및 단말의 초기화 완료한 경우에 대한 로깅 메시지

경우 하이퍼터미널에 출력되는 로깅 메시지는 그림 19와 같다.

표 1에 언급한 시험항목들의 절차에 대한 정상 동작 여부를 확인하기 위해 단말 PC의 UI(User Interface) 프로그램을 통하여 확인이 가능하게 하였으며, 신호 절차가 정상적으로 메시지를 주고받는지 여부를 UI 화면을 통해 확인할 수 있다. 시험을 위해 정의한 동작으로는 단말 등록 절차, 호 제어 절차 관련 절차(호 실행 절차 및 호 해제 절차)를 시험하였으며, UI 화면에 절차 수행중에 주고받는 메시지와 메시지 내용이 나타나게 되어 정확한 MAC 동작 절차가 수행되었는지를 확인할 수 있다.

절차 수행 예로 단말의 위치등록 절차는 단말 초기화 절차, 인증 절차, 암호화 키 교환 절차 그리고 등록 절차를 차례대로 수행하게 되며, UI 창에서 "Registration" 버튼을 선택하는 경우 PC는 단말 시스템과 상호 동작하여 위에서 언급한 세부 신호 절차를 수행하게 된다. 단말 초기화 및 위치 등록 과정에서 MAC 주소와 같은 단말 파라미터 설정이 필요하다. 그림 20은 이에 대한 설정 창을 보여준다. UI 화면의 예제로 단말 위치 등록 절차가 성공적으

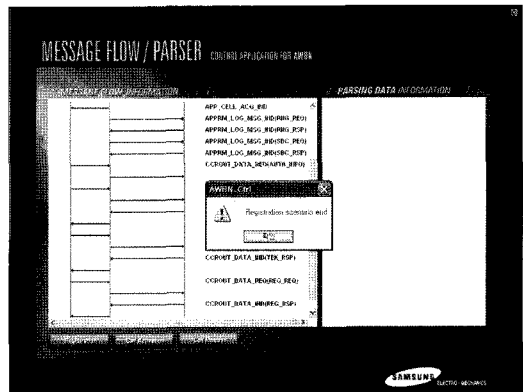
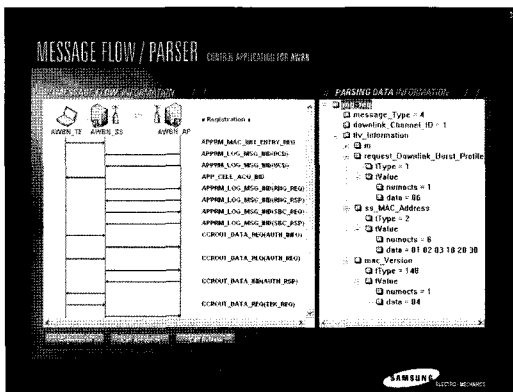
로 완료하게 되면 나타나는 화면의 내용을 그림 20에서 보이고 있다.

정의된 시험 절차들은 단말 시스템과 기지국 시스템 사이에 교환되는 메시지 순서 및 메시지 내용 등을 UI 화면을 통해 정상적인 동작 여부를 확인할 수 있었으며, 시험 절차를 통하여 서비스 생성 과정에서 단말은 정상적으로 동작함을 확인하였다.

V. 맺음말

본 고에서는 IEEE 802.22/16d 규격에 기반한 AWBN(Adaptive Wireless Broadband Network) 모듈 개발 내용 중 CR 기술과 관련된 스펙트럼 센서 모듈과 MAC 모듈에 대한 내용을 기술하였다.

Spectrum sensing 회로 구조 설계는 RF 수신단의 신호의 검출을 수행하는 회로의 설계 및 신호처리 알고리즘의 개발이 주 목표였으며, 이를 위해 UHF 대역에서 작동하는 6,7 그리고 8 MHz 대역 RF front-end의 설계를 진행하였다. 또한 광대역 주파수 대역에서 신호검출을 위한 다중해상도 방식



(그림 20) 단말 등록 절차 수행 시험 결과 및 성공적으로 완료 수행된 창

(MRSS)의 스펙트럼 센싱 회로의 설계를 진행하였다. 또한, digital wavelet generator (DWG) 및 correlator를 구성하는 multiplier와 integrator의 통합 블록을 설계하였으며, 이와 병행하여 기저대역 신호처리를 통한 정밀 센싱 방법을 개발하기 위하여 DSP보드를 활용한 신호처리 알고리즘을 개발하였다.

Spectrum sensing MAC 알고리즘 개발을 위해 IEEE 802.22/16d 표준 규격 기반 MAC 상위 설계와 향후 모듈화를 위해 MAC 기능 블록을 구현하였다.

현재 MAC 계층 관련 IEEE 802.22 표준화 작업이 진행 중이기 때문에 명확한 MAC 계층 개념을 정의하기는 어렵지만 현재까지 논의된 에너지 검출(Energy Detection)을 기반으로 하는 빠른 탐색과 특징 검출(Feature sensing) 탐색 방식을 기반으로 하는 IU 종류 추적과 같은 크게 두 가지 종류의 탐색방식을 기반으로 IU 검출을 하고 있으며, 이들 신호 탐색 방식의 적절하고 효율적인 관리와 이들 정보를 기반으로 하는 탐색 방식 설계와 각 IU의 출현

패턴 또는 트래픽특성을 고려한 QP 할당 및 관리등이 MAC 계층의 중요한 이슈라고 할 수 있다. 본고에서는 현재까지 정의된 규격 분석을 통해 Spectrum sensing 관련된 기능 추가를 위한 표준화 내용을 함께 연구했으며, MAC 기능 및 메시지 정의등을 참고로 MAC 상위 기능을 정의하였으며, 하위 계층을 통해 전달된 Spectrum sensing 정보를 관리하고 제어하기 위한 Spectrum Management 블록을 정의하였고 하위에서 전달된 센싱정보를 처리하기 위한 메시지도 정의하였다.

본 고에서는 AWBN 시스템 모듈의 핵심부분인 스펙트럼 센서 및 Sensing MAC 모듈 개발을 위한 시스템 및 구조설계의 내용을 기술하였다. 개발 내용은 추후 VHF/UHF 대역 스펙트럼 센서 IC, VHF/UHF 대역 transceiver IC 및 adaptive modem IC로 개발될 것이며, 향후 진행되는 표준화 및 CR 기술을 올바르게 수행하기 위해 필요한 기능이 추가로 개발되어야 한다.

● 참고 문헌 ●

- [1] IEEE 802.22/D0.3, "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Policies and procedure for operation in the TV Bands", May 2007.
- [2] IEEE 802.22, "A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems Part 2: The MAC", IEEE 802.22-06/0003r1, January 2006.
- [3] W. Hu, D. Willkomm, L. Chu, M. Abusubaih, J. Gross, G. Vlanis, M. Gerla, and A. Wolisz, "Dynamic Frequency Hopping Communities for Efficient IEEE 802.22 Operation", IEEE Communications Magazine Special Issue, vol. 45, no. 5, pp. 80-87, May 2007.
- [4] 고광진, 황성현, 송명선, 김창주, 강범주, "IEEE 802.22 WG에서의 CR 응용 : WRAN MAC 설계", 한국전자파학회지, 제17권, 2호, 2006년 4월
- [5] 강범주, 고광진, 황성현, 송명선, 김창주, "IEEE 802.22 WG에서의 CR응용: WRAN 스펙트럼 센싱에 대한 기술 동향 및 성능 평가방법", 한국전자파학회지, 제17권, 2호, 2006년 4월.

필자 소개



황 성 호

- 1996년 : 경일대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 1998년 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2003년 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2004년 2월 : POSTECH 박사후 연구원
- 2004년 11월 ~ 2006년 12월 : Georgia Tech. 박사후 연구원
- 2007년 2월 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- 주관심분야 : Cognitive Radio, 다중접속기술(MAC), 60GHz 대역용 MAC, 4세대 이동통신기술



이 정 석

- 1987년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
- 1991년 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학석사)
- 2002년 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)
- 2004년 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- 주관심분야 : Cognitive Radio, Millimeter-Wave, UWB



김 기 홍

- 1987년 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 1989년 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 12월 : Georgia Tech., ECE, Ph.D.
- 1989년 5월 ~ 1998년 6월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원
- 2005년 11월 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 수석연구원
- 주관심분야 : 이동통신전송기술, 스펙트럼 센싱 기술, 무선인지(Cognitive Radio) 기술, 무선 통신 시스템에서의 간섭 검출 및 감쇄 기술등



민 준 기

- 2000년 : 광운대학교 전자공학과(공학사)
- 2002년 : 광운대학교 대학원 전파공학과(공학석사)
- 2007년 : 광운대학교 대학원 전파공학과(공학박사)
- 2007년 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- 주관심분야 : Cognitive Radio, mm-Wave, CMOS RFIC



박 용 운

- 1996년 : 인하대학교 전기공학과 (공학사)
- 1996년 ~ 1998년 : (주)효성중공업 자동화사업부
- 1998년 ~ 2000년 : 인천 전기학원 강사
- 2004년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2007년 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- 주관심분야 : Cognitive Radio, 60GHz 무선통신용 ADC