

主題

IMT-2000 이후를 위한 소프트웨어 라디오 기술

숭실대학교 신요안, 이원철

차례

요약

I. 서론

II. SDR 기술의 표준화 및 연구 개발 동향

III. SDR을 위한 핵심 기술

IV. 4세대 이동 통신 시스템을 위한 SDR 기술

V. 결론

요약

Software Defined Radio(SDR) 기술은 첨단 디지털 신호처리 기술과 고성능 디지털 신호처리 소자를 기반으로 하드웨어 수정 없이 모듈화된 소프트웨어 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해 다수의 무선 통신 규격을 통합·수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다. 여러 규격의 이종 복합 네트워크 환경하에서 구성될 IMT-2000 이후의 4세대 이동 통신 시스템은 다양한 형태의 서비스, 응용 및 콘텐츠를 적절한 무선 접속 방식을 통해 제공하고 네트워크들 간의 유연한 인터페이스를 보장하기 위해 재구성 가능한 SDR 개념 기반의 통신 플랫폼이 요구된다. 본 논문에서는 4세대 이동 통신 시스템의 근간이 될 SDR의 핵심 기술 및 주요 적용 가능 기술에 대하여 논한다.

I. 서론

Software Defined Radio(SDR) 기술은 첨단 디지털 신호처리 기술과 고성능 디지털 신호처리 소자를 기반으로 하드웨어 수정 없이 모듈화된 소프트웨어 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해 다수의 무선 통신 규격을 통합·수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다. SDR 기술은 크게 소프트웨어에 의하여 재구성이 가능한 하드웨어와 이 하드웨어를 특정 규격 내지 특정 목적의 통신 송수신 시스템으로 바꾸어 주는 소프트웨어 모듈들로 구성된다[1]. 따라서 SDR은 단일 송신 및 수신 하드웨어 플랫폼에 소프트웨어 모듈만을 변경함으로써 다양한 무선 규격을 하나의 시스템으로 제공할 수 있다.

SDR 기술은 다음과 같은 여러 측면에서 그 필요성을 찾을 수 있다. 먼저, 무선통신 운용업체 및 서비스 제공 업체에서는 사용자에게 통합 서비스를 제공하고, 단말기의 업그레이드와 새로운 서비스의 추가가 용이하며, 특별한 하드웨어 수정 없이 다중모드 전환 문제의 해결이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 사용자의 측면에서는 무제한적 로밍이 가능하며, 장

래 무선통신 규격 선정에 따른 단말기와 기지국의 특별한 하드웨어 업그레이드가 불필요하게 된다. 한편, 시스템 제조업체는 하드웨어 플랫폼의 간소화 및 이종 규격간의 통합형 단말 플랫폼의 판매, Follow-Up 소프트웨어의 판매가 가능하며, 사용자에게 추가적인 기능을 매우 손쉽게 제공할 수 있다.

무선통신 시스템은 1970년대와 1980년대를 거치면서 반도체 분야의 급속한 발전에 힘입어 아날로그 시스템에서 디지털 시스템으로 발전을 이루어왔다. 최근 들어 100Mps에 가까운 표본화 속도를 갖는 고속 Analog-to-Digital Converter(ADC) 및 Digital-to-Analog Converter(DAC)의 발전으로 인해 중간 주파수 대역(IF)과 기저대역 신호들 간 직접 디지털 변환의 구현이 가능하게 되었다. 또한 범용 디지털 신호처리기(Digital Signal Processor ; DSP), Field Programmable Gated Array (FPGA)와 같은 디지털 신호처리 소자들의 성능이 점차 고성능화 하면서 소프트웨어로 재구성이 가능한(Software Reconfigurable) 기저대역 모듈과 향상된 신호처리 모듈의 구현이 가능하게 되었다. 이러한 기술적인 발전은 지금까지 개념적으로만 제안되어 오던 SDR 모듈의 효과적인 실제 구현을 점차 가능케 하고 있다[2].

현재 전세계적인 무선 통신, 특히 이동 통신 환경은 유럽의 GSM, 북미의 D-AMPS, 일본의 PDC, PHS 그리고 우리나라의 IS-95 CDMA와 같은 다양한 다중 모드 2세대 디지털 시스템들이 주류를 이루고 있다. 또한 전세계적인 로밍 서비스를 목표로 단일 규격화를 추진하였던 3세대 광대역 IMT-2000 규격 역시 특성이 상이한 북미의 3GPP2 cdma 2000과 유럽/일본의 3GPP W-CDMA 시스템으로 크게 이분화 되어 국지적으로 상용화될 예정이다. 결국 국지적인 2세대 및 3세대 이동 통신 규격들은 서로 상이한 무선 인터페이스와 비호환적인 접속 프로토콜로 인하여 각기 별도의 독립적인 송수신 시스템을 요구하며, 이들 시스템간의 로밍이 매우 어려운

것이 사실이다. 따라서 2000년대 초반은 다양한 품질 요구 및 기능을 갖는 많은 무선통신 시스템이 혼재하는 상황에서, 하드웨어의 수정 없이 모듈화된 소프트웨어의 변환만을 통해 여러 무선접속 규격을 복합적으로 수용할 수 있는 SDR 기술의 중요성이 더욱 크게 부각되고 있다.

2010년경 서비스를 목표로 연구되고 있는 IMT-2000 이후(Beyond IMT-2000) 혹은 4세대 이동 통신 시스템에서는 수십 Mbps 급 광대역 무선 이동 접속을 목표로 하고 있으며, 다양한 무선 및 유선 접속 방식, 개인 및 공용 네트워크, 그리고 실내 및 광역 시스템 등에서 이종 규격간의 지속적인 핸드오프가 요구된다. 그림 1은 4세대 이동 통신 환경에서 코어 네트워크로 IP 망을 기반으로 하여 2세대 및 3세대, 광대역, 방송, 근거리 개인 무선 통신 (Bluetooth 등)과 같은 무선 액세스 방식들이 지속적으로 상호 접속되는 방향으로 수렴해 나가는 방향을 보여주고 있다. 이러한 복합적인 무선 통신 환경에서는 그림 2에서의 같이 방송 및 셀룰라 계층으로부터 개인 네트워크 계층까지 각 계층 내의 수평적인 핸드오버 뿐만 아니라 계층간의 수직적인 핸드오버도 역시 예상된다. 결국 4세대 이동 통신 시스템에서는 이러한 복합적인 무선 통신 규격 사이의 상호 연동이 필수적이며 따라서 재구성 가능한 네트워크 및 단말(Reconfigurable Network and Terminal) 기술들에 대한 필요성이 강조되고 있다.

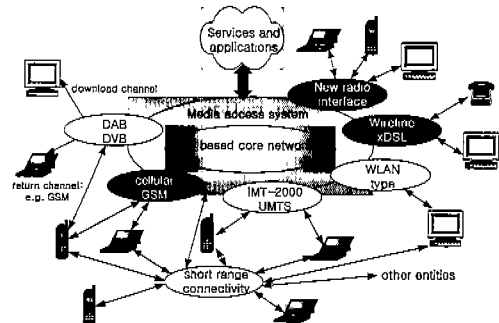


그림 1. IP 코어 네트워크를 기반으로 한 4세대 이동 통신 환경.

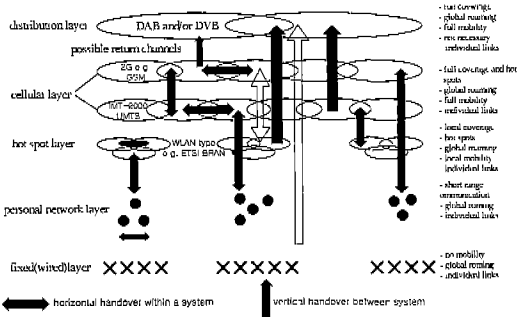


그림 2. 수평 계층간 및 수직 계층간의 핸드오버를 지원하는 4세대 이동 통신 시스템의 위계 구조.

4세대 이동 통신 시스템에서의 이중 복합 이동 네트워크 환경에서는, 다양한 형태의 서비스, 응용 및 콘텐츠를 가장 적절한 무선 접속 방식을 통해 제공하고 복잡한 네트워크들 간의 유연한 인터페이스를 보장하는 재구성 가능한 SDR 개념 기반의 통신 플랫폼이 요구된다. 그림 3은 이러한 SDR 기술을 기반으로 한 4세대 무선 통신 환경을 도시하고 있다. SDR 기술은 스펙트럼 효율을 극대화하고 이중의 무선 접속 환경에서 통신 규격의 세대간 진화에 제한 받지 않는 Scalability를 제공할 수 있다. 이를 위한 네트워크 및 단말 기술은 QoS 관리, 보안이 강화된 소프트웨어 다운로드 기법, 재구성성을 용이하게 하는 단말 소프트웨어 구조, 유연한 시스템 구성 관리, 기능 협상(Capability Negotiation) 기능 등을 기본적으로 제공해야 한다[3].

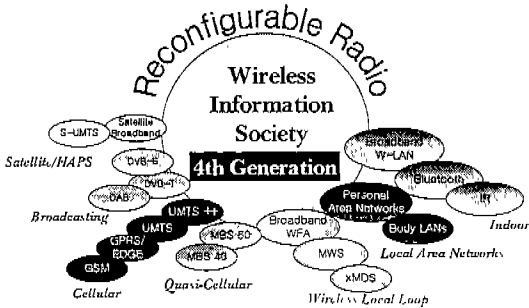


그림 3. SDR 기술을 기반으로 한 4세대 무선 통신 환경.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서는 SDR 기술에 대한 표준화 및 연구 개발 동향을 정리한다. 3절에서는 4세대 이동 통신을 포함한 일반적인 무선 통신 시스템에 적용시 고려해야 할 SDR의 핵심 기술에 대하여 논한다. 4절에서는 4세대 이동 통신을 위해 특별히 적용 가능한 SDR 주요 기술에 대하여 토의하고, 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

II. SDR 기술의 표준화 및 연구 개발 동향

1. SDR 표준화 동향

SDR 기술에 대한 표준화는 SDR Forum에 의해 주도되고 있는 상황이다[4]. SDR Forum은 산학연 유관 기관들이 1996년에 구성한 MMITS (Modular Multifunction Information Transfer Systems) Forum으로 출발하여, SDR 기술의 상용화 촉진을 위해 SDR Forum으로 명칭을 변경하고 매년 국제 워크샵을 통해 SDR 기술에 대한 표준화 작업을 진행하고 있다. 이 Forum에는 현재 Motorola, Lucent, Harris, Nokia, Ericsson, Siemens, Alcatel, Orange, Panasonic, Sony, 게이오 대학, 삼성전자, LG전자 및 ETRI 등과 같은 전세계 유수의 이동 통신 관련 업체, 연구기관, 학교 등이 회원으로 참여하고 있다. SDR Forum은 SDR 기술의 논의를 위한 공개적인 장을 마련하여 다음과 같은 사항들을 부각시키고자 함을 그 목적으로 하고 있다. 첫째로 산업체로 하여금 SDR은 구현 가능한 기술적인 개념이라는 점을 인식시키며, 둘째로 상용 및 군용 통신 분야의 중요한 문제를 해결하는데 SDR 기술의 잠재력을 인식시키며, 셋째로 SDR 기술 및 시장 잠재성에 대한 가치적인 분석 자료를 제공하는데 기여한다. SDR Forum은 다양한 통신 시스템들을 동일한 하드웨어

플랫폼 위에 소프트웨어적으로 구현 할 수 있는 개방형 구조(Open Architecture)를 권고하고 있으며, 목표 시스템을 Mobile, Handheld, Base Station의 3 가지 도메인으로 분류하여 각각에 대한 Working Group(WG)을 기술위원회 산하에 운영하고 있다.

2. SDR 연구 개발 동향

미국에서는 1970년대부터 국방성 산하 연구소인 DARPA의 주도로 다양한 대역을 사용하는 상이한 군용 통신 규격간의 통합 송수신 시스템 개발 계획인 SPEAKEasy 프로젝트에서 SDR 기술에 대한 연구를 처음으로 시작하였다[5,6]. SPEAKEasy 프로젝트는 개방형 구조를 채택한 모듈 단위의 재구성이 가능한 모뎀의 개발에 주목적을 두고 있으며, 부차적 목적으로는 새로운 무선 방식을 용이하게 추가할 수 있는 포괄적인 소프트웨어 구조의 개발에 있다. SPEAKEasy 개발 프로그램은 Phase-1과 Phase-2의 2 단계로 수행되었다. Phase-1 단계(1992년-1995년)에서는 고속 주파수 도약 대역 확산 파형에 대하여 4-채널, 광대역 모뎀을 개발하여 타당성을 확인하였다. 1995년부터 2000년까지 진행된 Phase-2 단계는 Phase-1에서 타당성이 확인된 모뎀에 기반하여 사용자의 입력-출력단부터 RF 단에 이르는 전체 라디오 시스템에 대한 개방형, 모듈 단위, 재프로그램이 가능한 구조의 개발에 목적을 두고 있다. 이 개발의 두드러진 특징은 상업용 모듈과 표준에 기반하고 있는 점이다. 특히 미국 내에서는 여러 가지 이동 통신 규격들(즉, AMPS, GSM, CDMA)이 혼용되어 사용되고 있으며, 이러한 이종 규격들간의 유연성 있는 로밍을 위한 멀티 모드 단말 및 기지국 플랫폼이 심각하게 고려되어 왔다. 이러한 맥락에서 상용 단계인 이동 통신 시스템 상에 SDR 개념을 도입하기 위한 GloMo 프로젝트가 국가 차원(DARPA)에서 진행되었다. 1994년부터 1998년까

지 진행된 GloMo I 프로젝트에서는 AMPS의 FM과 CDMA 방식을 대상으로 하여 고전송률, 고용량 및 저전력 무선통신 시스템을 구축하는 것을 목표로 하였다. 한편 1997년부터 2000년까지 진행된 GloMo II 프로젝트에서는 CDMA와 WINGS(Wireless Internet Gateways)에 대해서 저전력, 고속 동작을 위한 FPGA를 사용했으며 공간/편향 다이버시티를 이용한 스마트 안테나를 단말에 적용했다.

유럽에서는 RACE 프로젝트와 ACTS 프로그램을 통하여 SDR의 기반 기술에 대한 연구를 지원하고 있으며, 1997년부터 매년 SDR 워크숍을 개최하고 있다. 유럽은 미국과는 달리 유럽 전역에 걸쳐 GSM900/1800 방식이 공용으로 사용되고 있는 상황이어서 사실상 이동 통신 규격의 혼용으로 인한 상호 로밍 문제는 존재하고 있지 않으나, 국지적으로 서로 다른 주파수 대역을 사용하고 있는 이유로 인해 다중 주파수 대역을 동시에 커버하기 위한 SDR 개념의 단말기 개발을 있으며 2001년에 개발을 완료하여 상용화할 예정이다. 그러나 대역 확산 방식을 채택하고 있는 3세대 규격인 UMTS 방식은 기존의 GSM 무선 접속 방식과의 상이한 시스템 규격을 갖고 있으며, 다중 데이터 전송률과 다중 QoS를 요구하는 음성, 데이터, 팩스, 그래픽, 화상회의, 인터넷/인트라넷 접속, 이동 오피스, 데이터베이스 검색, 주문형 비디오 및 오디오, 원격진료, 원격교육 및 방송 등과 같은 서비스 제공을 목적으로 하는 이유로 인해 이들 서비스 및 이종 규격간의 로밍을 자유롭게 호환하기 위한 SDR 기술의 필요성이 급격히 대두되고 있다. 이를 위하여 FRAMES, FIRST, SINUS, SORT 등의 프로젝트에서는 SDR 기술을 기초로 하는 UMTS와 관련된 응용 시스템들을 개발하고 있다[7]. 특히 유럽 내의 3세대 및 4세대 이동 통신용 SDR 기술 개발을 위해 EC(European Communities)의 지원을 받고 있는 연합 프로젝트인 TRUST(Transparently Reconfigurable

Ubiquitous Terminal)에서는 “Seamless Wireless Utopia”를 기치로 재구성 가능한 단말을 위한 실질적인 요구 조건과 운용 시나리오를 정의하기 위한 연구를 수행하고 있으며, 다음 그림 4에서는 이동 통신 네트워크에서의 재구성 방안에 대한 TRUST의 전망을 정리하여 나타낸다[3].

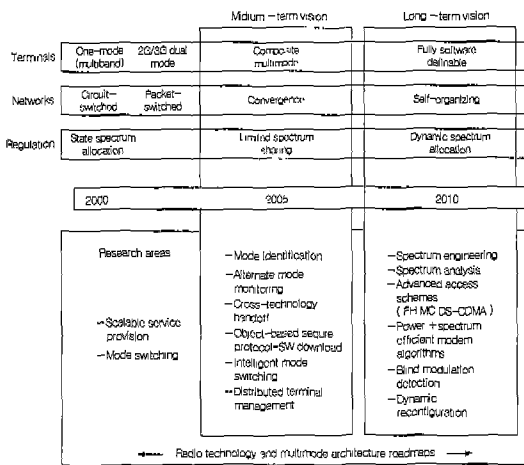


그림 4. 이동 통신 네트워크에서의 재구성 방안에 대한 TRUST의 전망.

한편 일본에서는 ARIB(Association of Radio Industries & Businesses) 산하에 소프트웨어 수신기 개발을 위한 스터디 그룹이 발족이 되었으며, 1996년부터 1998년까지는 이 스터디 그룹에서 다중 시스템에서 사용할 수 있는 공용 단말기들과 더불어 지속적으로 복잡해지는 무선 전파 환경을 모니터링 할 수 있는 기기에 대한 성공적인 개발에 관한 연구를 수행하였다. 이 스터디 그룹에서는 소프트웨어 수신기의 제품화, 향후 SDR 추세 및 평가 방법에 대한 주제에 관하여 현재 연구가 진행되고 있다[8]. 또한 1998년 4월 게이오 대학에서 아시아 최초의 SDR 워크샵을 개최하고, 1999년 1월 일본전자정보통신 공학회 산하에 SDR 연구회가 결성되었다.

국내에서는 학계에서 SDR을 위한 디지털 상·하향변환기, 소프트웨어 다운로드, Codec 모듈 및

SDR 기반의 스마트 안테나 등에 대한 연구를 수행 중이며[9], 유수의 산업체 및 연구소에서도 이 분야에 큰 관심을 보이고 있으나 아직까지는 본격적인 투자 및 개발이 미비한 실정이다. 하지만 국내의 디지털 신호처리 기술 및 관련 소자 활용 기술이 선진국과 대등한 점을 고려한다면 SDR 접목 무선 통신 시스템 구현을 위한 기술의 저변화와 전문 인력 양성을 통해 경쟁력 있는 상용화 단계로 접근이 가능 할 것으로 예상된다. 최근 들어 국가 차원에서도 SDR의 중요성을 인식하고 있으며, 이런 맥락에서 그림 5는 최근 산업자원부의 산업기술평가원에서 작성한 SDR에 관한 기술 로드맵을 정리하고 있다[10].

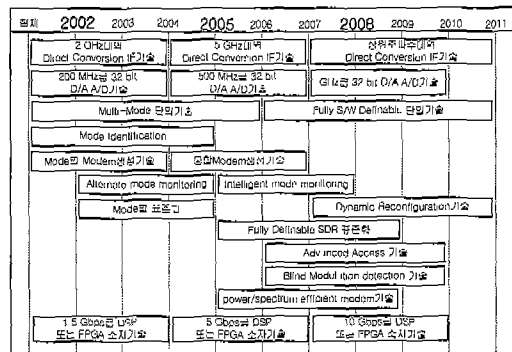


그림 5. 국내의 향후 SDR 기술 관련 로드맵.

III. SDR을 위한 핵심 기술

1. 개요

대부분의 디지털 무선 통신 시스템 하드웨어는 RF, ADC 및 DAC 그리고 디지털 신호 처리부로 구성된다. 그림 6은 이러한 일반적인 구성에 의한 기존 무선 송수신기의 구조를 도시하고 있다. 여기서 입력된 신호는 RF, IF 그리고 기저대역까지 아날로그 형태를 띄게되며 기저대역에서 저속 ADC를 통해 디지털 신호로 변환되어 처리된다.

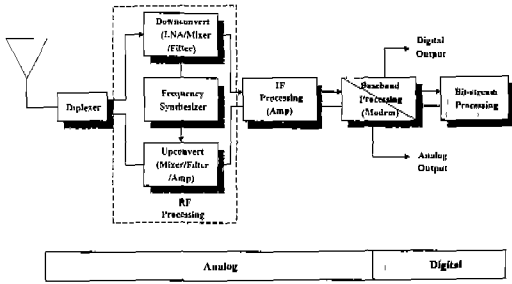


그림 6. 기존의 무선 송수신 시스템의 구성.

SDR 기술 진화 과정상의 가장 큰 특징은 ADC/DAC의 위치가 기저대역으로부터 IF 혹은 RF 안테나까지 근접시킴으로써, 시스템의 표본화 처리 대역을 RF까지 증가시킨다는 점이다. 또한 SDR은 전통적인 디지털 회로와 저속 DSP 및 CPU 들을 사용하는 기존의 소프트웨어적인 제어의 디지털 라디오 (Software-Controlled Digital Radio)의 개념이 아니라, 고속 DSP 및 CPU들을 사용하여 프로그램 가능한 IF 혹은 RF, 채널 액세스 모드, 채널 변조 등이 가능한 Total Programmable 디지털 라디오 개념으로 이해되어야 한다. 그림 7은 이러한 SDR의 개념에 따라 IF 아날로그 신호를 고속 ADC를 통해 디지털 신호로 변환하고 이후의 처리는 DSP를 이용하여 처리하는 SDR 기반의 무선 송수신기의 구조를 도시한다.

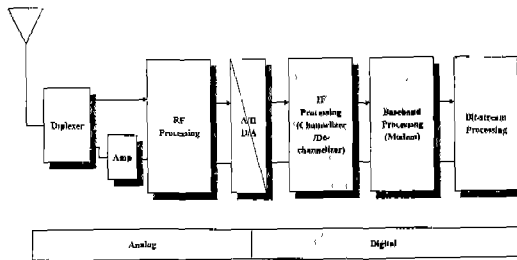


그림 7. SDR 기반의 무선 송수신 시스템의 구성.

SDR Forum에서 제시한 SDR 구조는 개방형 인터페이스 표준 권고안을 통하여 연결된 특정 기능 블록들과 상위 레벨의 일반적인 모형을 기반으로 한

다. 소프트웨어는 Application의 유연한 확장과 Scalability를 지원하는 수직적이며 수평적인 계층간 모듈들을 통해서 장치/디바이스 보조 시스템들의 특성을 제어함으로써 구현된다. 모듈화는 개방형 시스템에서 소프트웨어 Application의 성공적인 구현을 위한 핵심 사항이다. 여기서는 모듈들 간의 인터페이스를 위한 표준화 작업이 필요하며, 모듈 내에서는 시스템 개발자들이 자유롭게 기능들을 구현할 수 있다. 그림 8은 SDR 시스템을 위한 상위 레벨의 수직 계층별 기능 모델을 나타내고 있으며, 전체적인 정보 전달 흐름은 크게 Front-End Processing, 정보 보호, 정보 처리 및 제어로 구별됨을 나타내고 있다.

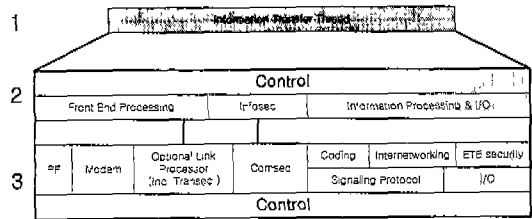


그림 8. SDR Forum에서 제시하는 SDR 시스템을 위한 상위 레벨의 수직 계층별 기능 모델.

그림 9는 SDR Forum에서 정의한 기능별 인터페이스 블록도를 도시하며, 일반화된 상용 SDR 기저국의 모든 중요 기능들을 나타낸다. 기능 블록들 사이의 인터페이스는 시스템 간의 정보 신호의 흐름을 나타내는 (I)와 제어 신호의 흐름을 나타내는 (C)로 표현된다. SDR Forum은 각 개발 규격에 적합한 구조 모델만을 제시하지만 각 모듈 내의 세부적인 설계까지는 표준화하지 않는다. 따라서 제시된 구조 모델 내에 모듈별 인터페이스 표준화 작업이 매우 중요하며, SDR Forum은 각 모듈간의 인터페이스를 API(Application Programming Interface)라 정의하고 있다[11]. SDR Forum에서 정의하는 API는 소프트웨어 모듈간 혹은 하드웨어 모듈간 그리고 하드웨어와 소프트웨어 모듈간의 인터페이스를

모두 포함한다. SDR Forum에서는 크게 4가지의 Tier 간 인터페이스를 정의하고 있으며, 무선 구조를 정의하는 최상위의 Architectural Tier, 시스템이 수행해야될 다양한 기능 및 모듈간의 메시지 교환을 정의하는 Functional Tier, 정의된 메시지가 어떻게 전송되고 교환되는가를 정의하는 Transport & Communication Tier, 그리고 물리적인 요소들을 어떻게 결합하는지를 정의하는 최하위의 Physical Tier로 구분된다[11].

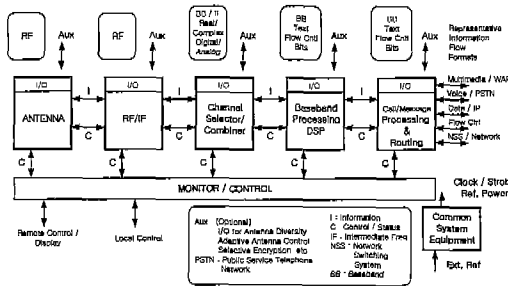


그림 9. SDR Forum에서 정의한 상용 SDR 기지국의 기능별 인터페이스 블록도.

2. RF Front-end 및 Digital IF 기술

최근 ADC/DAC 및 범용 디지털 신호처리 소자들의 고속화 및 고성능화로 인해 IF 대역과 기저대역 신호들 간의 직접 디지털 변환의 구현이 현실화되고 있다. 사용자의 관점에서 국지적으로 상용화되고 있거나 장래에 출현할 다양한 이동 통신 시스템 규격들 및 이에 대해 사업자들에게 할당되는 주파수 대역들이 서로 다른 점을 고려할 때, 이중 시스템 혹은 사업자들에게 할당된 주파수 대역에 구애받지 않고 언제 어디서나 자유롭게 무선 채널을 액세스하고 또한 특정 채널을 임의로 선택하기 위한 디지털 RF/IF 및 채널화기의 실현이 필수적이다. 한편 기지국 시스템 관점에서 볼 때 특정 이동 통신 규격의 물리 계층만을 지원하는 무선 인터페이스가 아닌 다중 이동 통신 모드를 지원할 수 있는 유연성이 가미된 디지털

RF/IF 및 채널화기/역채널화기가 필요하게 된다. 이를 위해서는 기지국상 혹은 단말기상의 무선 인터페이스 처리 부분, 즉 주파수 상·하향 변환 및 채널 선택·조합을 용도에 맞게 별도의 하드웨어 수정 없이 소프트웨어적으로 변환하기 위한 SDR 기술이 필연적으로 요구된다[1]. 그림 10은 이러한 SDR 개념의 디지털 IF 및 채널화 과정을 도시하고 있다.

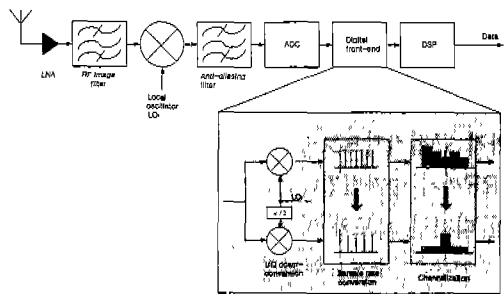


그림 10. SDR 개념의 디지털 IF 및 채널화기 기능 처리 과정도.

그림 10의 채널화기 혹은 이의 반대 기능을 수행하는 역채널화기의 구현을 위한 기존의 아날로그 방법은 그림 11(a)에서와 같이 주로 여러 개의 국부 발진기들과 아날로그 대역통과 필터로 구성되는 필터 뱅크를 사용하는 방법이었다. 이 방법은 개념적으로 간단하나 특정 응용에 따라 필터 하드웨어가 교체되어야 하기 때문에 매우 복잡하고 가격이 높다는 단점이 있다. 이러한 아날로그 형태의 채널화기/역채널화기를 디지털 형태로 바꾼 시스템에 대한 결과가 이미 다수 보고되었으나[12,13], 이러한 방법들은 아날로그 필터 뱅크를 단순히 디지털 필터 뱅크로 바꾼 시스템이다. 이 방법의 경우 전체 시스템의 복잡도가 채널의 개수에 비례하여 증가하며 처리 속도는 ADC의 표본화율에 의해 제약을 받게 된다. 따라서, 구현의 측면에서 이 접근 방법은 매우 빠른 속도의 디지털 신호처리 소자를 요구하며 결국 비용의 측면에서 효율적이지 못하다. 이러한 기존의 디지털 방식에 비해, 낮은 처리 지연과 적은 계산으로 저렴한 범용 디지털 신호처리 소자를 이용하여 실시간으로 구현하기

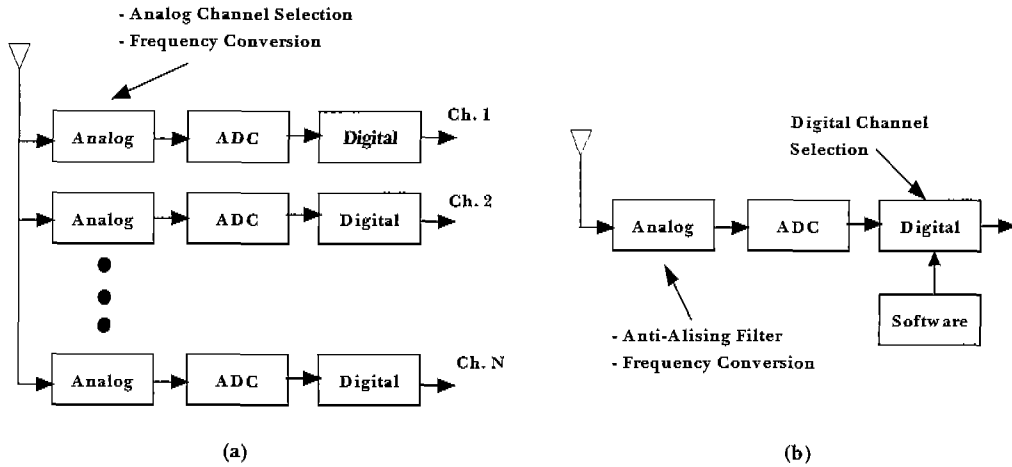


그림 11. 다중 무선 규격 수용을 위한 수신기 구조 (a) 기존의 아날로그 채널화기를 사용한 디지털 IF 구조, (b) SDR 기반의 디지털 채널화기 및 디지털 IF 구조.

에 적합한 채널화기에 의한 채널 분리와 역채널화기의 역할을 수행하는 다상 필터 뱅크 기법이 소개되었으며[14], 그림 11(b)는 이러한 SDR 기반의 디지털 채널화기 및 디지털 IF를 이용한 디지털 수신기 구조를 보여준다.

3. 기저대역 디지털 신호처리 기술

SDR의 큰 특징은 첫째로 다중 모드, 다중 대역 무선 인터페이스, 운용 환경 및 사용자 요구에 따른 자동적인 무선 접속 규격, 그리고 기능 및 서비스의 변화를 지원할 수 있는 유연성(Flexibility)과, 둘째로 시변 채널 상황에 적응적으로 변화 가능한 무선 인터페이스 및 채널 상황에 따른 적응적인 변복조 방식의 선택을 지원하는 적응성(Adaptability)을 들 수 있다. 그림 12는 이러한 SDR의 특징들을 지원하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어의 기술적인 문제를 정리한다.

서로 다른 물리 계층 규격의 여러 무선 전송 시스템은 대부분 상이한 기저대역 신호 처리 방식을 적용하고 있어, 이들을 통합 처리하기 위해서는 기저대역

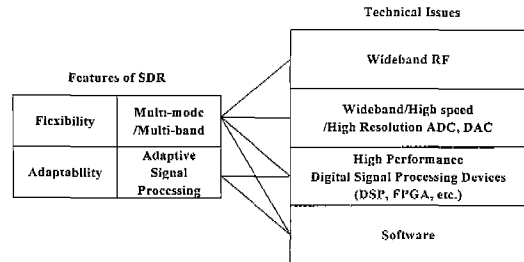


그림 12. SDR의 특징들을 지원하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어의 기술적인 문제.

에서의 SDR 기법에 기반한 디지털 신호처리 기술의 적용이 필수적이라 할 수 있다. 기저대역에서의 디지털 신호처리 기술은 크게 하드웨어적인 측면과 소프트웨어적인 측면으로 구분해 볼 수 있다. 먼저 디지털 신호처리를 위한 하드웨어는 크게 ASIC, FPGA 그리고 범용 DSP 등으로 구분 가능하다. ASIC의 경우 작은 면적, 낮은 전력, 빠른 동작 등이 가능한 반면 개발비용이 많이 소요되고 소프트웨어를 통한 재구성이 어려워 실제 SDR 개념에는 적합하지 않으므로 여러 물리 계층 규격에 공통적으로 사용되는 기능에 대한 구현에만 적합하다고 할 수 있다. 반면에

DSP의 경우 소프트웨어 재구성 기능은 월등하나 아직 ASIC에 비해 처리 속도나 면적 등의 측면에서 크게 뒤지는 상황이다. FPGA의 경우 ASIC과 DSP의 장점을 취한 형태라 볼 수 있으며, 최근 들어 SDR 시스템에 활발히 이용되고 있는 추세이다. 그림 13은 이러한 디지털 신호처리 소자들의 특징을 정리하여 도시한다.

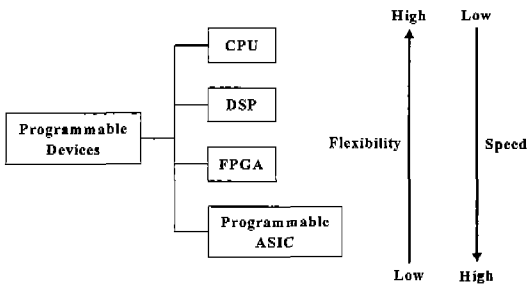


그림 13. 기저대역 디지털 신호처리 소자들의 특징.

SDR 기저대역 신호처리부에서는 각 무선 접속별 기저대역 소프트웨어 라이브러리의 효율적인 구축이 필수적이며, 여기서 고려해야 하는 라이브러리는 다음과 같다.

- 기저대역 모델
- 채널 부호화기/복호화기
- 신호원 부호화기/복호화기
- 소프트웨어 다운로드 기법
- 필터링 모듈
- 성능 향상을 위한 신호처리 알고리즘 (등화기 등)
- 수신기 동기부

4. 소프트웨어 다운로드(Software Download)

SDR 기술을 적용한 통신 시스템은 대부분의 중요한 기능들이 소프트웨어로 구현되어 다양한 통신 방식이나 부가 서비스를 제공한다. 따라서 SDR 기술

을 적용한 단말이나 기지국 장비의 기능을 변화하기 위해 새로운 프로그램들을 적용하는 소프트웨어 다운로드 기능은 SDR의 성공적인 전개를 위해 매우 필요하다. 이러한 소프트웨어 다운로드를 통해 새로운 사용자 Application 및 프로토콜 스택 뿐 아니라 물리 계층의 모뎀 기능 등의 다운로드가 가능하다.

소프트웨어 다운로드를 위해 사용자의 이동 단말과 기지국은 약간 다른 접근 방법을 취하게 된다. 일반적으로 기지국에서는 새로운 소프트웨어 버전으로 업그레이드해야 하는 경우에만 소프트웨어 다운로드가 수행되며 이는 소프트웨어를 관리하는 서버로부터 유선 네트워크를 통해 용이하게 이루어 질 수 있다. 반면에 사용자의 단말에서는 이동 및 사용자 요구의 변화(예를 들어 새로운 Application Transaction의 요구, 무선 접속 변화 등)에 의해 잦은 소프트웨어의 변경이 필요하며, 이 경우 소프트웨어 다운로드는 스마트 카드(SIM 카드), 유선 네트워크 및 무선(Over-The-Air ; OTA) 등의 방법을 통해 수행될 수 있다[15]. 스마트 카드를 이용하는 방법은 사업자간의 로밍이 필요한 경우 별도의 카드를 사용자가 구입해야하는 문제가 있을 수 있으며, 이러한 문제를 해결하는 방법으로서 스마트 카드의 프로그램 갱신이 가능한 장비들을 공항, 기차역, 호텔 등과 같은 중요 시설에 설치하는 방안을 고려할 수 있다. 이 방법의 장점으로는 오류 없는 빠른 다운로드가 가능하고 전체 네트워크에 추가적인 오버헤드가 없다는 점을 들 수 있으나, 사용자가 다운로드 과정에 개입함으로써 불편을 초래할 수 있다는 단점이 있다. 이 방법의 성공은 필요한 소프트웨어를 경제적으로 저장할 만큼 충분한 메모리를 가진 스마트 카드의 개발과 프로그램 변경 및 다운로드가 가능한 장비에 용이하게 접근할 수 있는 기반 구조에 크게 의존한다고 할 수 있다[16].

또 다른 유력한 소프트웨어 다운로드 방법은 무선을 이용하는 OTA 방식이다. 이 방법은 전용 채널을 통해 네트워크로부터 소프트웨어 다운로드가 수행된

다. 이 방법의 주된 장점으로는 다운로드 비용이 저렴하며 전체 다운로드 과정이 단말과 기지국에 의해 제어됨으로써 사용자에 끼치는 번거로움이 전혀 없다는 점을 들 수 있다. 반면에 다운로드를 위한 전용 채널이 필요하므로 전체 네트워크의 구성 및 트래픽에 큰 영향을 미치게 되고, 무선을 이용함으로써 다운로드 시 오류가 발생할 가능성이 있으며 다운로드의 속도가 상대적으로 느리며, 단말기와 네트워크 서버 사이의 복잡한 보안 및 인증 과정이 필요하다. 따라서 OTA 다운로드에 필요한 트래픽을 감소하기 위해서는 여러 무선 접속 규격에 공통적으로 필요한 제어용 소프트웨어는 단말기에 미리 설치하고 각 규격마다 필요한 최소의 기능만을 다운로드 받는 등의 방법이 효율적이라 할 수 있다[17]. 또한 OTA 방법을 위해서는 양방향 전용 채널에 대한 전세계적인 표준화 작업이 필요한데, 현재 SDR Forum에서는 OTA 소프트웨어 다운로드를 위한 목적으로 최소의 신호 기능을 지원하기 위해 Universal Control Channel(UCCH)의 사용을 제안하고 있다[18]. 다음 그림 14는 서비스 제공자의 변경에 의해 사용자 단말에 새로운 소프트웨어 다운로드가 필요한 경우 UCCH를 이용한 신호 교환 절차의 예를 도시한다.

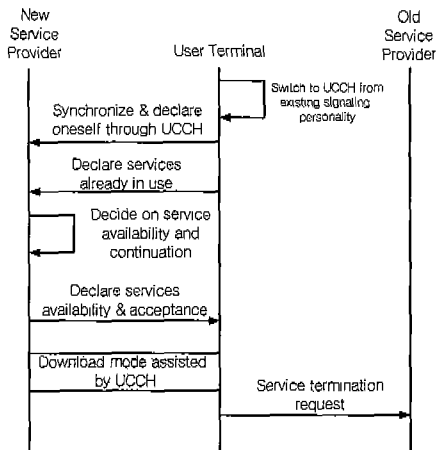


그림 14. OTA 방식 하에서 UCCH를 이용한 소프트웨어 다운로드 신호 교환 절차.

IV. 4세대 이동 통신 시스템을 위한 SDR 기술

1. 개요

4세대 이동 통신은 전세계적으로 어디에서나 고품질 음성부터 고선명 비디오까지 다양한 서비스들을 고속 무선 채널을 통하여 제공하게 된다. 이러한 고속 데이터 전송은 광대역 스펙트럼을 요구하며, 마이크로웨이브, Ka 대역, 밀리미터웨이브와 같은 매우 높은 대역에서 충분한 광대역 특성을 얻을 수 있다. 한편 광대역 무선 채널들은 인터넷 및 LAN과 같은 광대역 고정 네트워크와 연결되어야 하며, 셀룰라 전화뿐만 아니라 광대역 무선 액세스 시스템, 밀리미터웨이브 LAN, ITS(Intelligent Transport System), HAPS(High Altitude Stratospheric Platform Station System) 등과 같은 새로운 형태의 통신 시스템들을 포함한다. 그림 15는 4세대 무선 통신 시스템의 핵심 요소 기술들을 보여준다.

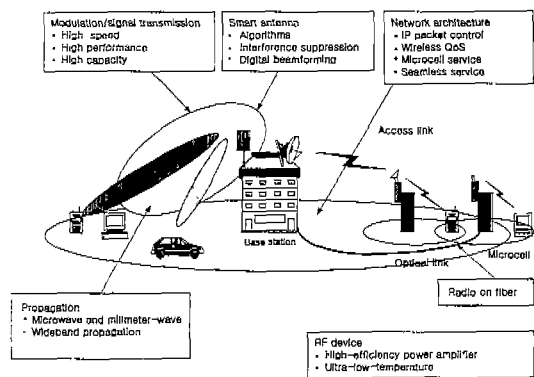


그림 15. 4세대 무선 통신 시스템의 핵심 요소 기술.

4세대 이동 통신 시스템을 위해서는 멀티미디어 통신, 광대역 고정 네트워크로의 무선 액세스 등과 같은 이종 시스템간의 지속적인 로밍이 해결되어야 한다. 따라서 이종 규격간의 연속적인 고속 데이터 서비스를 위해 미래형 SDR 기술의 적용이 필요하

며, 여기에는 먼저 SDR 하드웨어 플랫폼 구성 및 소프트웨어 자원의 운용 방안이 새롭게 구현되어야 한다. 이러한 새로운 SDR 기술들로서 네트워크화된 다중 DSP 하드웨어 구조, 가상 라디오(Virtual Radio), 인지 라디오(Cognitive Radio) 등의 기법들에 대한 연구 개발이 필요하다.

3세대 이동 통신 시스템은 실내 환경에서 2Mbps를 지원하고 이동 환경에서는 144kbps를 지원한다. 반면 5GHz 대역을 사용하는 IEEE 802.11a와 HIPERLAN/2 등의 무선 액세스 기술은 수십 Mbps의 전송 속도를 제공한다. 4세대 이동 통신의 데이터 전송률은 시스템의 특성에 따라서 2-600 Mbps의 범위를 갖게 될 예정이며, 4세대 셀룰라 방식은 10-20Mbps를 최소 목표 전송률로 하고 있으며, 이동 환경에서는 최소 2Mbps를 목표로 하고 있다[13]. 따라서 급속히 증가하는 멀티미디어 트래픽을 감당하기 위해서 4세대 셀룰라 시스템의 단위 영역 당 용량은 3세대 셀룰라 시스템의 적어도 10배 이상이 되어야 한다. 고속 데이터를 효과적으로 처리해야 하는 4세대 이동 통신 시스템의 획기적인 용량 증대 방안을 위한 중요 기술로서 스마트 안테나와 다원 접속 간섭 제거기가 심각하게 고려되고 있는 상황이다. 스마트 안테나는 간섭 신호의 효과적인 억제와 원하는 신호들의 자동 추적 및 적응 시공간 신호 처리 알고리즘에 의한 디지털 빔형성과 같은 지능형 기능들을 포함한다. 스마트 안테나의 핵심은 적응 디지털 빔형성 모듈로서, 간섭 억제 기능이 SDR 기술을 통하여 소프트웨어적으로 고속 처리가 가능하게 된다. 한편 만족할 만한 QoS를 갖는 음성, 데이터, 영상 등의 멀티미디어 정보를 수신하기 위해서 소프트웨어 변경만으로 다원 접속 간섭 제거기를 선택적으로 운용하기 위한 SDR 기술이 필요하다.

아래에서는 이러한 4세대 이동 통신 시스템을 위한 미래형 SDR 기술에 대하여 자세히 살펴보도록 한다.

2. 새로운 DSP 하드웨어 구성 기술

일반적인 SDR 수신기에서는 광대역 아날로그 RF Front-End를 거친 신호가 고속 ADC를 이용한 디지털 IF 기법을 통해 기저대역 신호로 직접 디지털 변환된다. 따라서 디지털 IF 및 기저대역 신호에 대하여 디지털 소자를 이용한 신호처리가 필요하다. 앞서 이미 언급한 바대로 4세대 이동 통신 시스템에서는 기저대역 신호 자체가 최대 수십 Mbps 급의 매우 빠른 비트 전송률을 지원하고, IF 대역 역시 일반적으로 수십 MHz 이상이므로 결국 이들 신호의 디지털 처리를 위한 소자의 동작 속도는 매우 빨라야 한다. 이러한 동작 속도의 제한 때문에 SDR에서 고속 디지털 신호 처리는 대부분 ASIC이나 FPGA를 이용하고 있으나, SDR에서 요구하는 유연한 재구성 특성을 만족하기 위해서는 역시 범용 DSP를 사용하는 것이 가장 적합하다.

범용 DSP 개발 기술이 빠른 속도로 발전하고 있으나, 현재의 대부분 DSP들의 경우는 4세대 심지어는 3세대 이동 통신 시스템에서 요구하는 동작 속도를 만족하지 못하는 현실이다. 예를 들어, 채널 당 30-50MHz의 표본화률이 이용되는 경우 현재의 이동 통신 시스템 수신기에서 기저대역 신호처리를 위해 5000MIPS 이상이 요구되며, 최신 DSP로도 이러한 동작 속도를 만족하지 못하고 있다[12]. 결국 DSP 기술의 발전을 감안하더라도 더욱 빠른 동작 속도를 요구하게 되는 4세대 시스템에서는 단일 DSP를 이용한 SDR 송수신기의 구성은 현실적으로 어렵다고 볼 수 있다.

이러한 문제점에 대한 해결 방법으로서, 기지국 상에서 다중 DSP를 동시에 사용하는 SDR 기술을 고려할 수 있다. 그림 16에서는 SDR 수신기에서 필요한 신호 처리 기능을 분리하여 이들을 여러 Branch로 구성된 트리 구조로 배열한 후 각각의 Branch에서 요구되는 기능을 별도로 처리하는 MDTs (Multi-DSP Tree Structure) 구조[19]를 도시

한다.

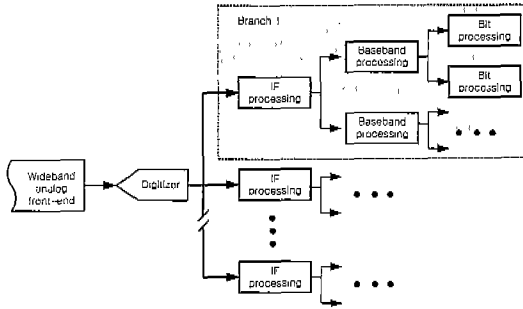


그림 16. SDR 수신기에서 트리 구조의 신호 처리 단계 분리.

실제적인 응용에서는 동작 속도의 제약 등을 고려하여 그림 16의 각 기능 요소 혹은 이들 기능 요소의 그룹을 ASIC, FPGA 혹은 DSP 등으로 구현할 수 있으며, 적절한 기능 분할을 통해 각각의 Branch 혹은 Sub-Branch를 하나의 DSP로도 구현할 수도 있다. 이러한 MDTS 방식의 장점으로는 구조적인 단순성 및 여러 채널간의 독립성을 유지하므로 높은 효율을 얻을 수 있다는 것을 들 수 있다. 하지만, 다중 IF 채널을 처리하기 위해서는 그림 16에서처럼 동일한 기능을 수행하는 IF 처리부를 다수 배치하여야 하므로 이 부분에서의 효율이 감소하며, 각각의 Branch가 특정 채널 형태에 따라 구성되므로 진정한 의미의 SDR 기술을 적용한 것이라고는 보기 어렵다. 특히 다수의 고속 서비스를 동시에 처리하는 4세대 시스템에서 Branch별로 DSP를 이용하는 경우 잉여 처리 능력을 과도한 처리가 요구되는 다른 Branch로 유연하게 재배치하기가 어렵다는 단점이 있다.

이러한 MDTS 구조의 문제점을 해결하는 방안으로서 MDNS(Multi-DSP Network Structure) 구조(19)를 고려할 수 있다. 이 방식은 최근의 고속 유선 네트워크 기술에 기반하여 시스템에서 요구되는 기능을 분산 배치하고 이들 각각을 고속 네트워크로 연결하는 분산 처리 구조이며, 그림 17은 이러한

MDNS 구조의 예를 도시한다. 여기서 각 기능의 처리는 ASIC, FPGA, DSP 등을 이용하거나 CPU 혹은 범용 컴퓨터 등을 이용할 수도 있다. 처리가 필요한 기능은 ADC, 디지털 IF, 기저대역 등을 포함하며, 모든 처리 유닛(Processing Unit)들은 네트워크와 이들 사이의 공통 인터페이스를 제공하는 특별한 어댑터를 사용하여 네트워크를 통해 데이터를 주고받을 수 있다. 이러한 방법에 의해 처리 유닛들은 효율적인 방법으로 서로 정보를 교환하고 분산된 형태로 서로 협력하여 주어진 무선 통신 기능을 수행한다.

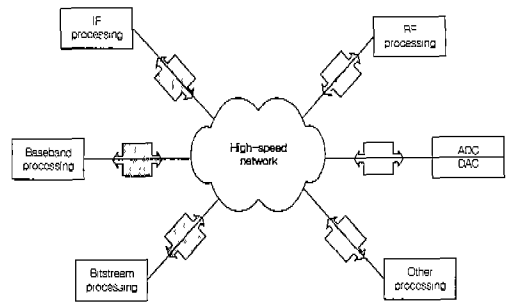


그림 17. MDNS(Multi-DSP Network Structure) 구조.

SDR의 관점에서 MDNS는 여러 장점을 갖고 있다. 첫째로, 나머지 시스템의 하드웨어 설정에 전혀 영향을 주지 않으면서 필요에 따라 유연하게 처리 유닛을 추가 혹은 삭제 가능하다. 또한 소프트웨어적인 방법에 의해 쉽게 시스템을 재구성할 수 있으며, 마지막으로 분산 처리를 통한 효과적인 자원 분배 및 활용이 가능하다. 하지만, MDNS는 네트워크 스위칭에 필요한 패킷 오버헤드로 인해 MDTS에 비해 효율이 저하되며 또한 지연 시간이 길어진다는 단점이 있다. 따라서 MDNS 방식에 의해 SDR 기지국을 구축하는 경우 사용되는 고속 네트워크의 처리율과 지연 성능이 매우 우수해야만 한다. 이러한 이유로 MDNS의 초기 시스템들은 온보드(On-Board) 네트워크 형태로 구축되는 것이 타당하며, 향후

ATM(Asynchronous Transfer Mode)이나 전광(All Optical) 네트워크 등을 이용하는 방안을 고려할 수 있다. 실제 MDNS에서 사용되는 네트워크의 속도에 대한 요구 조건은 매우 심하다. 예를 들어 현재에도 몇몇 SDR 수신기에서 16비트, 100 Msps ADC 처리 유닛이 필요하며, ADC 처리 유닛의 데이터를 디지털 IF 처리 유닛으로 전송할 경우 네트워크에서는 전송 오버헤드를 포함하여 약 2 Gbps의 전송 속도를 지원하여야 한다. 3세대 혹은 4세대 이동 통신 시스템에서는 더욱 빠른 ADC가 요구될 것으로 예측되므로 10Gbps 이상의 전송 속도를 지원하는 초고속 네트워크가 필요하다. 결국 향후 MDNS 구조를 위한 네트워크는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기법 등을 이용하는 전광 네트워크가 가장 유력하다고 볼 수 있다.

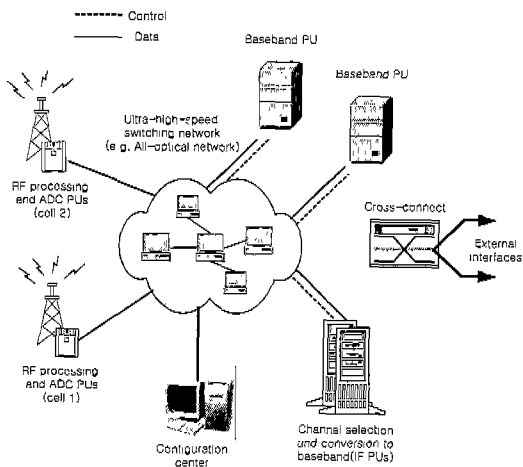


그림 18. 분산형 셀룰라 시스템 기지국의 구성.

MDNS 방식을 확장할 경우 광역 고속 네트워크를 이용하여 지리적으로 분산된 SDR 기지국을 구축할 수 있다. 여기서 각 처리 유닛은 지리적으로 멀리 떨어진 별도의 장소에 위치할 수 있으며, 이러한 시스템은 수요에 따라 빠른 서비스 확장이 가능하므로 훨씬 효율적이라 할 수 있다. 예를 들어 셀룰라 시스

템에서 새로운 지역에 서비스가 필요할 경우 안테나와 ADC/DAC 처리 유닛만을 해당 지역에 설치하고 나머지 기능은 네트워크를 통해 연결된 나머지 처리 유닛들이 담당할 수 있다. 그림 18은 이러한 새로운 개념의 분산형 셀룰라 시스템 기지국의 구성을 도시한다.

3. 가상 라디오 (Virtual Radio) 기술

앞서 살펴본 다중 DSP 구조와 유사한 형태로 단일 혹은 다중 CPU를 내장한 범용 워크스테이션 컴퓨터를 SDR 기능의 구현을 위해 이용하는 방안이 최근 들어 제안되었으며, 이러한 접근 방법을 가상 라디오(Virtual Radio)라 한다[20]. 20Msps 속도의 신호를 처리하는 데는 샘플 당 약 10 Instruction Cycle이 요구되며 이러한 처리 속도는 2-4개의 CPU를 내장한 최근의 범용 워크스테이션으로 구현할 수 있다. 또한 최근의 범용 워크스테이션들은 360-400Mbps에 이르는 메모리간 전송 속도와 550Mbps 이상의 입출력 전송 속도를 제공한다. 따라서 범용 워크스테이션을 이용한 SDR 기지국 수신기의 구성이 가능해지고 있으며, 최근 MIT에서 추진하고 있는 SpectrumWare 프로젝트가 이러한 가상 라디오 개념을 이용한 시스템 구축의 대표적인 예이다[21].

이러한 가상 라디오는 다음과 같은 여러 장점을 갖는다. 첫째로 범용 워크스테이션의 프로그래밍 환경은 FPGA나 DSP와 같은 특정 하드웨어 프로그램에 비해 훨씬 용이하다. 따라서 소프트웨어를 이용한 새로운 기능의 추가 및 이에 따른 실험을 매우 효과적으로 수행할 수 있다. 둘째로, 시스템에 새로운 소자를 설치하거나 기존의 소자를 향상하는 방법이 매우 용이하다. 셋째로, 동일 플랫폼에서 무선 통신 시스템과 다른 일반적인 응용 소프트웨어를 동시에 수용함으로써 이들 간의 결합을 통한 다양한 응용이 가능해진다. 또한 워크스테이션 내 CPU의 유연성과

메모리에 의한 시간 관리 기능을 통해 신호 처리를 위한 독창적인 알고리즘들을 용이하게 구현할 수 있으며 이러한 특성은 DSP를 사용할 경우의 제한된 개발 환경과 크게 구분된다. 여기에 덧붙여 채널의 시변 특성에 따라 SDR 시스템의 신호 처리 기능을 수시로 변경하여야 하는 경우 채널 추정 등의 기능을 배경 작업으로 항상 수행할 수 있어 매우 효과적으로 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

가상 라디오는 범용 워크스테이션을 이용하여 SDR 송수신기를 구현한다는 점에서 기지국에만 적용될 수 있다는 단점이 있으나, 빠르게 향상되는 컴퓨터 성능을 고려할 때 향후 차세대 이동 통신 시스템에서 SDR을 위한 중요 기술로 활용될 수 있으리라 판단된다.

4. 인지 라디오(Cognitive Radio) 기술

4세대 이동 통신 시스템은 다양한 규격의 물리계층의 혼재 및 사용자마다 특유의 응용 서비스 요구라는 특징으로 정의될 수 있다. 이러한 시시각각 변화하는 사용자의 다양한 서비스 요구를 효과적으로 만족하여 각 개인에게 다양한 맞춤 서비스를 제공하기 위해서 좀 더 지능적인 SDR 플랫폼이 필요하다. J. Mitola는 모델 기반의 추론(Model Based Reasoning) 기법을 적용하여 라디오 에티켓(Radio Etiquette)의 생성, 계획 및 사용에 있어 최소한 체스 경기용 프로그램 수준의 복잡도를 갖는 SDR를 인지 라디오라 칭하였다[22]. 여기서 라디오 에티켓은 RF 대역, 무선 접속 방식, 프로토콜, 그리고 무선 주파수 이용을 조정하는 시공간 패턴들을 모두 포함한다. 인지 라디오에서는 Radio Knowledge Representation Language라는 언어를 이용하여, 라디오 에티켓, 소자, 소프트웨어 모듈, 신호 전파, 네트워크, 사용자 요구, 응용 시나리오 등을 표현함으로써 사용자의 요구에 대한 자동화된 추론을 지원한다. 이러한 인지 라디오는 앞으로 4세대 이동 통

신 시스템에서 사용자마다 개인화된 서비스를 제공하는 지능적인 SDR 플랫폼을 개발하는 기반 기술로 활용될 것으로 전망된다.

5. SDR 기반의 스마트 안테나 및 다원 접속 간섭 제거 기술

4세대 이동 통신 시스템은 가변 전송률 멀티미디어 데이터의 고품질 송수신을 목적으로 하고 있으며, 이를 위해 송수신시 채널 특성을 고려하여 최적의 시스템 성능을 유지하기 위해 가변 다중 접속 방식, 채널 부호화 및 기저 대역 모델 방식들간의 유기적이고 적응적인 조합으로 송수신 처리단이 구성될 것으로 예상된다. 따라서 이와 같이 송수신 처리 기능들을 유연하게 조합하고 이를 운영하기 위해서는 기존의 특정 기능들의 조합만으로 동작하는 현재의 디지털 기지국/단말 구조를 탈피하여, 통합 송수신 플랫폼 상에서 라이브러리화된 소프트웨어 모듈들을 적절히 선택하여 송수신 기능을 수행하는 SDR 기반의 구조가 필수적이다. 특히 제한된 주파수 스펙트럼 자원을 고려할 때 4세대 이동 통신의 추구 목적인 고품질 고속 데이터 전송을 만족하기 위해서는 부수적으로 기지국 혹은 사용자 단말 상에서 시간 영역 혹은 공간 영역을 망라하여 정교한 간섭 제거 기술의 수행이 필연적으로 요구된다. 이를 위하여 이미 2세대 및 3세대 이동 통신 시스템에서 심각하게 고려되었으나 구현상의 복잡도 및 그 효율성에 대한 불확실성에 의해 상용화가 미루어져 왔던 스마트 안테나 기술과 다원 접속 간섭 제거 기술이 현재 급속도로 발전하고 있는 디지털 신호처리 기술 및 관련 처리 부품들의 저렴화 및 고성능화에 힘입어 4세대에서는 구현 가능한 핵심 기술들로 부상되고 있다.

스마트 안테나 기술은 유한한 주파수 자원의 제한성을 극복하기 위하여 공간상에서 분별 가능한 이동 통신 신호원들의 Signature들의 추출과 이들 정보의 비종속적인 특성을 최대한 활용하여 수신 신호의

고품질화를 실현하기 위한 기술이다. 다시 말해서 기지국 상에서는 다수의 안테나를 사용하여 적응적으로 원하는 신호원 및 이에 관련된 다중 경로 성분들의 입사 방향으로 주빔(Main Lobe)들을 형성하고 나머지 간섭 사용자들에게는 널빔(Null Beam)을 생성함으로써 사용자들간의 간섭을 최소화하고 다이어시티 이득을 최대화하게 된다. 따라서 이러한 적응 빔형성 과정은 종전 아날로그 방식으로는 불가능하며 디지털 처리에 의한 고속 빔형성이 불가피 하게 요구 된다. 이러한 스마트 안테나 기술의 도입으로 인해 공간상의 간섭원 제거에 의한 네트워크 상의 용량 증대와 사용자 위치에 기반한 핸드오프 알고리즘, 빔이득의 자유로운 조절 능력에 의한 최적화된 전력 제어 등을 실현할 수 있다. 또한 다양한 방식의 물리계층 규격을 포함하는 4세대 이동 통신 시스템에서 요구하는 높은 QoS를 만족하기 위하여 기지국 혹은 단말기 상에서 시변 상황에 따라 적절히 동작하는 빔형성 알고리즘을 선택하고 이를 운용하기 위해서는 SDR 구조를 기반으로 한 스마트 안테나 시스템이 필수적으로 요구된다. 그림 19는 다수의 안테나를 갖는 SDR 기반의 기지국 시스템에서 사용되는 스마트 안테나 구조를 나타내며, 각각의 안테나 성분은 하향 변환기와 ADC를 갖고 있는 반면 그 이후는 SDR 기반의 소프트웨어 다운로드만으로 알고리즘 및 운영 규격에 대한 재구성성이 가능한 적응형 빔형성기와 복조기들을 사용하게 된다(23,24).

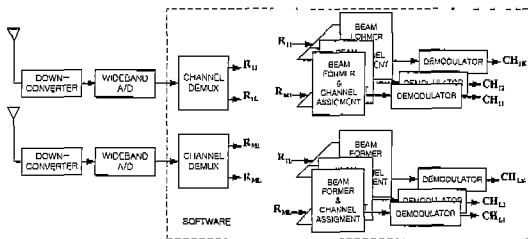


그림 19. SDR 기반의 기지국 스마트 안테나 시스템 블록도.

4세대 이동 통신 시스템은 다중 고속 전송물의 다

중 채널 전송들을 지원해야 하며, 이로 인해 현존하는 제 2세대 및 3세대 이동 통신에 비해 간섭에 의한 성능 저하가 극심할 것으로 예상된다. 따라서 4세대 이동 통신 시스템에서는 만족할 만한 QoS를 갖는 음성, 데이터, 영상 등의 멀티미디어 정보를 송수신하기 위해서는 다원 접속 간섭 제거 기술이 필수적으로 요구된다(25). 특히 4세대 이동 통신 신호의 특징이 가변 전송률을 갖는 다채널 신호인 점을 고려할 때, 전송시의 채널 특성과 채널별 데이터 전송률을 고려하여 적절한 성능을 유지하면서 계산상의 측면에서 저복잡도로부터 고복잡도를 지나는 고성능 간섭 제거 기술들이 유연성 있게 선택되어 사용될 전망이다. 특히 원하는 사용자의 수신 신호를 제외한 다른 사용자들을 간섭 성분으로 여기던 종전의 단일 사용자 검파기와는 달리 수신되는 모든 사용자의 신호를 검출함으로써 수신 신호로부터 간섭 성분을 제거하는 다원 사용자 검파기는 다양한 무선통신 시스템 규격을 요구하는 4세대 이동 통신 시스템에서는 새로운 서비스와 QoS 보장에 제한이 되었던 다중 사용자 간섭 문제를 혁신적으로 해결 할 것이다.

현존하는 2세대 및 3세대 시스템에 그 적응성이 검토되어 온 다양한 형태의 간섭 제거 기능들은 사실상 사용자수에 비례하여 많은 수의 정합 필터들을 필요로 하고 데이터 전송률 혹은 단일 사용자가 가질 수 있는 채널 수에 따라 정합 필터의 형태 및 수가 변화될 수 있으므로 인해 직접적인 적용이 지연되고 있는 상황이다. 특히 기존의 디지털 신호처리 기술에 기반한 간섭 제거 알고리즘들의 처리 속도 및 처리 용량의 부족함으로 인해 사실상 다중 사용자 검파와 같은 실시간 간섭 제거 기술의 실현 가능성이 부정적이었다. 반면 앞으로 디지털 신호처리 기술 및 프로세서의 발전 속도를 감안할 때 4세대 이동 통신 시스템에서는 간섭 제거 기술도 실현 가능한 핵심 기술로 부상할 것으로 내다본다. 그림 20은 SDR을 기반으로 한 수신기 상에서 FPGA와 DSP로 간섭 제거기를 실현하기 위한 신호처리 시스템을 나타낸 것이다

[25]. 이 SDR을 통한 접근 방법은 다양한 데이터 전송률을 갖는 다중 주파수 대역을 이용하는 물리계층 신호들을 채널별로 분리하여 각 채널별로 다양한 QoS 요구 사항들을 만족할 수 있도록 동적인 알고리즘의 재구성성을 통하여 간섭 제거 기능을 처리하게 된다.

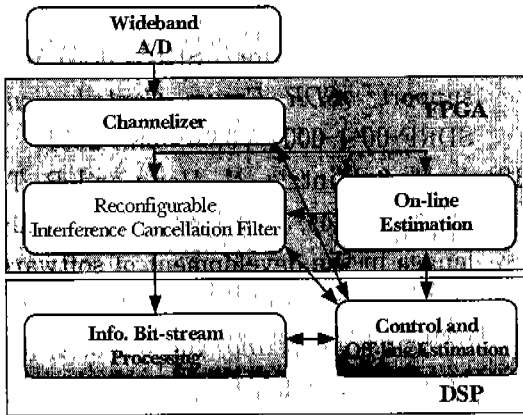


그림 20. SDR 기반의 간섭 제거기가 포함된 수신 기능 블록도.

V. 결론

본 논문에서는 향후 다양한 무선 통신 규격들의 통합 수용을 위한 SDR 기술의 표준화, 연구 개발 동향 및 핵심 기술에 대하여 정리하였다. 또한 IMT-2000 이후의 4세대 이동 통신 시스템을 위한 SDR 주요 기술에 대하여 알아보았다. 이러한 주요 기술로서 새로운 DSP 하드웨어 구성 기술, 가상 라디오, 인지 라디오 및 SDR 기반의 스마트 안테나 및 다원 접속 간섭 제거 기술 등을 들 수 있다. IMT-2000 이후의 4세대 이동 통신 시스템에서는 다양한 규격의 무선 네트워크들 간의 유연한 인터페이스를 보장하기 위해 재구성 가능한 SDR 플랫폼이 절실히 요구되며, 결국 미래의 무선 통신 분야에서의 경쟁력 확보를 위해 SDR에 대한 연구 및 개발에 더욱 박차를 가해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글 :

본 논문은 2000년도 과학기술부 지원 국가지정연구실 사업의 일환으로 연구되었습니다.

※참고문헌

- [1] W. Tuttlebee, "Software radio - Impacts and implications," *Proc. Int'l Symp. Spread Spectrum Tech. & Appl. (ISSSTA '98)*, vol. 2, pp. 541-545, Sun City, South Africa, Sep. 1998.
- [2] 김종훈, 신요안, 임성빈, 이원철, 이승희, 정준, "다중 CDMA 신호를 위한 SDR 기반의 디지털 채널화기/역채널화기의 구현," *대한전자공학회지*, 제27권, 제4호, pp. 60-71, 2000년 4월.
- [3] N. J. Drew and M. M. Dillinger, "Evolution toward reconfigurable user equipment," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 39, no. 2, pp. 158-164, Feb. 2001.
- [4] <http://www.sdrforum.org>
- [5] R. L. Lackey, "SpeakEasy: The military software radio," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 33, no. 5, pp. 56-61, May 1995.
- [6] P. G. Cook and W. Bonser, "Architectural overview of the SPEAKeasy system," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, vol. 17, no. 4, pp. 650-661, April 1999.
- [7] W. Tuttlebee, "Software radio: Developments in Europe," *Proc. 1st Int'l Software Radio Workshop*, pp. 49-70, Rhodes, Greece, June 1998.
- [8] T. Yokoi *et al.*, "Software receiver

- technology and its applications," *IEICE Trans. Commun. (Special Issue on Software Defined Radio and Its Technologies)*, vol. E83-B, no. 6, pp. 1200-1209, June 2000.
- [9] 제1회 Software Defined Radio 워크숍 발표자료, 1999년 10월.
- [10] 한국산업기술평가원, *Technology Roadmap : 무선 통신 기기*, 산업자원부, 2001년 5월.
- [11] 황경호, 조동호, "Software defined radio 기술," *Telecommun. Review*, 제10권, 제1호, pp. 130-143, 2000년 1/2월.
- [12] R. Baines, "The DSP bottleneck," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 33, no. 5, pp. 46-54, May 1995.
- [13] D. B. Chester, "Digital IF technology for 3G systems: An introduction," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 37, no. 2, pp. 102-107, Feb. 1999.
- [14] S. Im, W. Lee, C. Kim, Y. Shin, S. H. Lee, and J. Chung, "Implementation of SDR-based digital IF channelizer/de-channelizer for multiple CDMA signals," *IEICE Trans. Commun. (Special Issue on Software Defined Radio and Its Technologies)*, vol. E83-B, no. 6, pp. 1282-1289, June 2000.
- [15] M. Cummings and S. Heath, "Mode switching and software download for software defined radio: The SDR Forum approach," *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 8, pp. 104-106, Aug. 1999.
- [16] E. Buracchini, "The software radio concept," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 38, no. 9, pp. 138-143, Sep. 2000.
- [17] S. Ogose, "Application of software radio to the third generation mobile telecommunications," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 2, no. 9, pp. 1212-1216, Sep. 1999.
- [18] N. S. Jamadagni, "A minimal signalling channel for SDR download support," *SDR Forum Contribution*, SDRF-00-1-0004-V0.00, Jan. 2001.
- [19] A. K. Salkintzis, N. Hong and P. T. Mathiopoulos, "ADC and DSP challenges in the development of software radio base stations," *IEEE Personal Commun. Magazine*, vol. 6, no. 4, pp. 47-55, Aug. 1999.
- [20] V. Bose, M. Ismert, M. Welborn, and J. Guttag, "Virtual radios," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun.*, vol. 17, no. 4, pp. 591-602, April 1999.
- [21] <http://www.sds.lcs.mit.edu/SpectrumWare>
- [22] J. Mitola III and G. Q. Maguire, Jr, "Cognitive radio: Making software radio more personal," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 37, no. 8, pp. 13-18, Aug. 1999.
- [23] A. Xavier, "Smart antennas in software radio base stations," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 39, no. 2, pp. 166-173, Feb. 2001.
- [24] J. Razavilar and K. J. R. Liu, "Software radio architecture with smart antennas: A tutorial on algo-

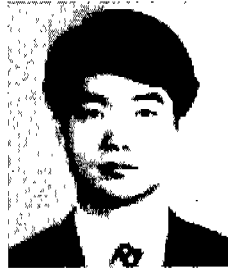
rithms and complexity." *IEEE Commun. Magazine*, vol. 37, no. 4, pp. 662-676, Apr. 1999.

- [25] I. Seskar and N. B. Mandayam, "Software-defined radio architectures for interference cancellation in DS-SS-CDMA systems," *IEEE Personal Commun. Magazine*, vol. 6, no. 4, pp. 26-34, Aug. 1999.



신 오 안

1987년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 Dept. ECE, Univ. of Texas at Austin (Ph.D.)
 1992년~1994년 Austin 소재 MCC(Microelectronics & Computer Technology Corp.) 콘소시엄 연구원
 1994년~현재 송실대학교 정보통신전자공학부 조교수
 1998년~현재 IEEE Korea Council Vehicular Technology Chapter 간사
 2001년~현재 한국통신학회 이동통신연구회 협동전문위원
 2001년~현재 대한전자공학회 통신연구회 간사
 2001년~현재 한국통신학회 학술위원회 간사
 주관심 분야 : CDMA 및 다중반송파 모델, 통신신호처리, Software Defined Radio



이 원 철

1986년 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 Dept. of EE, Polytechnic University at New York (Ph.D.)
 1994년~1995년 Postdoctoral Fellow at Polytechnic University
 1995년~현재 송실대학교 정보통신전자공학부 조교수
 1998년 한국음향학회 산학협동분과 임원
 1998년 한국통신학회 논문지 통신신호처리분과 편집위원
 1999년 한국전자통신연구원 스마트안테나연구팀 초빙연구원
 2000년 한국통신학회 논문지 통신신호처리분과 편집위원
 주관심 분야 : 통신신호처리, Software Defined Radio, 스마트안테나, CDMA 기반 무선측위