

## I. 서 론

Software Defined Radio(SDR)는 고성능의 DSP, 고속의 재구성 가능한(reconfigurable) FPGA와 광대역 ADC/DAC를 사용하여 기저대역에서 구성 가능한 신호(software-defined waveform)를 IF나 RF 대역으로 최대한 천이시켜 시스템의 구성을 유연하게 가지려는 개념으로써, 기존의 시스템(legacy system)과 새로운 규격(standards)의 출현에 의한 미래의 시스템 모두에 적용 가능한 경제적이며 효율적인 시스템을 구성할 수 있는 기반을 제공함을 그 목적으로 한다. 따라서, SDR 시스템은 기존의 시스템과는 달리 다양한 시스템 규격에 적용 가능하며, 사용자(user), 시스템 운용자(operator), 그리고 제조업체(manufacturer)에 시스템간의 상호 운용성(interoperability), 제품 life cycle의 최대화, 개발기간(time-to-market)의 최소화와 같은 혜택을 제공함으로써 미래에 대한 안정성(future-proof) 있는 시스템을 구성할 수 있도록 하여준다.

특히, 현재 제 3세대(3G) 이동통신 시스템으로 인식되어 전세계적인 표준화 작업이 진행되고 있는 IMT-2000 시스템의 단일표준제정의 어려움과 1G, 2G 시스템과의 Backward Compatibility, 그리고 Mobile Multimedia와 Wireless ATM으로 대변되는 4G 시스템과의 상호 운용을 고려하면, S/W Radio 시스템이야말로 경제적인 효율성을 유지하며 기존의 시스템과 미래의 시스템 모두에 안정성을 제공하는 시스템이 될 것이다.

Radio 시스템의 설계는 지난 50여년간 주로 고전적인 Superheterodyne 방식에 의존하여 왔으나,

SDR의 출현은 이러한 전형적인 방식으로부터의 변화를 가져오고 있으며, 특히 무선기지국의 경우에는 이러한 새로운 개념에 의한 설계로부터 가격, 크기, 복잡도, 전력 소비의 측면에서 얻는 잇점이 상당하다. 이러한 SDR 기술의 장점으로 하여 이동국보다는 기지국에 먼저 SDR 기술이 응용될 것으로 예상되며, 각 manufacturer는 단일 SDR 기지국 platform을 제작한 후, 적용 무선 규격에 해당하는 Modem이나 프로토콜 등을 SW로 download하여 제공함으로써 time-to-market과 가격 경쟁력 등을 포함한 혜택을 누릴 수 있다. 망 운용자의 측면에서는 복수의 무선 규격이 단일 기지국 platform에 의하여 지원되므로 망 전개(network deployment)가 간단해지며, SW 변경에 의하여 시스템의 upgrade를 용이하게 수행할 수 있다. 이는 또한, 1-G와 2-G를 지원하기 위한 Backward Compatibility와 3-G 또는 4-G 시스템으로의 Evolution과 Migration을 가능하게 하여 전반적으로 시스템의 life cycle을 증가시킨다. SDR 기술의 표준화를 추진하고 있는 SDR Forum에서는 약 2003년경부터 SDR 기지국을 이용한 망 전개가 시작될 것으로 예측하고 있으며, 점차로 Velcro 형태의 유연한 구조를 갖는 시스템에서 진정한 의미의 SDR 시스템으로 발전되리라고 예상하고 있다. 사용자의 잇점으로는 향상된 서비스와 시스템의 upgrade 사양을 거의 실시간으로 누릴 수 있다는 점 등을 들 수 있다.

## II. 개발 동향

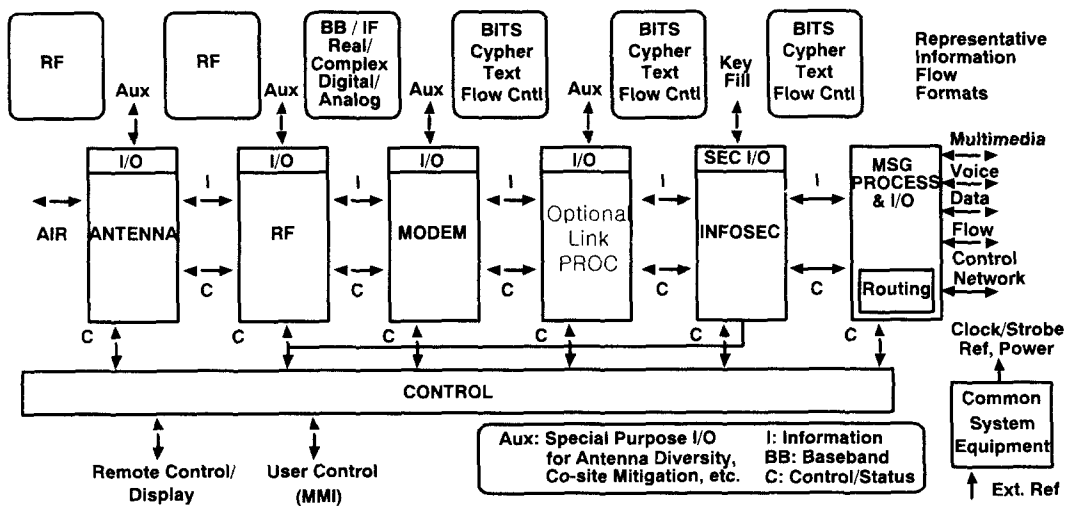
SDR의 표준화는 SDR Forum에서 이루어지고

있으며, SDR Forum은 그 자체가 표준화 기구라기 보다는 SDR 시스템의 구현에 필수 불가결한 SW Download나 HW, SW 모듈의 재구성을 위한 API (Application Program Interface) 구조를 설정하여 이종 시스템 간의 상호 운용이 가능하도록 ITU-R 과 같은 표준화 기구에 Forum의 결과를 입력으로 제출함을 그 목적으로 하여 설립된 기구이다. 현재의 SDR Forum은 그 시스템 개발에 있어 개방형 구조(Open Architecture)를 취하고 있으며, Hand-held/Mobile/Base Station의 software radio화에 중점을 두고 있으나, 조만간 Satellite와 Network Infrastructure 분야에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. [그림 1]은 SDR Forum에 의하여 제안된 SDR Functional Interface Diagram을 나타낸다<sup>[1]</sup>.

SDR 시스템의 구조는 A/D/A 변환기를 가능한 안테나 측에 가깝게 위치시켜 유연성이 부족한 RF와 IF Analog 부를 최소화하는 동시에 디지털 부를 최대화 함으로서, 가능한 많은 무선 기능을 software로 정의하여 프로그램 가능하게 하므로써 유연성을 최대화할 수 있도록 하는 구조를 그 기

본으로 하고 있다. 이 경우 광대역 안테나와 광대역 RF 증폭기의 사용은 필수적이다. 이러한 SDR 시스템 전반의 유연성은 RF 대역뿐만 아니라 채널 액세스 모드와 채널 변조 방법 등에도 적용되어, 새로운 규격의 출현에 대비한 경제적이며 효율적인 시스템을 구성할 수 있도록 하여준다<sup>[2],[3]</sup>. SDR 시스템은 DSP나 FPGA에 기저대역 모듈의 일부를 구현하는 Digital Radio System과는 그 기본 개념부터가 다르다.

세계적으로는 주로 미국과 유럽에서 SDR 시스템의 연구/개발이 이루어지고 있는 실정이며, 미국은 DOD(Department Of Defense)와 DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency)가 주관하는 국방과 관련된 SDR 시스템의 개발이 주류를 이루고 있는 반면, 유럽에서는 2G/3G/4G 무선통신시스템과 연관된 SDR 시스템의 개발에 그 초점이 맞추어지고 있다. <표 1>과 <표 2>에 각기 미국의 DARPA 주관으로 진행된 SDR 시스템인 SpeakEasy I/II와 GloMo I/II 프로젝트, 그리고 유럽의 ACTS와 ESPRIT 프로그램 내에서 추진되어



[그림 1] SDR Functional Interface Diagram.

〈표 1〉 미국의 SDR 시스템 개발 동향.

프로젝트	기 간	개 발 동 향
SPEAKeasy I	1990~1995.05	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 프로그래밍된 군용 개방 구조의 실현</li> <li>• 멀티 밴드, 멀티 모드 Radio(FDMA)</li> <li>• TMS320C40 프로세서 이용</li> <li>• Waveform: STAJ, MIL-STD-188-110A, MIL-STD-188-141A, PACER BOUNCE, SINCGARS, HAVE QUICK I, II</li> <li>• RF Band: 2 MHz~2 GHz(HF, VHF, UHF)</li> <li>• 데이터율: ~ 20 Kbps</li> </ul>
SPEAKeasy II	1995 ~ 2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Military/Civil/Commercial용의 HW/SW규격 정립</li> <li>• 개방 HW/SW 구조 추구(PCI 버스 이용)</li> <li>• Waveform: WNA, GPS, EPLRS, SINCGARS, LPI, SATCOM DAMA (TDMA), T1 Data waveform</li> <li>• RF Band: 2 MHz~2 GHz(L-band, VHF, UHF, Commercial)</li> <li>• 데이터율: 75 bps~10 Mbps</li> </ul>
GloMo 1	1994.09~1998.03	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 데이터율, 고용량, 저전력 무선 통신 시스템 구축</li> <li>• 다중경로 이득과 CCI 제거를 위한 RAKE 수신기의 기지국과 Handheld에 의 적용</li> <li>• Waveform: FM, CDMA</li> <li>• 데이터율: 30 Kbps~128 Kbps</li> <li>• Chip Rate: 450 Kcps~1.92 Mcps</li> </ul>
GloMo 2	1997.07~2000.09	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저전력 손실과 고속 동작을 위한 FPGA의 사용</li> <li>• Network 측면 고려</li> <li>• 공간/편향 다이버시티를 이용한 Smart Antenna의 Hand-held 적용</li> <li>• 낮은 BER을 위한 Adaptive Turbo Coding과 간섭제거 기능의 DSP에 의 한 구현</li> <li>• Waveform: Commercial CDMA, WINGS(Wireless Internet Gateways)</li> <li>• 데이터율: ~31.25 Mbps</li> <li>• Chip Rate: 500 Kcps</li> </ul>

Cf) GloMo: Global Mobile Information Systems

왔던 SDR 관련 프로젝트들의 개발 동향을 보인다. 이 밖에도 미국에는 Modular Software-Programmable Radio Consortium에 의하여 추진되는 JTRS (Joint Tactical Radio System) 등이 있다.

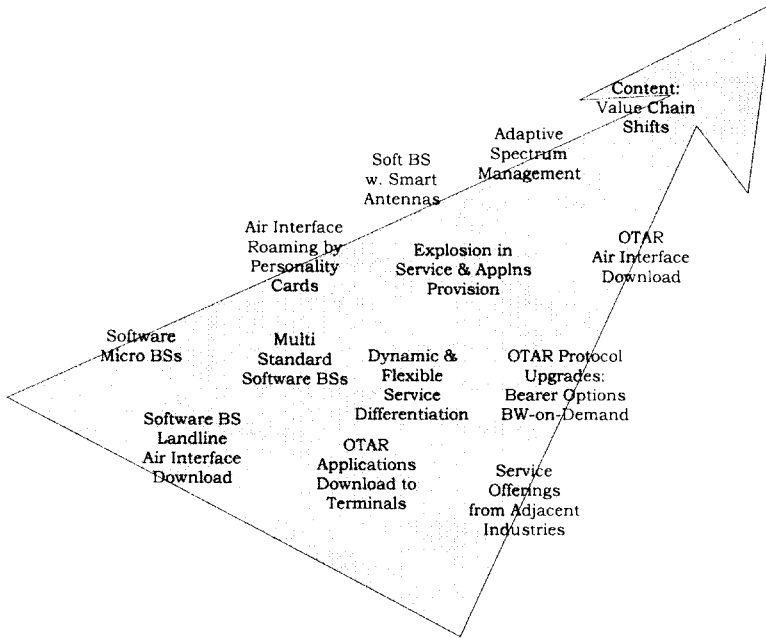
[그림 2]는 SDR 시스템의 구현에 필요한 핵심 기술의 진화 방향을 나타낸다.

[그림 3]은 이러한 핵심기술 각각의 중요도에 대한 MOS (Mean Opinion Score)로서 SDR 시스템 구현 시 우선적으로 고려되어야 할 설계 요소

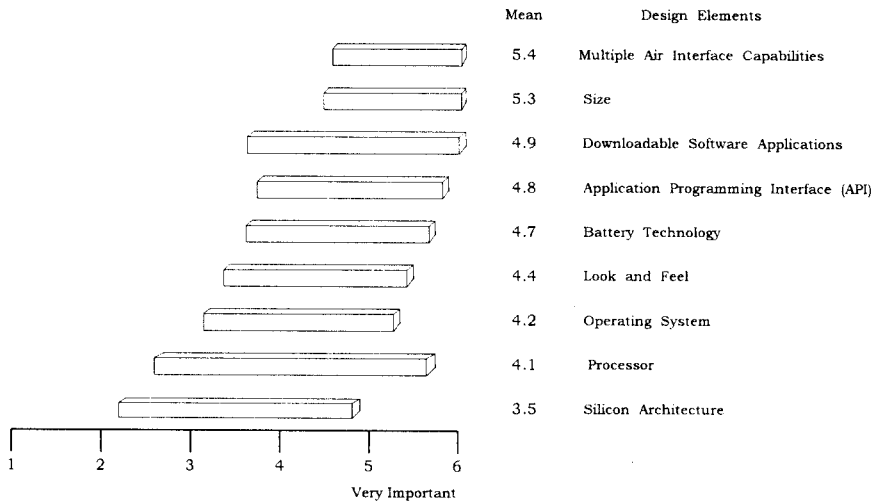
를 나타낸다.

### III. SDR 무선 기지국의 구성

SDR 시스템의 개발은 HW, SW, Infra 모두의 측면에서 COTS(Common Off The Shelf)의 접근 방식을 취한다. SDR 자체가 방대한 이종 시스템 간의 상호 운용 능력을 제공하여야 하기 때문에 이미 표준화되거나 사용중인 기존의 시스템과는



[그림 2] SDR 시스템의 구현에 필요한 핵심 기술의 진화 방향



[그림 3] SDR 핵심기술의 MOS

Backward Compatibility를 미래의 시스템과는 Migration/Evolution을 지원하여야 하며, 이러한 일련의 과정에 대한 최적의 접근 방식은 시스템내의 유연성

을 최대로 하여 다양한 규격을 모두 흡수할 수 있도록 하는 것이다. [그림 4]는 SDR 시스템이 무선 기지국에 적용되는 경우의 구성도를 나타낸다<sup>[2]</sup>.

〈표 2〉 유럽의 SDR 시스템 개발 동향

프로젝트	기 간	개 발 동 향
SORT (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: UTRA, S-UMTS</li> <li>• 목적: SW의 이동성(SW portability)과 HW의 재구성(HW reconfigurability)을 위한 PC나 Workstation용 터미널 demonstrator 연구개발 및 설계</li> </ul>
SUNBEAM (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: UMTS(W-CDMA)</li> <li>• 목적: 2G/3G 무선접속 표준들을 지원할 수 있는 혁신적인 SW 기지국 어레이 프로세싱 구조와 범형성 알고리즘 연구</li> </ul>
FIRST (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: DCS1800, UMTS(TD-CDMA)</li> <li>• 목적: (1) 3G 멀티미디어 서비스의 전송 능력을 지닌 IMT(Intelligent Multimode Terminals) 개발 (2) 3G 시스템의 기능, 파워와 비용 목표를 실현하는 구조와 기술 개발</li> </ul>
RAINBOW (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: GSM, DCS1800, DECT, UMTS</li> <li>• 목적: (1) 전송과 통제 기능을 가진 UMTS 무선접속 하부구조의 test-bed demonstrator를 구현 (2) Core/Access Network 상에서 B-ISDN call control capabilities와 ATM 전송을 제공하기 위하여 national host facilities를 이용함으로써 IBC(Integrated Broadband Communications)와의 연결과 상호 동작(interworking)을 실현 (3) 2G/3G간 유연한 이동(migration) 해결책 제시 (4) UMTS 시스템의 표준화에 기여</li> </ul>
SINUS (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: S-UMTS</li> <li>• 목적: 멀티미디어, 다중 통신서비스의 실현을 위한 HW 재구성(HW reconfigurable) 가능한 Terminal 구조의 연구와 구현</li> </ul>
FRAMES (ACTS)	1995.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: UMTS(TD-CDMA)</li> <li>• 목적: 데이터 서비스를 위하여 DSP platform 상에 소프트웨어적으로 구현된 광대역 기지국demonstrator와 이동국 단말기의 개발 및 구현</li> </ul>
MEDIAN (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: GSM, DECT, HIPERLAN</li> <li>• 목적: 멀티미디어 서비스 응용을 위하여 고속 무선 ATM망(wireless ATM network) 및 advanced high-capability programmable processor를 이용한 파일럿 시스템의 개발과 구현</li> </ul>
SUCOMS (ACTS)	1994.01~1998.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: DCS1800, UMTS</li> <li>• 목적: 3G UMTS 시스템에 적용하기 위하여 우수한 selectivity, sensitivity와 size reduction의 장점을 지닌 High Temperature Superconductivity(HTS) 기술에 근거를 둔 superconducting sub-system의 개발 및 구현</li> </ul>
PROMURA (Esprit 4)	1998.01~1999.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: GSM/DCS(유럽), AMPS/IS136/IS95/GSM(미국), UMTS</li> <li>• 목적: (1) 중요한 이동통신 표준들 (GSM/DCS/IS136/IS95/ GPS, UMTS)과 연동할 수 있는 단일 RF/IF 프로세싱 building blocks 개발 (2) 위에서 구현된 RF/IF chip을 포함한 시스템 demonstrator 구현</li> </ul>

〈표 2〉 계속

프로젝트	기 간	개 발 동 향
SLATS (Esprit 4)	1998.01~1999.12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: 없음</li> <li>• 목적: 다중 하드웨어 플랫폼들(multiple hardware platforms)에 적합한 2G/3G 시스템들에 대한 software libraries(real-time products와 시험 시스템의 high integrity functions를 포함) 개발</li> </ul>
IBMS	1996.04~2000.03	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적용 시스템: 새로운 개념의 시스템</li> <li>• 적용 주파수 대역: 5.2 GHz, 24 GHz</li> <li>• 목적: (1) ATM 전송에 기반을 둔 옥내/외 이동통신을 위한 저속과 고속 데이터 서비스의 결합 시스템 개발 (2) Smart Antenna를 적용한 시스템 구조 설계 (3) 유/무선 링크상의 진보된 변조, 코딩과 접속 기술 개발 (4) 타 무선 접속 시스템과의 연동 (5) 통합된 채널 접속</li> </ul>

Cf) ACTS: Advanced Communications Technology and Services

SORT: Software Radio Technology

SUNBEAM: Smart Universal Beam Forming

FIRST: Flexible Integrated Radio Systems Technology

RAINBOW: Radio Access Independent Broadband On Wireless

SINUS: Satellite Integration into Networks for UMTS Services

FRAMES: Future Radio Wideband Multiple Access Systems

MEDIAN: Wireless Broadband CPN/LAN for Professional and Residential Multimedia Applications

SUCOMS: Supercontacting Systems for Communications

PROMURA: Programmable Multimode Radio for Multimedia Wireless Terminals

SLATS: S/W Libraries for Advanced Terminal Solutions

IBMS: Integrated Broadband Mobile System

[그림 4]에서 각 모듈의 주요 기능은 다음과 같다.

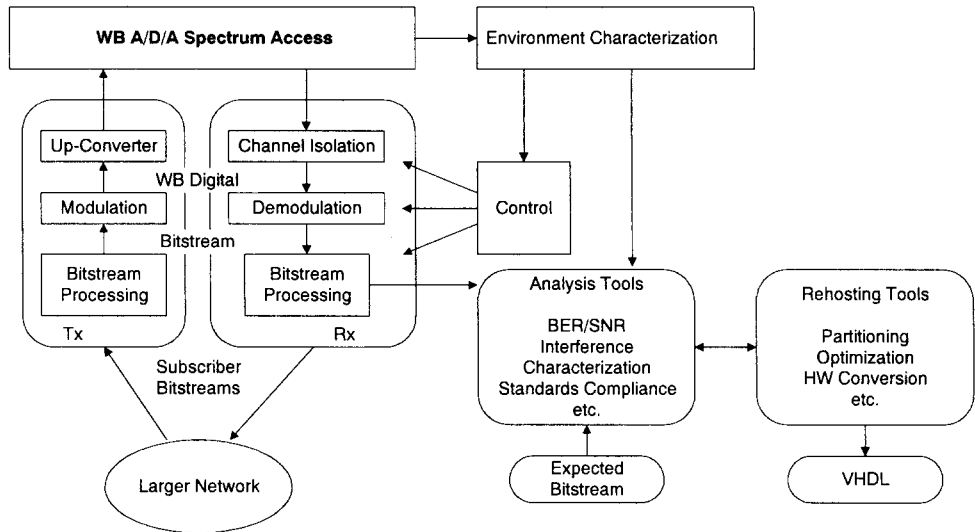
- 채널 처리부(Channel Processing Stream): 실시간으로 처리되어야 하며, 안테나 부, RF/IF Analog 부, Wideband A/D/A 변환부, Digital IF 처리부, 기저대역 처리부, Bitstream 부, Source 부 등으로 구성되고, 디지털 기저대역 파형에 디지털 캐리어를 가하여 샘플링된 IF 또는 RF 신호를 생성하거나 이의 역 과정을 포함한다.

- Environment Management Stream: 주파수, 시간, 공간 영역에서의 radio 환경을 특성화하는 역할을 수행하며, 채널 추정, 채널의 간섭 수준, 가입

자 위치 등의 정보를 실시간 수준으로 갱신한다.

- Software Tools: On-line 또는 off-line으로 시스템 분석, 신호처리, Rehosting 등을 행하며, HW에 근거한 성능향상의 경우와 SW에 근거한 성능향상의 경우로 구분할 수 있다.

전형적인 무선 기지국의 경우에는 각 주파수 채널 별로 별도의 송수신부가 필요하며, 이러한 송수신부는 각기 전력, 크기, 비용 등을 각기 소모한다. 이와 같은 기지국은 또한, 고정된 특정 무선 변복조 규격만을 지원하며, 모든 설계 변수들이 해당 채널에 적합하도록 조정되어 있다. 예로서, A와 B 대역 모두를 사용하는 AMPS의 경우에는 총 25 MHz가 할당되어 송수신 각기 12.5 MHz를 사용가



[그림 4] SDR 무선 기지국의 구성도

능하며, 셀 당 60 채널까지를 지원함으로써 60개 채널 각각에 대한 별도의 송수신부를 필요로 한다. 이 경우, SDR 개념에 근거한 기지국은 12.5 MHz의 전 주파수 대역을 각기 하나의 고성능 광대역 송신기나 수신기를 사용하여 송수신함으로써, 60개의 채널이 단일 radio stage에 의하여 처리된다. 수신된 각 채널은 digitization, digital mixing과 filtering의 channelization 과정을 거친 후, 각 채널별로 디지털 복조 과정에 의하여 원래의 신호로 복원된다. 이러한 디지털 송수신단은 30 KHz의 AMPS나 TDMA, 10 KHz의 NAMPS, 1.25 MHz의 CDMA와 같은 이종의 무선 규격에 적합하도록 기지국을 재 설정 가능하게 하며, 필요에 따라 한 기지국에서 복수의 무선 규격을 채널별로 지원할 수 있도록 하여준다.

SDR 기지국을 구현하기 위한 각종 핵심 기술 중 수신부 front-end의 설계 시 반드시 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 동작 속도: 넓은 주파수 영역 모두에 걸쳐

동작할 수 있는 동작 속도가 요구되며, AMPS와 관련된 시스템에서는 1024 \* 30 KHz에 해당하는 30.72 MSPS를, 그리고 GSM 관련 시스템에서는 39 MHz 또는 40.96 MHz를 기본 동작 속도로 사용할 수 있다.

- Dynamic Range: 가장 주의하여 고려되어야 할 설계 변수로서, 전형적인 협대역 시스템의 경우에는 각 radio가 특정 대역만을 처리하므로, 수신기는 원래의 협대역 송신신호의 SNR 성능이 최적화 되도록 이득을 조정하여 간섭신호를 제거하나, 광대역 SDR 시스템의 경우에는 수신되는 모든 주파수 영역의 신호가 모두 유용한 신호이기 때문에 협대역 시스템의 간섭 신호처럼 제거할 수 없으며, 이러한 수신 신호는 일반적으로 매우 큰 dynamic range를 갖는다. 강한 신호를 전송하는 근접한 TDMA 이동국과 TDMA 이동국에 비하여 상대적으로 적은 전력을 사용하며 셀 경계에 위치한 CDMA 이동국의 경우를 예로 들 수 있다. 따라서, 수신기는 충분한 sensitivity 를 가지고 약한 신호가 강한 신호에 의하여 무시되지 않으며 정확히

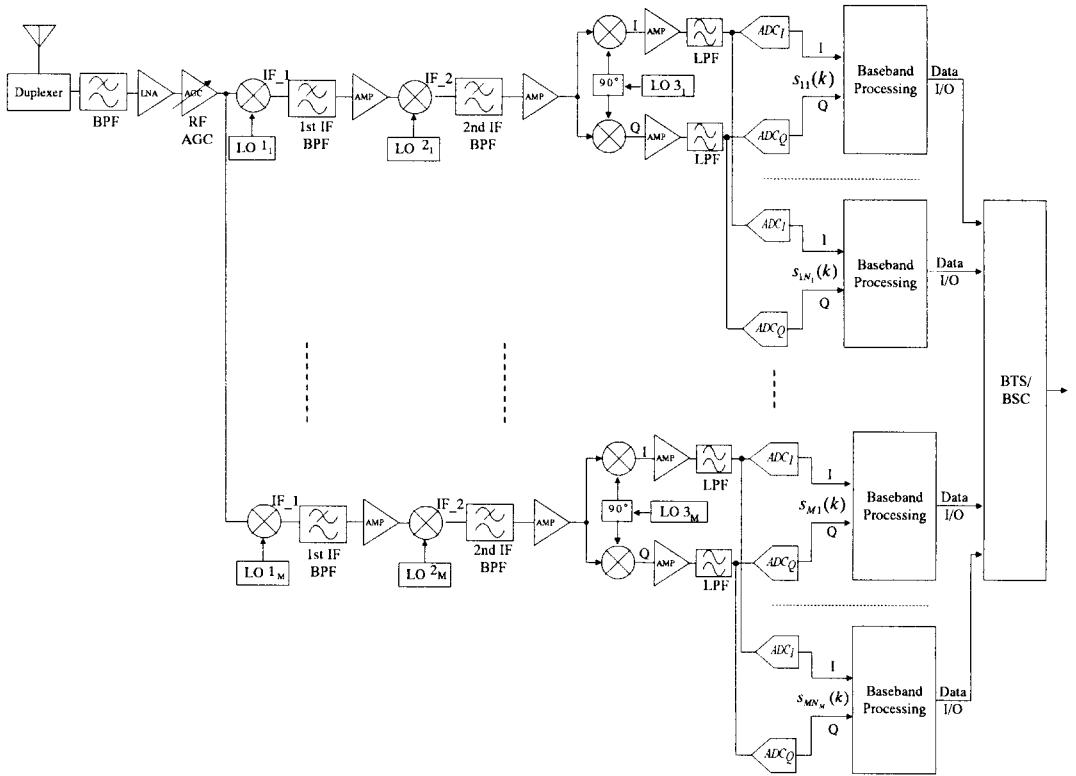
복원될 수 있도록 매우 큰 dynamic range를 가져야 한다. 또한, distortion이나 harmonics에 의한 가상 신호를 최대한 억제하도록 선형성이 보장되어야 한다. ADC의 dynamic range와 관련된 주요 설계 변수로는 SFDR(Spurious Free Dynamic Range)과 IMD(InterModulation Distortion)를 들 수 있으며, 일반적으로 약 80 dB의 SFDR이 요구되나, GSM의 경우에는 91 dB(-104 dBm ~ -13 dBm)의 SFDR이 보장되어야 한다. FDM transmultiplexing의 경우에는 캐리어들의 세기가 거의 동일하기 때문에 이러한 조건이 완화될 수 있다. IMD는 ADC 전체 scale의 약 90 dB 이하로 유지되도록 한다.

선형 광대역 mixer와 증폭기도 SDR 기지국 설계 시 신중히 선택되어야 할 COTS 소자이나, 특히 기지국의 경우, 전반적인 transceiver의 성능을 좌우하는 가장 중요한 COTS 소자는 단연 A/D/A 변환기이며, 송신기의 경우에는 SFDR 측면이 보다 더 강조되어야 한다. 광대역 신호에 대한 COTS ADC의 한 예로는 12-bit 65 MSPS로 동작하는 Harris Semiconductor의 HI5865를 들 수 있으며, 송신기의 SFDR 측면을 고려한 DAC로는 12/14-bit 100 MHz로 동작하는 HI5731/5741을 들 수 있다. 이러한 A/D/A 변환기는 기지국 내 모든 채널이 공유할 수 있게 되어, 각 채널이나 사용자 별이 아닌 단일의 A/D/A 변환기를 사용하여 기지국이 구성된다. 10~12 MHz bandwidth를 가진 D-AMPS Uplink의 경우에는 13~14 bit 정도의 ADC를 필요로 하며, GSM Uplink의 경우는 16-bit 정도를 필요로 한다.

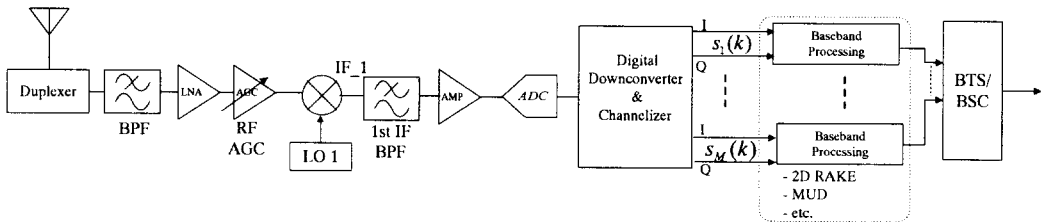
프로그램 가능한 Digital Down Converter는 일반적으로 AD 변환된 IF 디지털 신호를 down-conversion하고 tuning, filtering 한 후, 디지털 기저대역 신호로 decimate 한다. Digital Up Converter는 이와는 반대로 디지털 기저대역 신호를 변조, upconversion, interpolation, summation 하여 디지털

IF 신호를 생성하는데, 디지털 영역에서 신호의 합은 RF power combiner를 필요치 않게 한다. 이와 같이 생성된 송신 신호는 그 진폭의 변화가 매우 심하기 때문에, 신호의 송신을 위한 증폭기(MCPA: Multi-Carrier Power Amplifier)의 비선형성에 대한 의존도를 신중히 고려하여야 하며, 일반적으로 기지국 소자 중 가장 가격의존도가 큰 MCPA에서의 불필요한 IM의 억제를 위하여는 feedforward compensation 기술을 채택한다. Harris Semiconductor의 HSP50214와 HSP50215는 52 MSPS의 디지털 IF 신호에 대하여 위와 같이 동작하는 Programmable Digital Down/Up Converter이다. 이러한 Digital Down Converter(DDC)의 또 다른 역할은 광대역 디지털 신호로부터 각 carrier 별로의 디지털 신호를 추출하는 channelization을 수행하는 것이다. 이러한 channelizer의 복잡도는 여러 사용자가 한 채널을 사용하는 CDMA와 같은 광대역 시스템에서보다는 사용자를 30 KHz 채널에 의하여 구분하는 D-AMPS와 같은 협대역 시스템의 경우에 보다 심각해지며, 광대역 수신기 구성 블록 중 가장 큰 복잡도를 갖는다. 즉, COTS DDC 칩을 사용하는 경우에는 수신 채널의 수에 비례하여 DDC 수가 선형적으로 증가함으로써, 광대역 수신기의 복잡도도 이에 비례하여 증가한다. 수신 채널의 수가 많은 경우에는 transmultiplexer 형태의 DFT(Discrete Fourier Transform) Filter Bank가 사용되나, DFT Filter Bank 후의 baud rate와 채널 spacing을 일치시키기 위한 별도의 처리과정이 필요하다. [4]에서는 이러한 전형적인 DFT Filter Bank의 단점을 보완한 OFB(Opened Filter Bank) Channelizer를 제안하였으며, 이러한 OFB Channelizer의 복잡도는 수신 채널의 수와 무관하게 되고, 채널당 전형적인 DFT Channelizer에 비하여는 약 2배, 그리고 각 수신 채널을 개별적으로 추출하는 channelizer에 비하여는 약 50배의 복잡도 감소





[그림 5] 복수의 무선 규격을 지원하기 위한 무선 기지국의 전형적인 수신부 구성



[그림 6] SDR 개념을 채택한 무선 기지국 수신부의 구성

를 보인다.

이와 같은 SDR 기지국 시스템에서는 채널 간격, 채널 bandwidth와 같은 특정 시스템 관련 RF parameters 뿐만 아니라 변조 방식까지도 디지털 영역에서 SW 등에 의하여 용이하게 변경 가능하다. AMPS와 GSM 기지국의 SDR 구현을 위한 resource estimation은 각기 [2]와 [5]를 참고로 한

다.

복수의 무선 규격을 지원하기 위한 무선 기지국의 전형적인 수신부 구성과 SDR 개념을 채택한 무선 기지국 수신부의 구성을 각기 [그림 5]와 [그림 6]에 보인다.

이러한 기지국 관련 소자들의 효율적인 제작을 위하여 근래에는 HTS(High-Temperature Super-

conductivity) 기술이 사용되어, 소자의 크기를 현저히 감소시키는 동시에, 종전의 기술로는 불가능하였던 높은 Q값을 구현 가능하게 하였다. 참고로, dissipative losses 에 의하여 제한되는 수동 소자의 주파수 선택성은 일반적으로  $Q=20,000$  정도이나, HTS 기술로는 60 K에서  $Q=200,000$ 이 현재의 기술로 실현 가능하다. HTS 기술은 A/D/A 변환기의 구현에도 응용되어 높은 샘플링 주파수와 해상도를 실현하여, RF 신호를 직접 A/D/A 하려는 시도를 가능하게 하고 있다<sup>[6]</sup>.

#### IV. 간섭 억제 및 제거 기술

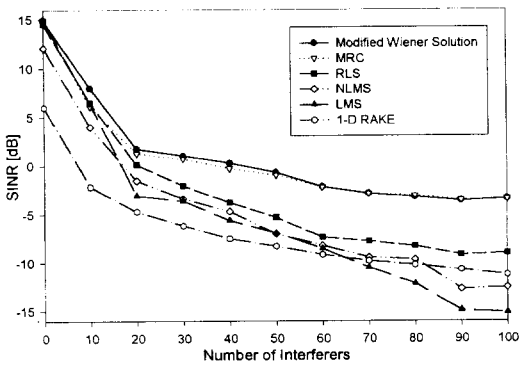
SDR 기지국에는 스마트 안테나와 다수 사용자 검출(MUD: Multi-User Detection) 기술과 같은 간섭 억제 및 제거 기술의 채택이 확실시 되고 있으며, IMT-2000과 같은 3-G 무선규격에서도 이와 같은 성능 향상 기술의 채택을 위하여 무선 규격 자체를 변화시키고 있다. 이러한 기술들은 SDR 시스템의 API를 통하여 그 구조와 알고리즘이 정의되고, 서비스 종류 등에 의하여 차별화 되어 사용될 전망이다. 하지만 이와 같은 성능 향상 기술들은 일반적으로 상당한 구현 상의 복잡도를 요구하므로, 고성능 DSP와 FPGA의 사용이 전제되어야 하며, 필요에 따라 SDR 기지국의 생산시 필요한 SW를 download 받거나, 또는 서비스 도중 망으로부터 관련 SW를 직접 download 받는다.

##### 4-1 스마트 안테나 기술

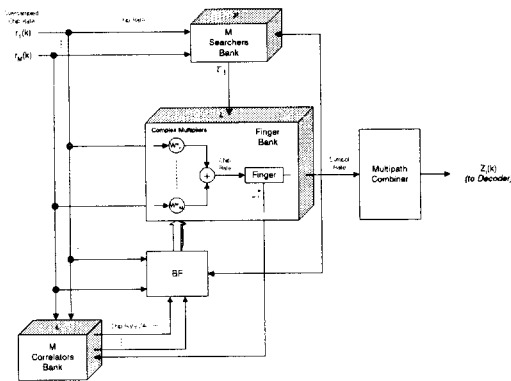
스마트 안테나 기술은 배열 안테나를 사용하는 기술로 정의될 수 있으며, 일반적으로 RF와 IF 영역에서 빔 형성을 주로 하는 Phased Antenna Array System과 Switched Beam(SB) System, 그리고 디지털 기저대역에서 빔형성 계수를 적응적

으로 갱신하는 Adaptive Antenna Array(AAA) System으로 구분될 수 있다. 이동통신 분야에서는 빔 형성 계수의 진폭과 위상을 모두 고려하는 SB와 AAA 기술을 주로 채택하고 있으며, 수신단의 구조는 사용자 신호와 간섭신호의 수와 분포 그리고 강도를 고려하여 결정되기 때문에 결론적으로는 무선 규격의 MA(Multiple Access) 방식에 의존한다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 CDMA 시스템에 적용되는 스마트 안테나를 예로 들어 그 수신단 구조의 한 예를 제시하며, 이 경우의 수신단은 공간과 시간 영역에 존재하는 사용자 신호를 SFIR(Spatial Filtering for Interference Reduction)의 개념으로 선택적으로 수신하기 때문에 2-D RAKE 수신기라고도 불리워진다. 이러한 스마트 안테나 기술은 시스템의 자원을 늘리기 위한 SDMA(Spatial Division Multiple Access)의 차원에서 적용될 수도 있다. CDMA 시스템에서는 SRB(Spatial Reference Beamforming), TRB(Temporal Reference Beamforming), SSRB(Signal Structure Beamforming) 빔 형성 알고리즘 중 주로 TRB 빔 형성 알고리즘을 사용하고 있다. MUSIC, ESPRIT등의 SRB 알고리즘은 angular dispersion이 적은 채널 환경만을 지원하고 subspace 방법과 같은 별도의 접근방식을 취하지 않는 한 신호의 수가 배열 안테나의 수보다 많아질 수가 없어, 광대역 특성에 의하여 다중 경로 페이딩 채널 하에서 동작하며 code와 frequency를 모두 시스템 자원으로 이용하여 동시 사용자 수가 많은 CDMA 시스템에는 적합치 않다. 또한, Blind 빔 형성으로도 일컬어지는 CMA(Constant Modulus Algorithm) 등의 SSRB 알고리즘은 그 수렴성에 문제가 있어 아직은 실 상황에 적용하기가 무리인 상태이다.

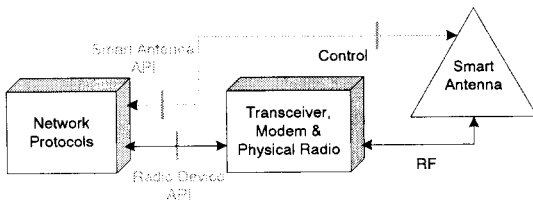
[그림 7]은 Carrier Frequency=2 GHz, 3.6864 Mcps PN Chip Rate, 8 Antenna Array 시스템에서 고속 데이터 서비스 경우의 1-D RAKE 수신기



[그림 7] 고속 데이터 서비스 경우의 빔 형성 SINR 성능 비교.



[그림 8] 심볼 서치 빔 형성을 채택한 CDMA 칩-레벨 2-D RAKE receiver.



[그림 9] 스마트 안테나 구현 시의 API 설정

와 2-D RAKE 수신기의 SINR 성능 비교를 나타낸다. TRB 알고리즘 중, 블록 적응(block adaptive) 알고리즘으로는 Modified Wiener Solution과

MRC를, 샘플 적응(sample adaptive) 알고리즘으로는 RLS, NLMS, LMS를 선택하였다<sup>[7],[8]</sup>.

[그림 8]에는 성능과 복잡도 측면에서 모두 경쟁력이 있는 심볼 서치 빔 형성을 채택한 CDMA 칩-레벨 2-D RAKE 수신기의 구조를 보인다<sup>[7],[8]</sup>.

TDMA나 FDMA 시스템에 스마트 안테나를 적용할 경우에는 수신단의 구조가 [그림 8]과는 달라지며, MA 방식에 따른 빔 형성 구조와 알고리즘의 선택은 SDR 기지국의 API를 통하여 설정된다. [그림 9]는 스마트 안테나 구현 시의 API 설정을 나타내며, 이는 독립적으로 설정되거나(점선), Radio Device API 와 연관되어 설정되어질 수 있다(실선). 이러한 API는 SDR Forum의 개방형 구조 규격을 각 manufacturer가 만족시킬 수 있도록 하는 역할을 한다.

#### 4-2 다수 사용자 검출 기술

기존의 단일사용자 CDMA 수신기는 다른 사용자에 의한 간섭잡음(MAI: Multiple Access Interference)에 의해 용량 및 성능이 제한되나, 이러한 제한은 CDMA 방식 자체의 문제점이 아니라 기존의 단일사용자 CDMA 수신기가 다른 사용자의 신호 정보를 무시하기 때문이다. CDMA 시스템에서 다중간섭잡음의 영향을 줄여 그의 성능을 개선시키기 위한 다수 사용자 검출방식은 근본적으로 최적 다수사용자 검출방식을 적용할 때 MAI에 의하여 제한 받지 않는다. 그러나 최적 다수 사용자 검출 방식은 복잡도가 매우 높아 실제 시스템에서는 적용이 불가능하다. 따라서 이를 보완한 준 최적 검출 방식들이 제안되었으며, 그들 중에는 비선형의 감산형 간섭 잡음 제거 방식과 선형 검출 방식이 포함된다. 감산형 간섭 잡음 제거 방식은 다른 사용자에 대한 정보가 요구되어 기지국에서만 구현이 가능하고, 다른 셀에서 발생한 MAI는 제거하

지 못하는 단점을 가지고 있다<sup>[9]</sup>. Decorrelating Detector나 MMSE Detector를 포함하는 선형 검출 방식도 최적 다수사용자 검출 방식과 비교하여 복잡도는 현저히 적으나 실제 상용 시스템에 실현하기에는 아직도 어려움이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 MMSE Detector를 적응형으로 바꾼 적응형 MMSE 수신기가 제안되었다. 적응형 MMSE 수신기는 다른 사용자들의 신호정보를 요구하지 않기 때문에 기지국뿐만 아니라 단말기에도 실현이 가능하며, 간단한 구조를 가지므로 실제 시스템에 적용하기가 매우 용이하다. 적응형 MMSE 수신기는 고정된 채널환경에서 SNR이 높을 때에는 탁월한 성능을 보인다. 그러나 신호의 크기와 위상이 급격히 변화하고 충분한 SNR이 보장되지 않는 페이딩 채널에서는 그 성능이 급격히 저하된다. 최근에 이러한 문제점을 보완하기 위한 연구가 활발히 진행되어, 페이딩 환경에서 성능을 개선한 여러 가지 변형된 적응형 MMSE 수신기 구조와 효율적인 알고리즘이 제안되고 있다<sup>[10]</sup>.

## V. 결 론

기존의 시스템과 새로운 규격의 출현에 의한 미래의 시스템 모두에 적용 가능한 경제적이며 효율적인 시스템을 구성할 수 있는 기반을 제공함을 그 목적으로 하는 SDR 기술은 각 고성능 COTS 소자의 개발을 전제로 하며, 이와 같은 SDR 기술이 무선 기지국에 적용되는 경우에는 가격, 크기, 복잡도, 전력 소비 등의 측면에서 뿐만 아니라 복수의 무선 규격이 단일 기지국 platform에 의하여 지원되므로 망 전개가 간단해지며, SW 변경에 의하여 시스템의 upgrade를 용이하게 수행할 수 있어 Backward Compatibility와 Evolution/Migration을 가능하게 하여 전반적으로 시스템의 life cycle을 증가시키고, 사용자는 향상된 서비스와 시스템

의 upgrade 사양을 거의 실시간으로 누릴 수 있는 등의 장점을 갖는다.

## 참 고 문 헌

- [1] SDR Forum, MMITS Forum Technical Report 2.0 - Architecture and Elements of Software Defined Radio Systems as Related to Standards, SDR Forum, Rome, NY, July, 1999.
- [2] J. Mitola, Special Issue on Software Radios, *IEEE Commun. Mag.*, May, 1995.
- [3] J. Mitola, D. Chester, S. Haruyama, Y. Turetti, and W. Tuttlebee, Special Issue on Software Radio, *IEEE Commun. Mag.*, Feb., 1999.
- [4] K. C. Zangi and R. D. Koilpillai, "Software radio issues in cellular base stations," *IEEE JSAC*, vol. 17, pp. 561-573, April, 1999.
- [5] T. Turetti, H.J. Bentzen, and D. Tennenhouse, "Toward the software realization of a GSM base station," *IEEE JSAC*, vol. 17, pp. 603-612, April, 1999.
- [6] R. Arnott, S. Ponnekanti, C. Taylor, and H. Chaloupka, "Advanced base station technology," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 96-102, Feb., 1998.
- [7] K. H. Chang and H. R. Park, "Chip-level beamforming vs. symbol-level beamforming in coherent CDMA adaptive antenna array systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Commun.*, June, 1999, S40A-2.
- [8] K. H. Chang, I. S. Sohn, and K. S. Chang, "Chip-level 2-D RAKE receiver with symbol-level searcher beamforming," in *Proc. IEEE*

*Veh. Tech. Conf.*, Sep., 1999, to be published.  
 [9] S. R. Kim, J. G. Lee, and H. Lee, "Interference cancellation scheme with simple structure and better performance," *IEE Electronics Letters*, vol. 32, pp. 2115-2117, Nov., 1996.

[10] S. R. Kim, Y. G. Jeong, J. G. Lee, and I. K. Choi, "Incorporation of adaptive interference cancellation into parallel interference cancellation," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, May, 1999, S2, 8-2.

≡필자소개≡

장 경 희

1985년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)

1987년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1992년 8월: Texas A&M Univ. 전기공학과 (공학박사)

1992년 9월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원

[주 관심분야] Software Radio, 스마트안테나, 무선모뎀설계 등



김 지 연

1997년~현재: 전남대학교 컴퓨터공학과 석사과정 재학

1999년 2월~현재: ETRI 위촉연구원

[주 관심분야] Software Radio



김 창 주

1980년 2월: 한국항공대학 전자공학과 (공학사)

1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)

1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)

1980년~1982년: ADD 연구원

1983년~현재: ETRI 이동통신서비스연구부장

[주 관심분야] 이동통신 및 방송기술

