

主題

# HY-SDR 연구센터: SDR기술연구

한양대학교 전기전자공학부 교수 최승원

차 례

- I. 연구센터의 설립목적
- II. 연구목표 및 수행내용
- III. 연구센터의 대표적 연구실적
- IV. 연구 소개
- V. SA API Primitives
- VI. 결 론

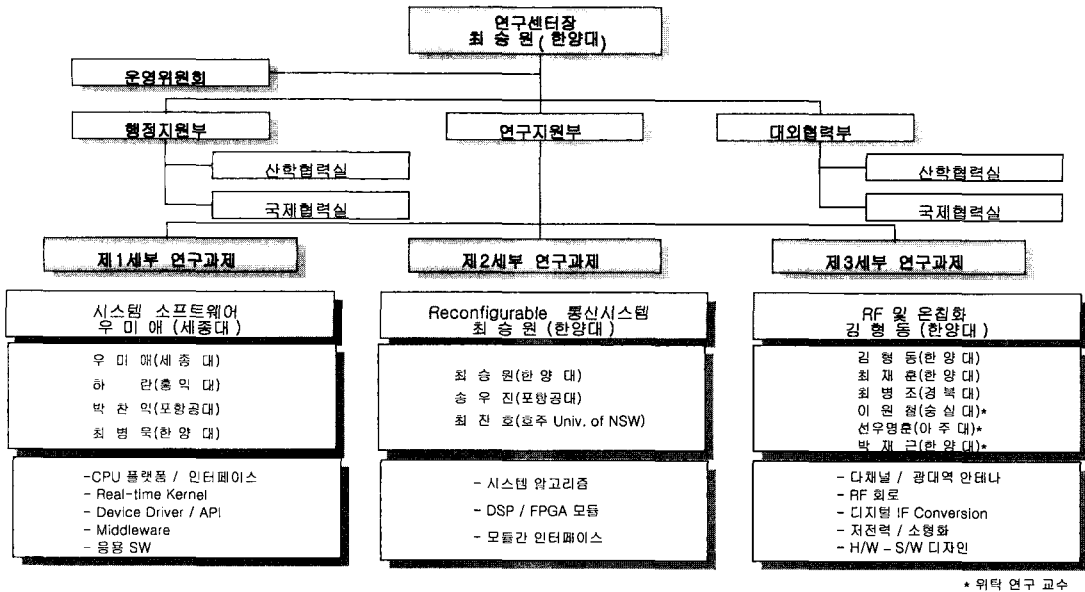
## I. 연구센터의 설립목적

본 연구센터는 광범위한 무선 신호처리를 범용 컴퓨터 기술을 기반으로 실현할 수 있는 SDR 기술을 개발하고 이를 근간으로 하여 국내 정보통신 기술 수준을 더욱 성숙시키고 고도화된 정보사회의 정착과 발전에 기여하는 데 설립 목적이 있다.

본 연구센터는 이동통신 및 무선랜 시스템의 다중 표준안에 대한 대응으로서 유연하고 다양한 서비스(다중 모드/대역/기능)를 구현할 수 있는 SDR 기술에 관한 학문적 연구를 심화하고 산업기술 개발에 관한 산학 협동연구 체계를 공고히 하여 대학의 연구 활성화와 산업 사회에서 요구되는 전문화된 고급 인력 양성에 이바지하는 것을 목적으로 하고 있다.

본 연구 센터에서 전문 연구인력을 구성하여 장기적이고 체계적으로 SDR 기술 전반에 대하여 연구하는 것이 정보통신 기술의 대외 의존성을 극복하고 국가 경쟁력을 강화시키는 지름길이라고 볼 수 있다.

SDR 기술을 개발하기 위해서는 여러 분야 전문가의 장기적이고 집중적인 참여가 필요하므로 이러한 환경을 갖춘 대학에 연구 센터를 설립하는 것이 효과적이다. 현재 본 연구 센터에 소속되어 있는 연구원들은 시스템 소프트웨어 분야, Reconfigurable 통신 시스템 분야, 그리고 RF 및 온칩화 분야에 있어서 풍부한 연구 실적과 연구개발 경험을 갖추고 있다.

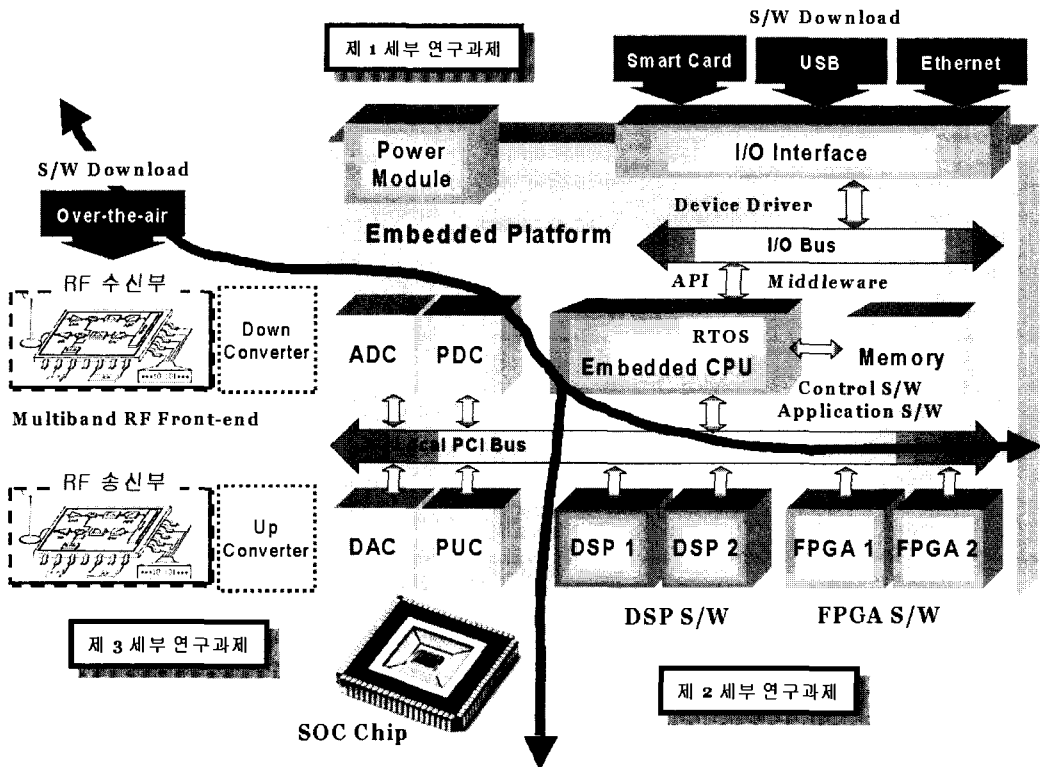


[그림 1] 연구센터의 조직 및 구성도

## II. 연구목표 및 수행내용

본 연구센터의 최종 연구목표는 “SDR 다중 모드 컨버전스 단말기 핵심 기반 및 응용기술 연구”와 “SDR 관련 전문 고급 인력 양성”으로 연구개발 목표는 광범위한 유무선 통신신호 처리를 범용 컴퓨터기술을 기반으로 실현하기 위한 SDR 기술을 연구 개발하는데 있다. 특히 다중 모드를 지원하는 차세대 컨버전스 단말기의 핵심 기반기술 및 상용화를 위한 응용기술을 개발하고자 한다. 본 과제의 최종목표에서 지향하는 SDR 다중 모드 컨버전스 단말기의 개념도는 아래 그림에 제시되어 있다. 제1세부과제는 아래 그림의 CPU, 메모리, I/O 인터페이스 등을 포함한 컴퓨터 기술로써 “시스템 소프트웨어 기술연구”이다. 제2세부과제는 아래 그림의 DSP, FPGA 등과 관련된 알고리즘 및 Firmware 기술로써 “Reconfigurable 통신시스템 기술 연구”이다. 제3세부과제는 아래 그림의 RF, 컨버터

등의 주파수 상하향 변환을 위한 통신소자 및 단말 소형화를 위한 SOC와 관련된 기술로써 “RF 및 은칩화 기술연구”이다. 본 연구센터의 연구개발 목표는 전반 4년간을 1단계로 하고 후반 4년간을 2단계로 하여 각 단계별로 수립되어 있다. 또한 우수인력을 양성하기 위해 본 과제에 참여하는 연구 대학원 학생은 졸업할 때 까지 SCI 논문 혹은 지적재산권(특허, 프로그램 등)의 출원을 의무화하며, 학제 간 교류 및 산업체 파견근무를 통해 전문적인 인력이 양성되도록 한다. 더불어 본 과제와 연관된 산업체의 인력을 양성하기 위해 해당 산업체에 참여교수를 단/장기로 파견하여 정기 교육을 실시하며 관련 산업체와의 정기 세미나/워크샵을 실시하고, 중소기업체로는 본 과제에서 도출된 핵심기술을 이전하도록 한다. 본 연구센터에서 수행한 연구결과 축적된 기술은 산업체와의 공동연구 개발 형태를 통해 기술 이전하도록 한다.



(그림 2) 최종 연구개발 목표에서 지향하는 SDR 다중 모드 컨버전스 단말기의 개념도.

### III. 연구센터의 대표적 연구실적

#### 1. 해외 우수 기관으로부터의 연구비 유치

본 연구센터는 2004년 5월7일 SDR (Software Defined Radio) 전문회사인 미국의 샌드브릿지 (Sandbridge)사와 산학협력 과제조 인식을 가졌다. 샌드브릿지사는 SDR전용 모델 칩 솔루션(solution)을 보유한 세계에서 몇 안 되는 회사 중 하나이며, 상용화를 위한 완성도 측면에서 볼 때, 세계 최고 수준의 SDR 전문 업체이다. 이번 과제조인식으로 한양대학교는

샌드브릿지사에서 개발한 SDR 전용 모델 칩 및 시뮬레이터와 평가보드 등 약 20만불 상당의 장비를 무상으로 기증 받아 연구에 활용할 수 있게 되었다. 장비의 무상 증여와 더불어 샌드브릿지사는 과제 계약 기간 동안에 2만5천불의 장학금을 본 연구센터의 대학원 학생에게 지급한다. 또한, 뉴욕주에 위치한 샌드브릿지사의 연구소에 대학원생을 파견하는 인턴쉽(internship) 트레이닝을 제공하며 이에 필요한 모든 경비 및 생활비 등을 별도로 샌드브릿지사에서 제공하기로 협약하였다. 이제까지 샌드브릿지사는 산학협력에 있어 대단히 까다롭기로 알려져 있으며, 지금까지 샌드브릿지사가 산학협력 과제조인을 한 학교는 미국의 MIT와 Brown 대학 둘 뿐이며, 이번에 본 연구센터가 샌드브릿지사와 과제

계약을 함으로써 본 연구센터는 MIT, Brown 과 더불어 샌드브릿지사의 모뎀 솔루션을 기증 받는 세계 3대 대학 연구센터 중 하나가 된 것이다.

## 2. 국내 유망 벤처회사에의 기술 이전

본 연구센터는 스마트 안테나 관련 보유기술 (미국특허 6462709 "Signal Processing Method and Apparatus for Computing an Optimal Weight Vector of an Adaptive Antenna Array System"을 비롯 40개의 해외 및 국내 특허)을 국내 유망 벤처회사인 (주)한텔 (www.han-tel.com) 에 이전하여 (주)한텔이 세계 최초로 CDMA2000 1X 동기방식 스마트 안테나 기지국을 상용화하는데 크게 기여 하였다. 센터장인 최 승원 교수로부터 기술을 이전 받아 동기방식으로는 세계최초의 상용 스마트 안테나 기지국을 완성한 (주)한텔은 "Wireless Japan 2003", "한국산업기술대전" 등과 같은 국내외의 우수 전시회에 스마트 안테나 기술을 출품하여 국내외의 관련 사업자 및 제조사로부터 큰 주목을 받았다. 스마트 안테나 기지국은 기존의 기지국과 비교하여 통신용량은 약 3배, 셀 커버리지는 약 2배 이상 증대시키는 첨단 차세대 기지국이다. (주) 한텔은 스마트 안테나 기지국을 곧 상용화하여 국내 시장은 물론 세계 시장에서도 대단히 유리한 위치를 점유하여 많은 매출을 올릴 것으로 기대하고 있다.

## 3. 국제적으로 주목 받는 논문과 특허 및 그 것들의 활용 현황

본 연구센터는 최근 2년간 "Diversity Gain for CDMA Systems Equipped With Antenna Arrays", IEEE Transaction on Vehicular Technology 논문을 비롯한 52건의 SCI급 논문

과 유럽특허 0809323 "Signal processing apparatus and method for reducing the effects of interference and noise in wireless communications utilizing antenna array"을 비롯한 40개의 국내외 특허 등, 학계 및 산업계에서 주목 받는 뛰어난 연구 실적을 올리고 있다. 그 연구실적을 이용하여 미국의 샌드브릿지사를 비롯한 해외 우수 업체와의 산학협력 조인 및 스마트 안테나 기술의 (주)한텔 이전 등 그 결실을 맺고 있다. 이와 더불어, 국내 유망 벤처기업인 에이스테크놀로지, 시그널정보통신 등과는 맞춤형 현장 교육을 위한 프로그램을 마련하여 중소기업의 기술력 증가에도 크게 기여하고 있다. 그 결과, (주)한텔의 스마트 안테나 기지국의 상용화 및 이동통신 중계기 개발과 (주)에이스테크놀로지의 위성 DMB 수신기 및 중계기 개발에 큰 기여를 하였다. 이렇게 본 연구센터가 국제적으로 인정 받는 우수한 논문 및 특허 기술을 국내의 벤처회사에 이전하여 얻는 성과는 앞으로 더욱 클 것으로 기대된다.

## 4. 센터장의 국제기관 활약 현황

본 연구센터의 센터장인 최 승원교수는 SDR 에 관한 최고의 권위를 인정받는 기구인 SDR Forum (www.sdrforum.org) 의 2003년 11월 정기총회에서 ITU region 3 (아세아 태평양 지역) 의장과 2004년 11월에 SDR 포럼 부의장으로 피선 되었다. 이는 SDR 관련 기술의 세계 표준화 작업에 크게 기여할 수 있는 유리한 위치를 확보한 것으로 그 의미가 대단히 크다. SDR Forum이라는 기관은 비영리단체로서 SDR 관련 기술의 전파 촉진, SDR 관련 통신 법규 및 주파수 분배 설정, SDR 관련 시스템/부품/네트워크 등의 세계표준 제정 등을 목적으로 설립된 국제단체이며 세계적으로 거의 모든 대기업이 회원으로 참석하고 있는 우수 단체이다. SDR

포럼에서의 팔목할 만한 최고수의 활약은 특히 스마트 안테나 및 기반 네트워크 시스템의 규격화 및 표준화를 위한 초안(Smart Antenna API - application program interface)을 만들어 SDR 포럼에 제출한 것이다. 현재 SDR 포럼에서는 최승원 교수가 제출한 초안을 기반으로 하여 스마트 안테나 기지국의 표준화 작업을 진행하고 있다. 이는 향후 ITU-R에 제출되어 국제 표준으로 제정될 것으로 보여 3.5G 및 4G 이동통신에서 우리나라가 스마트 안테나 기지국 및 관련 시스템 분야에 국제표준을 선도하기 위한 유리한 조건을 확보한 것이다.

### III. 연구 소개

SDR 네트워크를 위한 스마트 안테나 시스템 API 및 스마트 안테나 기지국 오픈 아키텍처

#### 1. 서론

Software Defined Radio (SDR) 기술은 첨단 디지털 신호처리 기술과 고성능 디지털 신호처리 소자를 이용하여 하드웨어 수정 없이 모듈화된 소프트웨어 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해 다수의 무선 통신 규격을 통합수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다[1].

본 논문에서는 이러한 SDR 시스템의 요구사항을 구현하기 위한 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 Open Architecture로써 제시한다.

본 논문에서 제시되는 Open Architecture의 하드웨어로 시스템 플랫폼을 구성하면 위에서 설명한 바와 같이 모듈화된 소프트웨어를 필요에 따라 적절히 변경함으로써 여러 가지 유무선 규격을 수용할 수 있는 Multi-mode SDR 시스템을 구성할 수 있다[2].

SDR 기술은 크게 소프트웨어에 의하여 재구성이 가능한 하드웨어 모듈과 이 하드웨어를 특정 규격 내지 특정 목적의 통신 송수신 시스템으로 바꾸어 주는 소프트웨어 모듈들로 구성된다. 따라서 SDR은 단일 송신 및 수신 하드웨어 플랫폼에 소프트웨어 모듈만을 변경함으로써 다양한 무선 규격을 하나의 시스템으로 제공할 수 있다. 이러한 SDR 시스템의 가장 큰 장점은 단말기 및 기지국 시스템의 업그레이드와 새로운 서비스의 추가가 용이하며, 특별한 하드웨어 수정 없이 다중모드 전환 문제의 해결이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 장래 무선통신 규격 선정에 따른 단말기와 기지국의 특별한 하드웨어 업그레이드가 불필요하게 된다[3]. 본 논문의 주요 공헌은 다음과 같다.

첫째, 스마트안테나 시스템 하드웨어를 기능별로 객체화, 모듈화 하는 방안과 모듈 간 인터페이스 관계를 설정, 제시하였다. 둘째, 스마트 안테나 기지국 시스템이 SDR 네트워크와 유연하게 연동할 수 있도록 하기 위한 기지국 시스템 Open Architecture와 Smart Antenna API를 제시하였다. 셋째, Smart Antenna Open Architecture를 제시함에 있어 다양한 범형성 알고리즘을 모두 수용할 수 있도록 하고 원하는 범형성 알고리즘을 SDR 네트워크로부터 소프트웨어 다운로드에 의해 제공 받을 수 있도록 하였다. 마지막으로, 본 논문에서 제시된 Smart Antenna 기지국 시스템의 Open Architecture를 이용하여 구현된 SDR-based 스마트안테나 기지국 시스템의 예를 보임으로써 그 가능성을 확인 하였다.

#### 2. 스마트 안테나 API의 요구사항과 논리적인 기능

본 절에서는 Smart Antenna 기지국 시스템 내에서 소프트웨어간 인터페이스를 정의하고

Smart Antenna API의 요구사항과 논리적 기능에 대해 설명한다. SDR기반 차세대 이동 통신 기지국 시스템에서는 다양한 형태의 응용서비스 및 콘텐츠를 가장 적절한 무선 접속 방식을 통해 제공하고 복잡한 네트워크들 간의 유연한 인터페이스를 보장하는 재구성 가능한 SDR 기반의 통신 플랫폼이 요구된다. 따라서 기지국 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 개방성, 분산성, 객체지향성을 갖도록 모듈화 하여야 하고 각 모듈간의 인터페이스를 모듈화에 부합되도록 정의하여야 한다[4]. 결국 스마트 안테나 기지국 시스템의 Open Architecture를 설정함에 있어 가장 중요한 핵심 사안은 기지국 시스템 내의 각 모듈간의 인터페이스 규격을 정의하고, Smart Antenna 기지국의 소프트웨어간 인터페이스를 정의하는 API를 효율적으로 설정함으로써 기지국 시스템이 SDR Network과 유연하게 연동 할 수 있도록 하는 것이다. 기지국 시스템 내의 소프트웨어간 인터페이스를 정의하는 Smart Antenna API에서 요구되는 사안은 다음과 같다.

1. The various SA algorithms must be applicable to SDR-based wireless communication systems such that SA API does not confine to the evolution of communication standards and system hardware.

2. Interface between SABS and SDR network must operate independently of hardware such that the given hardware can be reconfigured

freely in accordance with the desired system standard.

3. SABS should be partitioned into small modules and each of modules should interface independently of various algorithms and communication standards.

4. Functions and capability of each module must be known to the network controller such that the SA function inside a given SABS should be manageable through SDR network.

5. SDR network interface should be independent of the system standard.

본 논문에서 논의되는 Smart Antenna의 Logical Functionality는 [5]에 정의 되어 있는 API Framework를 기반으로 작성한 것이다.

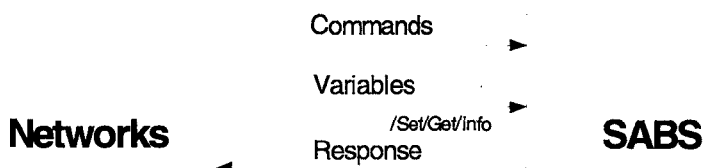
그림 3.은 네트워크와 Smart Antenna 기지국간의 인터페이스를 나타낸 것이며 스마트안테나 API primitives는 Command, Variable, Response 그리고 Signal로 구성된다.

Commands: Asynchronous protocols-to-device primitives for performing immediate, typically non-persistent actions.

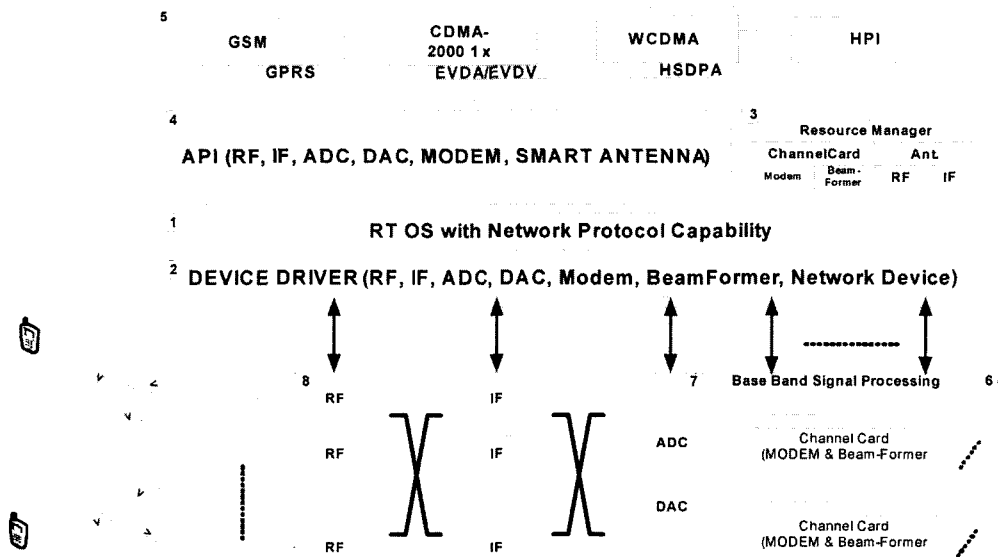
Variables: Persistent antenna state or long-term measurement primitives.

Response: The synchronous device response to a protocol's command or variable operation.

Signals: Asynchronous device-to-protocols



[그림 3] API primitive를 통한 SDR네트워크와 스마트안테나 기지국 인터페이스



(그림 4) SDR기반 스마트안테나 기지국 오픈 아키텍처

primitives for reporting recent, typically non-persistent events.

### 3. SDR기반 개방형 스마트안테나 기지국 구조

본 절에서는 SDR 기반의 스마트안테나 기지국 시스템에 개방성, 분산성, 객체지향성, 소프트웨어 제어성을 제공하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어의 Open Architecture를 설명한다. 본 절에서 제시되는 스마트 안테나 기지국 시스템의 Open Architecture는 2절에서 제시된 스마트 안테나 API의 요구 사항 및 논리기능을 모두 만족한다. 그림 4.은 SDR 기반 스마트안테나 기지국 시스템의 Open Architecture를 나타낸다. SDR기반 스마트안테나 기지국 시스템은 그림 4.에 나타나 있는 ①, ②, ③, ④, ⑤와 같이

객체지향으로 설계된 소프트웨어 부분과 ⑥, ⑦, ⑧과 같이 재구성이 용이한 DSP, FPGA, Embedded CPU등으로 구현된 모듈화 된 하드웨어로 부분으로 구성되어 진다. Open Architecture를 위한 소프트웨어(①-⑤)는 하드웨어(⑥-⑧)가 Application으로부터 완벽하게 추상화(abstracted)가 되도록 계층화되어(layered) 있어야 한다. Middleware 계층(①-④)은 기능별로 분리된 시스템내의 각각의 하드웨어 Resource를 객체화(objected-oriented)하고 객체간에 표준화된 인터페이스 규격에 따라 통신이 가능하도록 해준다. 이러한 미들웨어는 그림 4.에 나타난 바와 같이 운영체제, Device Driver, Resource Management, API로 구성된다.

그림 4.의 1은 SDR기반 스마트 안테나 기지국 시스템의 실시간 운영체제를 나타낸 것으로서, SDR이 추구하는 개방성, 객체지향성, 분

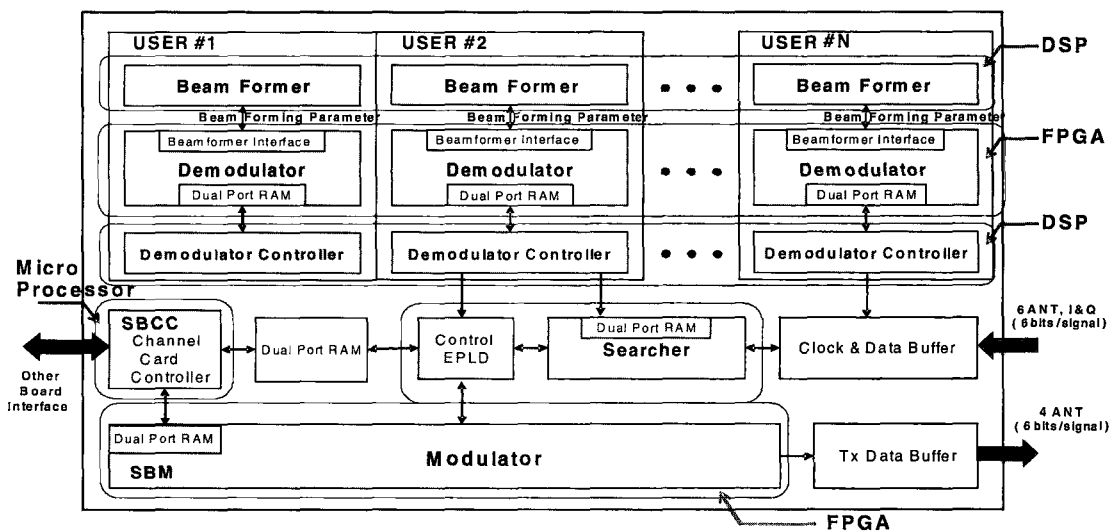
산성을 고려하여 설계된 API와, Device Driver 그리고 응용 프로그램들에 대하여 이식성(portability)과 상호 운용성(interoperability)을 제공하여야 한다. 또한 실시간 운영 체제는 다중 프로세서 구조와 공통 인터페이스, 메모리 관리기능을 지원하여야 하며 네트워크 기능도 포함하고 있어야 한다.

그림 4.의 ④은 API를 나타낸 것으로써 2절에서 언급된 스마트 안테나 기지국 API의 요구 사항 및 논리기능을 제공하도록 설계된 SDR기반의 API를 사용함으로써 응용프로그램 개발자가 응용프로그램의 개발기간을 단축시켜주고 보다 저렴한 비용으로 보다 이식성이 용이한 응용 프로그램을 개발 할 수 있다. 결국 저 수준의 H/W 프로그램 개발에 대한 부담을 줄여 줌으로써 개발자가 보다 강력하고 보다 복잡한 프로그램 개발에 집중 할 수 있도록 해 준다.

그림 4.의 ②는 SDR기반 스마트 안테나 기지국 시스템에서 갖추어야 하는 Device Driver를 나타내었다. Device Driver는 응용프로그램과 실제 Device 사이에 위치한 소프트웨어 계

층이다. Device Driver는 운영체제 내의 한 모듈로서 특정 하드웨어 장치의 (low-level) input/output을 관리하고, 시스템내의 다른 모듈과의 표준화된 인터페이스를 제공함으로써 시스템의 운용성(operability) 및 이식성(portability)을 향상시켜준다[6].

그림 4.의 ③는 Resource Manager를 나타낸 것으로서 SDR기반 시스템내의 모든 하드웨어 Resource에 대한 제어 기능을 제공한다. 여기에는 시스템 제어 관리(상태 관리 포함), 형상(configuration)관리(소프트웨어 다운로드 포함), 장애 관리, 성능 관리, 가상 채널 관리, 네트워크 관리, 보안 관리를 포함한다. 그림 4.의 ⑤은 SDR 시스템에서 3G/4G 무선 이동통신 규격 및 스마트 안테나 알고리즘을 소화 해 낼 수 있는 Multi-mode, Multi-band RF 및 IF를 나타낸다.SDR 시스템의 RF는 wide-band RF 특성을 가지고 있어야 한다[7]. 하나의 구조로 Multi-band RF를 수용 할 수 있어야 하며, 이를 위해선 기존의 아날로그 RF 디바이스의 특성이 Multi-band를 소화하기 위하여 wide-band



(그림 5) SDR기반 스마트안테나 채널카드 구조



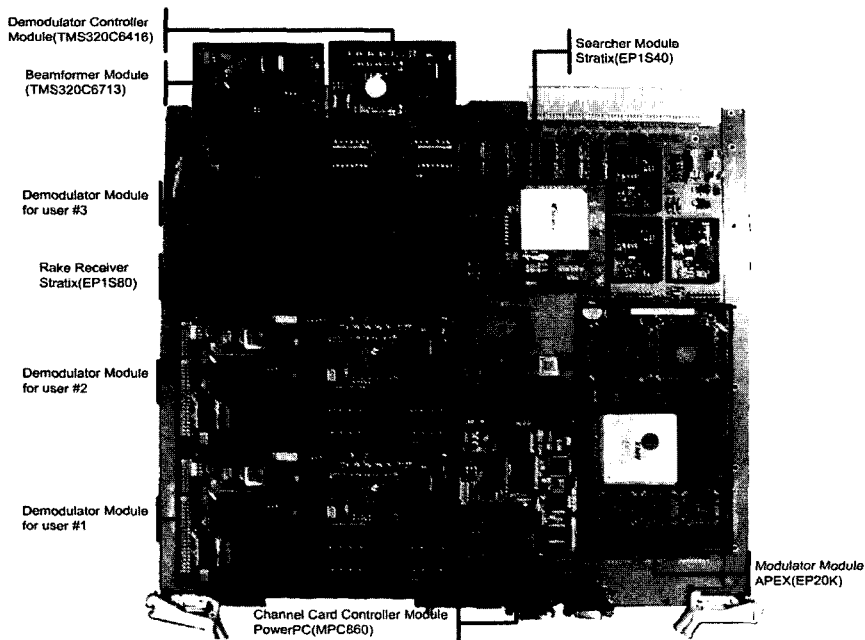
특성을 가지거나, Multi-band 특성을 가져야 한다[8]. 그리고 Zero-IF 또는 Digital IF 기술을 적용함으로써 여러 개의 주파수 범위에서 다양한 bandwidth의 channel을 선택할 수 있다[9].

그림 4의 ㉗은 A/D Converter를 나타낸다. AD Converter의 경우 빠른 속도의 clock 주파수와 높은 resolution이 보장되어야 하고, 저 잡음, 저 전력 소모를 만족하여야 한다[10].

그림 4의 ㉘은 SDR기반 스마트 안테나 기지국 시스템의 채널카드를 나타내었다. 베이스 밴드 신호처리를 위한 변복조기와 빔 형성기는 연산량을 상황에 따라 적절히 분산이 가능하여야 하고 프로그래머블 디바이스를 사용함으로써 Multi-mode 동작이 가능하고 네트워크를 통해 실시간으로 다양한 이동통신 변복조 Scheme과 원하는 빔 형성 알고리즘을 네트워크로부터 다운로드 받아 동작이 가능한 구조이어야 한다[8].

#### 4. SDR기반 개방형 기지국의 설계 예

본 절에서는 3절에서 제시한 SDR-based Smart Antenna Open Architecture의 요구 사항 및 인터페이스를 고려하여 스마트안테나 기지국의 Open Architecture의 일 예를 설계한다. 구현된 시스템 하드웨어는 그림 4의 ㉙에 표시한 Application으로부터 완벽하게 추상화(abstracted)가 되어야 하며 이를 위하여 각 모듈들을 기능별로 나누어 시스템전체의 하드웨어와 소프트웨어가 계층화(layered)되도록 설계하였다[11,12]. 또한, 본 논문에서 제시된 스마트 안테나 Open Architecture의 Middleware 계층은 기능별로 분리된 시스템내의 각각의 하드웨어 Resource를 객체화 하고 2절에서 제시한 Smart Antenna API인터페이스 규격에 따라 통신이 가능하도록 하였다.



(그림 6) SDR 기반 스마트안테나 기지국 채널 카드

스마트 안테나 기지국 시스템은 네트워크 인터페이스 및 기지국 시스템의 각 모듈을 제어하고 Upper-Layer 호처리를 담당하는 Smart Antenna System Controller Part(SASC), 기지국 Forward Link 변조를 담당하는 변조기 및 변조기 제어기 Part, 기지국 Reverse Link 복조를 담당하는 복조기 및 복조기 제어기 Part, 스마트안테나 기지국내에 속한 유저에게 최적의 빔을 실시간으로 적용하기 위해 알고리즘 계산을 담당하는 빔형성기Part, Array Antenna Part, 각각의 안테나에 따른 RF, IF Part, 그리고 기저대역 처리부(Baseband AD/DA Part)로 구성되어 있다. 상기 설명된 각각의 모듈은 네트워크를 통해 제어 및 모니터링이 가능하고 기능의 업그레이드가 용이하도록 하드웨어와 Middleware(Real-Time OS, Resource Manager, API, Device Driver)가 구성되어 있다.

그림 6.의 스마트 안테나 기지국 채널 카드는 그림 4.에서 제시된 SDR기반 스마트 안테나 기지국 Open Architecture를 기반으로 하여 구현한 것으로써 구현된 채널카드의 하드웨어 구조는 SDR이 추구하는 개방성, 분산성, 객체지향성, 소프트웨어 제어성을 확보하고 재구성이 가능할 뿐만 아니라 SDR Network을 통해 프로그램 다운로드가 가능하도록 프로그래머블 디바이스를 사용하여 설계하였다[13].

이스를 사용하여 설계하였다[13].

채널카드 내의 각 모듈간은 Dual-port RAM으로 상호 인터페이스 되어 있어 Computational load를 상황에 따라 적절히 분산이 가능하도록 하였다. 빔 형성기와 복조기 제어기는 TI의 고속 Floating-Point Digital Signal Processor인 TMS320C6713과 Fixed-Point Digital Signal Processor인 TMS320C6416을 사용하여 구현하였고, 변.복조기는 Altera Stratix FPGA로 구현하였다. 채널카드 컨트롤러는 빔형성기 및 복조기 제어기와 HPI(Host Port Interface)버스를 통해 인터페이스 되어 있으며, 변.복조기의 Fusing ROM 또한 채널카드 컨트롤러와 각각 인터페이스 되어 있어 실시간으로 다양한 빔형성 알고리즘과 다중모드 변.복조 Scheme을 네트워크를 통해 다운로드 받아서 동작이 가능하다. 그림 5.에서 제시되는 프로그래머블 디바이스를 사용한 빔형성기와 모델 구조는 DOA(direction of arrival)-based Algorithm (MUSIC,ESPRIT,ML)[14], Training Sequence based-Algorithm(LMS, MMSE, RLS)[15] 그리고 Blind Beamforming Algorithms Eigen-vector-oriented Method, CMA)[16,17] 등의 다양한 빔형성 알고리즘을 모두 수용 가능하도록 하였다. 표 1.에 스마트안테나 알고리즘의 특징 및 장.단점을 분류하여 나타내었다.

〈표 1〉 다양한 스마트안테나 알고리즘 특징

	DOA based Algorithm	Training Sequence based Algorithm	Blind Beamforming Algorithm
Advantage	.Can exploit path diversity through accurate DOAs	.DOA is not required. .Can tolerate adverse signal environment	.No a priori information required .Invulnerable to high speed fading environment
Disadvantage	.Must know DOA of desired component. Heavy computational load and processing complexity	.Reference signal required. .Poor convergence in high speed fading environment	.Might misoperate in extremely adverse environment

## 5. SA API Primitives

본 절에서는 Smart Antenna API Primitive를 정의하고 도표화하여 표 2, 표 3, 표 4에 설명하였다. 본 논문에서 제시하는 Smart Antenna API Primitives는 스마트 안테나 기지국 시스템이 기존의 이동통신 기지국의 Cell Plan을 유지하면서 상호 연동 될 수 있도록 하고 다양한 업링크, 다운링크 빔형성 알고리즘과 안테나 토폴로지, 캘리브레이션 방법 등을 고려하여 설계하였다. 알고리즘에 따라 빔형성기, 모뎀 그리고 RF와의 인터페이스를 포함한다.

## 6. 결론

SDR기반 기지국 소프트웨어의 구조는 Application의 유연한 확장과 Scalability를 지원할 수 있도록 수직적으로 소프트웨어 구조를 계

층화 하고, 수평적으로 소프트웨어 구조를 모듈화 하여야 한다. SDR기반 기지국 시스템 소프트웨어의 모듈화와 계층화는 SDR기반 개방형 기지국시스템 하드웨어에서 동작하는 Application을 성공적으로 구현하는데 있어서 반드시 필요한 핵심 사항이다. 이를 실현하기 위해서는 본 논문에서 제시하는 것처럼 소프트웨어 모듈 간 혹은 하드웨어 모듈 간 그리고 하드웨어와 소프트웨어 모듈간의 인터페이스를 명확하게 정의 하여야 한다. 본 논문에서는 차세대 이동 통신 기지국 시스템에서 SDR기술과 스마트안테나 기술을 적용 할 수 있도록 기지국 Open Architecture 와 Smart Antenna API를 제시 하였고, 이를 기반으로 구현된 기지국 시스템의 예를 보임으로써 차세대 이동 통신 기지국 시스템의 Open Architecture을 제시하는데 그 의의가 있다.

〈표 2〉 signals

Commands	Requirements	Qualifiers	Description
SignBeamformer	Mandatory		Beamformer Module loaded
SignBeamformerError	Mandatory	Interrupt	Indicating the Beamformer Error

〈표 3〉 Commands

Commands	Requirements	Qualifiers	Description	Response
CmdBeamformerReset	Mandatory		Beamformer Soft Reset	Beamformer Soft Reset OK Beamformer Soft Reset Failure
CmdBeamformerExec	Mandatory		Beamformer Execution on/off	Beamformer Execution OK Beamformer Execution Failure
CmdCalibrationExec	Mandatory		Calibration Execution on/off	Calibration Execution OK Calibration Execution Failure
CmdBeamformerDMEExec	Optional		Beamformer Diagnostic monitoring on/off	Beamformer Diagnostic monitoring OK Beamformer Diagnostic monitoring Failure

## 〈표 4〉 variables

Variables	Requirements	Qualifiers	Description
VarMode	Mandatory	Info	Return set of available system modes
		Set	Set system mode(Array, Diversity, Single Ant etc)
		Get	Get current system mode
VarAlgorithm	Mandatory	Info	Returns set of available algorithms(Response)
		Set	Set algorithm type(MMSE, Eigen-based, RLS.etc)
		Get	Get current algorithm type
VarBeamDirection	Optional	Info	Returns set of available beam directions(For tracking of particular users)
		Set	Set direction of beam(Tx, Rx)
		Get	Get direction of beam(Tx, Rx)
VarCalibrationMode	Optional	Info	Returns set of available calibration Modes
		Set	Set Calibration Mode
		Get	Get current Calibration Mode
VarCalibration		Get	Get current Calibration value(Tx, Rx)
VarLevelofCalibration	Mandatory	Info	Returns level of calibration required for each Application
		Set	Set level of calibration
VarAntType	Mandatory	Info	Returns the various antenna topologies available for eg. Circular array, planar array for the SA to be configured
		Set	Set antenna type
		Get	Get current antenna type
VarRadiationPattern	Mandatory	Info	Returns maxRadiationPattern, minRadiationPattern
		Set	Set radiation pattern for antenna array as well as for single antenna
		Get	Get radiation pattern
VarNoofElements	Optional	Info	Returns the number of antenna elements
		Set	Set number of radiating antenna elements
		Get	Get number of radiating elements
VarAuxPilotWalsh	Mandatory	Info	Returns Ability of Auxiliary Pilot Decoding
		Set	Set Auxiliary Pilot Walsh(Walsh Num, Walsh length, QOF)
		Get	Getcurrent Auxiliary Pilot Walsh(Walsh Num, Walsh length, QOF)
VarAuxPilotRelativeGain	Mandatory	Info	Returns Ability of Auxiliary Pilot Decoding
		Set	Set Auxiliary Pilot Relative Gain
		Get	Get current Auxiliary Pilot Relative Gain
VarSmartAntennaHPAPower	Mandatory	Info	Returns Available Output Power Range of HPA Linear Operation(dBm, Watts)
		Set	Set HPA output Power
		Get	Get Current HPA output Power
VarRevPowerConStepGain	Mandatory	Info	Returns Enables or Disable of Reverse Power Control
		Set	Set Reverse Power Control Step Gain(dB)
		Get	Set Current Reverse Power Control Step Gain(dB)
VarFowPowerConStepGain	Mandatory	Info	Returns Enable or Disable of Forward Power Control
		Set	Set Forward Power Control Step Gain(dB)
		Get	Get Current Forward Power Control Step Gain(dB)

## 참 고 문 헌

[1] W. Tuttlebee, Software Defined Radio Baseband Technology for 3G Handsets and

Basestations, John Wiley & Sons, 2003

[2] J. H. Reed, Software Radio: A modern approach to radio engineering, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging

- technology series 2002.
- [3] J. Mitola, "The software radio architecture", IEEE Commun. Mag., vol. 33, no. 5, pp. 26-38, 1995.
- [4] OMG, Architecture and Specification CORBA 2.4.2, Standard document, OMG, Feb. 2001 (available at www.omg.org).
- [5] F. Templin, An Encoding of Radio API Primitives for the ISI APT Radio via the SLIP Protocol, Apr. 1998.
- [6] W. Tuttlebee, "Software Defined Radio Origins, Drivers and International Perspectives," John Wiley & Sons, 2002.
- [7] S. Jeng, S. Ming and B. Lan, "Multi-Mode Digital IF Downconverter for Software Radio Application," IEICE Trans. Commun., vol. E86-B, no. 12 pp. 3498-3512 Dec. 2003.
- [8] Winter, J., "Performance Trends for Analog to Digital Converters", IEEE Communications Magazine, Feb. 1999.
- [9] Kurt Keutzer, "Overview of configurable architectures", EECS, Berkeley University.
- [10] S. Choi and J. H. Reed, "Smart Antenna API," a power point presentation submitted to Technical Committee SDRF, Jun. 2004 (available at www.sdrforum.org).
- [11] 3GPP2, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, 3GPP2, Jul. 2001 (available at www.3gpp2.org).
- [12] J. S. Lee and L. E. Miller, CDMA System Engineering Handbook, Artech House, 1998.
- [13] G. Paul, Software Defined Radio for 3G, Artech, 2003
- [14] R. A. Monzingo and T. W. Miller, Introduction to Adaptive Arrays, John Wiley and Sons, 1980.
- [15] H. Im and S. Choi, "Performance Analysis of Smart Antenna Test-Bed Operating in a Wide-Band CDMA Channel", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, vol. 49, no. 11, pp. 2142-2146, Nov. 2001.
- [16] S. Choi and D. Shim, "A Novel Adaption Beamforming Algorithm for a Smart Antenna System in a CDMA Mobile Communication Environment", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 49, no. 5, pp. 1795-1799, Sep. 2000.
- [17] S. Kwon, I. Oh, S. Choi, "Adaptive beamforming from the generalized eigenvalue problem with a linear complexity for a wideband and CDMA channel", Vehicular Technology Conference, IEEE VTS 50th, vol. 3, pp. 1890-1894, Oct. 1999.

### 최 승 원



1980년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업

1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과 석사

1988년 2월 : Syracuse 대학교 전자공학과 박사

1989년 6월 : Syracuse 대학교 조교수

1989년 9월 : ETRI 선임연구원

1990년 3월 : 일본 통신 연구소 STA fellow

1992년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 부교수

2002년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 HY-SDR 연구센터 소장

2003년 11월 ~ 현재 : ITU region 3(아세아태평양 지역) 의장

2004년 11월 ~ 현재 : SDR FORUM 부의장