

# SDR 스마트안테나 API와 Usecase

류남규, 윤유석, 최승원(한양대학교)

## 요 약

SDR 시스템의 구조는 개방성, 분산성, 객체지향성, 소프트웨어 제어성을 제공하는 구조이어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 SDR 시스템에 사용될 SDR시스템의 소프트웨어는 단일 하드웨어 플랫폼에서 독립적으로 동작이 가능한 개방성을 확보하는 것이다. 이 방법은 모듈화를 지향하며, 재사용성을 증대시키고, 개발 시에도 많은 유연성을 확보 할 수 있을 뿐만 아니라 시스템을 재구성하여 운용 할 수 있도록 해 준다. 본 논문은 SDR기반 스마트안테나 기지국 시스템에서 SDR 네트워크가 추구하는 개방형, 객체지향성 및 제어성 등을 확보 할 수 있도록 하고 SDR 네트워크와 유연하게 연동 할 수 있도록 기지국 시스템 내의 각 소프트웨어 모듈간의 인터페이스를 정의하였다. 또한, 스마트안테나 기지국의 API(Application Program Interface)를 제시하고 이에 대한 Usecase를 보임으로써 제안하는 스마트안테나 기지국 API의 활용성을 증대시켰다.

## 1. 서 론

Software Defined Radio(SDR) 기술은 첨단 디지털 신호처리 기술과 고성능 디지털 신호처리 소자를 이용하여 하드웨어 수정 없이 모듈화된 소프트웨어의 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해 다수의 무선 통신 규격을 통합 수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다<sup>1)</sup>.

본 논문에서는 이러한 SDR 시스템의 요구 사항을 구현하기 위한 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 제시한다. 본 논문에서 제시되는 하드웨어 및 소프트웨어 구조로 시스템 플랫폼을 구성하면 위에서 설명한 바와 같이 모듈화된 소프트웨어를 필요에 따라 적절히 변경함으로써 여러 가지 유. 무선 규격을 수용 할 수 있는 Multi-mode SDR 시스템을 구성 할 수 있다<sup>2)</sup>. SDR기술은 크게 소프트웨어에 의하여 재구성이 가능한 하드웨어모듈과 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 있

다. 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<sup>4)</sup>. 본 논문의 주요 공헌은 다음과 같다.

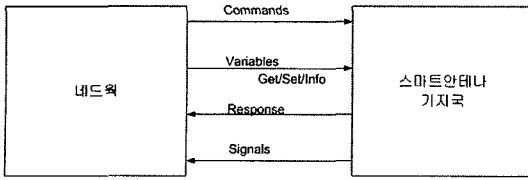
첫째, 스마트안테나 시스템 하드웨어를 기별로 객체화, 모듈화 하는 방안과 모듈 간 인터페이스 관계를 설정, 제시하였다. 둘째, 스마트안테나 기지국 시스템이 SDR 네트워크와 유연하게 연동할 수 있도록 하기 위한 스마트안테나 API를 제시하였다. 셋째, 스마트안테나 API를 제시함에 있어 다양한 범형성 알고리즘을 모두 수용 할 수 있도록 하고 원하는 범형성 알고리즘을 SDR 네트워크로부터 소프트웨어 다운로드에 의해 제공 받을 수 있도록 하였다. 마지막으로, 본 논문에서 제시된 스마트안테나 API Primitive 이용한 Usecase는 각 소프트웨어간의 인터페이스를 보다 명확히 설명해 준다.

## II. 스마트안테나 API의 요구사항과 논리적인 기능

본 절에서는 스마트안테나 기지국 시스템 내에서 소프트웨어 간 인터페이스를 정의하고 스마트안테나 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 재구성이 가능한 SDR 기반의 통신 플랫폼이 요구된다. 따라서 기지국 시스템

의 하드웨어 및 소프트웨어를 개방성, 분산성, 객체지향성을 갖도록 모듈화 하여야 하고 각 모듈간의 인터페이스를 모듈화에 부합되도록 정의하여야 한다<sup>4)</sup>. 결국 스마트안테나 기지국 시스템의 API를 설정함에 있어 가장 중요한 핵심 사안은 기지국 시스템 내의 각 소프트웨어모듈간의 인터페이스 규격을 정의하고, 스마트안테나 기지국의 소프트웨어 간 인터페이스를 정의하는 API를 효율적으로 설정함으로써 기지국 시스템이 SDR 네트워크와 유연하게 연동 할 수 있도록 하는 것이다. 기지국 시스템내의 소프트웨어 간 인터페이스를 정의하는 스마트안테나 API에서 요구되는 사안은 다음과 같다.

1. SDR 기반 스마트안테나 기지국 시스템의 API는 다양한 범형성 알고리즘을 수용하여야 하고 이동 통신 표준 규격에 제한을 받지 않아야 한다.
2. 스마트안테나 기지국과 SDR 네트워크와의 인터페이스는 하드웨어에 독립적으로 동작하여야 하고 이동 통신 표준의 진화에 적응하여야 한다.
3. SDR 기반 스마트안테나 기지국 시스템의 API는 각 기능에 따라 모듈화 되어있어야 하고 각 모듈은 다양한 스마트안테나 알고리즘과 이동통신 규격에서도 유연하게 동작하여야 한다.
4. 스마트안테나 기지국 시스템의 API는 기별로 모듈화 되어 있어야 하며 각 모듈의 기능은 SDR 네트워크를 통해 제어 할 수 있어야 하고 업그레이드가 가능한 구조이어야 한다.



〈그림 1〉 스마트안테나 API Primitive를 이용한 네트워크와 기지국과의 인터페이스

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

그림 1은 네트워크와 스마트안테나 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.

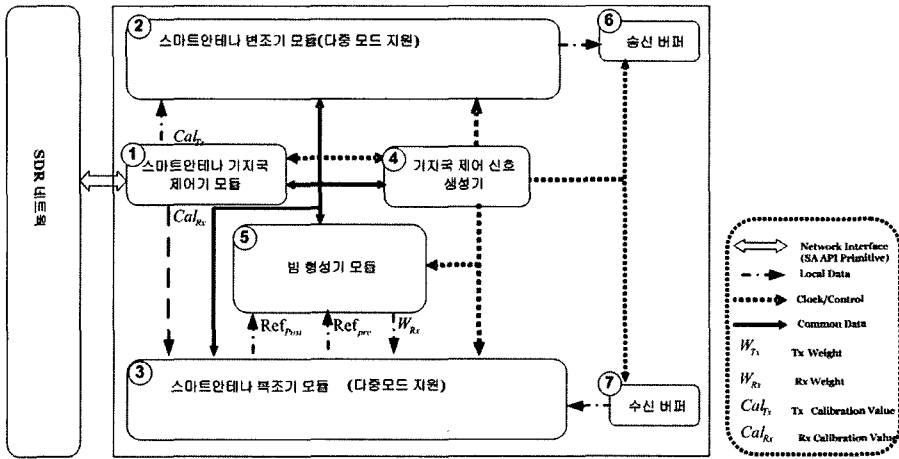
**Response:** The synchronous device response to a protocol's command or variable operation.

**Signals:** Asynchronous device-to-protocols primitives for reporting recent, typically non-persistent events.

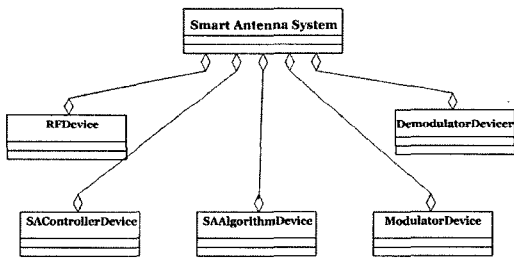
### III. SDR기반 스마트안테나 기지국 하드웨어 및 소프트웨어 구조

본 절에서는 SDR 기반의 스마트안테나 기지국 시스템에 개방성, 분산성, 객체지향성, 소프트웨어 제어성을 제공하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어의 구조를 설명 한다.

본 절에서 제시되는 스마트안테나 기지국 시스템의 하드웨어 구조는 2절에서 제시된 스마트안테나 API의 요구 사항 및 논리기능을 모두 만족한다. 그림 2는 SDR 기반 스마트안테나 기지국 시스템의 하드웨어 구조를 나타낸다. SDR기반 스마트안테나 기지국 시스템의 하드웨어 구조는 그림 2에 나타나 있는 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦과 같이 스마트안테나 시스템 제어기 모듈, 스마트안테나 변조기 모듈, 스마트안테나 제어기 모듈, 빔형성기 모듈, 시스템 제어 신호 생성기 모듈, 그리고 송신. 수신 신호를 기지국 동기 시간에 맞추어 송. 수신하는 Tx, Rx 버퍼로 구성된다. 기지국 내의 각 하드웨어 모듈은 기능에 따라 수평적으로 모듈화 되어 있어 기능의 업그레이드나 기지국내의 각 모듈의 제어성을 증대시켰다<sup>6)</sup>. 기지국 시스템내의 각 하드웨어 모듈은 II절에서 정의한 논리기능에 따른 Primitive들에 의해 SDR네트워크와 인터페이스 되어 있어 기능의 수행 및 기능의 업그레이드가 가능하다. 그림 2에 ⑤의 빔형성기 모듈의  $Ref_{PRE}$ ,  $Ref_{POST}$ 는 로컬 데이터 버스에 의해 스마트안테나 복조기 모듈과 인터페이스 되어 있다.  $Ref_{PRE}$ ,  $Ref_{POST}$ 는 빔형성 모듈에서 적응알고리즘을 계산하기 위해 필요한 Reference 신호이며 CDMA, OFDMA, TDMA, FDMA 시스템에서도 모두 사용 가능한 구조이다. 또한 Pilot신호를 이용한 빔형성 알고리즘뿐만 아니라 블라인드 빔형성 알고리즘에서도 적용 가능한 구조이다<sup>7)</sup>. 그림 3은 객체지향으로 설계된 스마트안테나 기지국 소프트웨어의 구조를 나타내었다. 그림 3의 스마트안테나 기지국의 소프트웨어의 구조는 그림 2의 하드웨어가 Application으로부터 추상화(abstracted)가 되도록 계층화(Layered)되어 있다.



〈그림 2〉 스마트안테나 기지국 구조



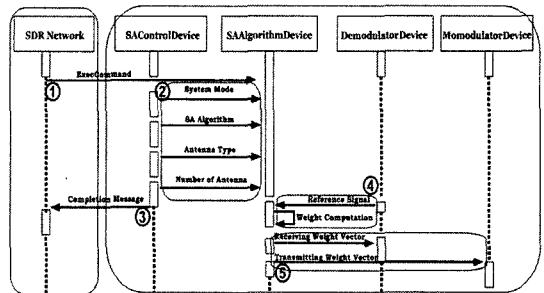
〈그림 3〉 스마트안테나 API구조

기지국 소프트웨어에서 SDR이 추구하는 개방성, 객체지향성, 분산성을 고려하여 설계되어 있어 응용 프로그램들에 대하여 이식성(portability)과 상호 운용성(interoperability)을 제공한다. 따라서 II절에서 언급된 스마트안테나 기지국 API의 요구 사항 및 논리기능을 제공하도록 설계된 SDR기반의 API를 사용함으로써 응용프로그램 개발자가 응용프로그램의 개발기간을 단축 시켜주고 보다 저렴한 비용으로 보다 이식성이 용이한 응용프로그램을 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[8].

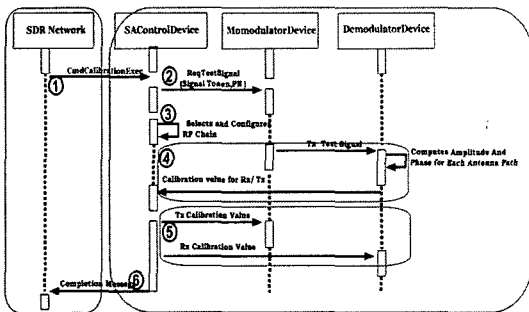
#### IV. 스마트안테나 API Usecase

III절에서 제안한 스마트안테나 기지국 API Primitives는 II절에서 제시한 스마트안테나 기지국 API의 요구 사항 및 논리기능을 모두 만족한다. 본 절에서는 III절에서 제시한 스마트안테나 기지국 API Primitive를 상세구현하기 위해 각 API Primitive와 기지국 소프트웨어 모듈간의 인터페이스에 대해 도식화 하여 자세히 설명한다.



〈그림 4〉 Beamformer Execution Command

- ①: Beamformer Execution Command를 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보내고 기지국 제어기는 다시 빔형성기 모듈로 보낸다.
- ②: 기지국 제어기는 빔형성 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 시스템 파라미터 값을 빔형성기 모듈로 보낸다.
- ③: 기지국 제어기 모듈은 기지국 시스템 파라미터 값을 빔형성기로 보낸 후 SDR 네트워크로 Complement Message를 보낸다.
- ④: 스마트안테나 기지국 복조기 모듈은 빔형성기에서 빔형성 알고리즘을 계산하기 위해 필요한  $Ref_{PRE}$ ,  $Ref_{POST}$  값을 CDMA, OFDMA, TDMA, FDMA 따라 다르게 계산하여 빔형성기로 보낸다.
- ⑤: 빔형성기에서 계산된 송신 및 수신 Weight Vector는 변조기 및 복조기 모듈로 보내어져 송. 수신 신호에 적용된다.

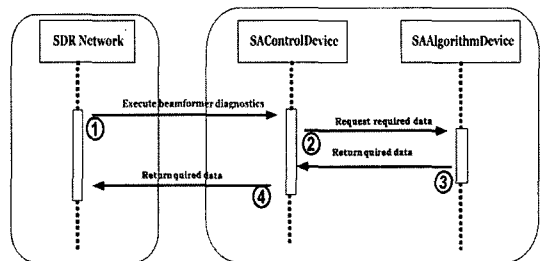


〈그림 5〉 Calibration Execution Command

- ①: Calibration Execution Command를 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보낸다.
- ②: 기지국 제어기는 Calibration에 필요한 Reference 신호를 생성하기 위해 기지국

변조기 모듈에게 Reference 신호 생성 Message를 보낸다.

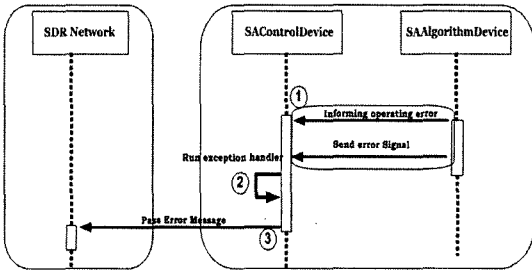
- ③: 기지국 제어기 모듈은 Calibration에 필요한 RF Path 선택, 주파수 선택 등 관련 RF 모듈에 Parameter를 설정한다.
- ④: 스마트안테나 기지국 변조기 모듈은 송신·수신 Calibration에 필요한 Reference 신호를 생성하여 Calibration Antenna 통해 송신 한다. 기지국 복조기 모듈은 수신된 Reference 신호를 빔형성기로 보내어 송신·수신 Calibration 값을 계산한다.
- ⑤: 빔형성기에서 계산된 송신 및 수신 Calibration 값은 변조기와 복조기로 보내어서 스마트안테나 기지국 시스템의 송수신 신호에 위상과 크기를 보정한다.



〈그림 6〉 Beamformer Diagnostic Monitor Execution Command

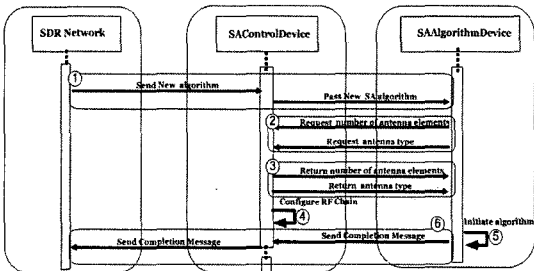
- ①: Beamformer Diagnostic Monitor Execution Command를 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보낸다.
- ②: 기지국 제어기는 Diagnostic Monitor에 필요한 데이터(Calibration value, Weight Vector, etc.)를 빔형성기에 요구한다.
- ③: 빔형성기는 기지국 제어기에서 요구한 데이터를 기지국 제어기로 보낸다.

- ④: 스마트안테나 기지국 제어기는 빙형성기에서 받은 Diagnostic Monitor 데이터를 SDR 네트워크로 보낸다.



<그림 7> Beamformer Error Signal

- ①: 스마트안테나 기지국 동작 시에 Beamformer module에서 내부 오동작이 발생 될 경우 Beamformer Module은 기지국 제어기에 Error Message를 보낸다.
- ②: 기지국 제어기는 빙형성기로 부터 수신 후 미리 정의된 Exception Handler를 수행한다.
- ③: 빙형성기는 Exception Handler를 수행 후 SDR 네트워크로 Error Message를 보낸다.

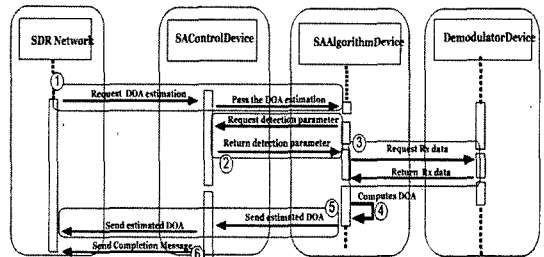


<그림 8> Algorithm Set Variable

- ①: Algorithm Set Variable을 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보내

고 기지국 제어기는 다시 빙형성기 모듈로 보낸다.

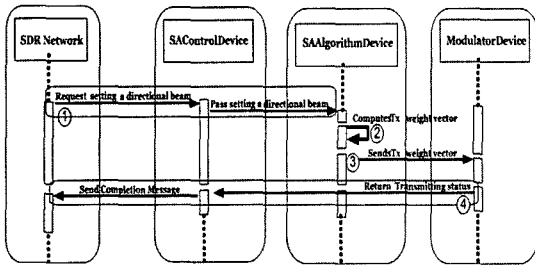
- ②: 빙형성기는 요구한 알고리즘을 로딩 후 기지국 제어기에게 빙형성 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 시스템 파라미터 값을 요구한다.
- ③: 기지국 제어기 모듈은 기지국 시스템 파라미터 값을 빙형성기로 보낸다.
- ④: 기지국 제어기 모듈은 현재 빙형성기에 로딩 된 알고리즘에서 필요한 각 RF Path에 대해 파라미터를 설정한다.
- ⑤: 빙형성기는 기지국 제어기에서 받은 시스템 파라미터 값을 설정하고 알고리즘을 동작시키기 위해 초기화 작업을 수행한다.
- ⑥: 알고리즘 초기화 작업이 완료 되면 빙형성기는 완료 메시지를 기지국 제어기를 통해 SDR네트워크로 보낸다.



<그림 9> DOA(Direction of Arrival) Get Variable

- ①: DOA Get Variable을 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보내고 기지국 제어기는 다시 빙형성기 모듈로 보낸다.
- ②: 빙형성기는 DOA 추정을 위해 필요한 파라미터를 기지국 제어기로부터 받는다.
- ③: 빙형성기는 기지국 복조기로부터 DOA 추정을 위한 수신 신호를 입력 받는다.

- ④: 빔형성기는 DOA 추정 알고리즘을 동작하여 수신 신호로부터 DOA를 계산한다.
- ⑤: 계산된 DOA는 기지국 제어기를 거쳐 SDR 네트워크로 보낸다.
- ⑥: DOA 추정 완료 메시지를 SDR네트워크로 보낸다.



〈그림 10〉 Directional Beam Set Variable

- ①: Beam Set Variable을 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기를 통해 빔형성기로 보낸다.

- ②: 빔형성기는 Directional Beam을 형성하기 위해 송신 Weight Vector를 계산한다.
- ③: 기지국 변조기 모듈은 빔형성기로 부터 송신 Weight Vector를 받아 송신 신호에 적용한다.
- ④: 기지국 변조기 모듈은 Directional Beam에 대한 Weight를 적용 후 완료 메시지를 송신한다.

## V. SA API Primitives

본 절에서는 스마트안테나 API Primitive를 정의하고 도표화하여 설명하였다. 본 논문에서 제시하는 스마트안테나 API Primitives는 스마트안테나 기지국 시스템이 기존의 이동통신 기지국의 Cell Plan을 유지하면서 상호연동 될 수 있도록 하고 다양한 업링크, 다운링크 빔형성 알고리즘과 안테나 토폴로지, Calibration 방법 등을 고려하여 설계하였다. 알고리즘에 따라 빔형성기,

〈표 1〉 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
CmdBeamformerDMExec	Optional		Beamformer Diagnostic monitoring on/off	Beamformer Diagnostic monitoring OK Beamformer Diagnostic monitoring Failure

〈표 2〉 Signals

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

〈표 3〉 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



모뎀 그리고 RF와의 인터페이스를 포함한다.

## VI. 결 론

SDR기반 기지국 소프트웨어의 구조는 Application의 유연한 확장과 Scalability를 지원할 수 있도록 수직적으로 계층화 하고, 수평적으로 모듈화 하여야 한다. SDR기반 기지국 시스템 소프트웨어의 모듈화와 계층화는 SDR기반 기지국 시스템 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 스마트안테나 API를 제시 하였고, 제시한 API를 보다 효과적으로 구현하기 위해서 각 API Primitive의 Usecase를 도식화 하여 설명하였다.

### 참고문헌

- [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] S. Choi and J. H. Reed, "Smart Antenna API," a power point presentation submitted to Technical Committee SDRF, Jun. 2004 (available www.sdrforum.org).
- [7] 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.  
for the ISI APT Radio via the SLIP Protocol,
- [8] W. Tuttlebee, "Software Defined Radio Origins, Drivers and International Perspectives," John Wiley & Sons, 2002.

### 용 어 해 설

#### 고스트 이미지(ghost image)

하드디스크의 내용을 단일 압축 파일로 변환하는 방법. 변환된 이미지 파일을 예비 저장 장치용의 다른 하드디스크나 광디스크에 복사하기 위한 방법으로, 고스트 이미징 소프트웨어를 사용하여 하드디스크의 내용을 CD나 서버와 같은 메체에 복사할 수 있다. 복사된 이미지는 다른 하드디스크를 설정하기 위해 포맷과 파티션을 자동으로 수행하는데 사용된다. PC에서 하드디스크를 백업하는데 이 방법을 사용하기도 한다.

저자소개



류 남 규

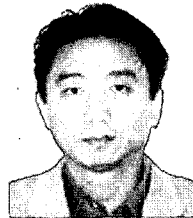
2002년 한양 대학교 전자·컴퓨터 공학과 졸업  
 2004년 한양대학교 전자·통신·전파 공학과 석사  
 2004년 한양대학교 전자·통신·전파 공학과 재학 중  
 2004년-2005년 (주)한텔 선임연구원  
 2005년-현 재 (주)세스텍 선임 연구원  
 주관심분야 차세대 이동통신 기지국 시스템, 적응 신호처리, SDR



윤 유 석

1995년 한양대학교 전자통신공학과 학사  
 1997년 한양대학교 전자통신공학과 석사  
 2004년 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정 재학중  
 1997년-2004년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원  
 주관심분야 SDR, 스마트안테나, 이동통신, 신호처리

저자소개



최 승 원

1980년 한양대학교 공과대학 학사  
 1982년 서울대학교 공과대학 석사  
 1985년 미국 Syracuse대 공과대학 석사  
 1988년 미국 Syracuse대 공과대학 박사  
 1992년-현 재 한양대학교 전자전기공학부 교수  
 2002년-현 재 HY-SDR 연구센터 센터장  
 1990년-1992년 일본 우정성 통신연구소 선임연구원  
 1989년-1992년 ETRI 선임연구원  
 1988년-1989년 Syracuse University 전기및전산과 교수  
 주관심분야 SDR, 스마트안테나, 이동통신, 신호처리