# SDR 스마트 안테나 기지국의 표준화를 위한 API 제안

현 승 헌 · 최 승 원
한양대학교 HY-SDR 연구센터

## 요 약

스마트 안테나 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스(SAAPI)는 Software Defined Radio (SDR) 네크워크에서 동작하는 스마트 안테나 시스템의 개방성, 유연성, 상호 운영성 및 호환성을 위해 제안된 표준 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스이다. 스마트 안테나 API는 스마트 안테나 시스템의 제어를 담당하는 SAControl 컴포넌트, 빔포밍(beamforming), 도달각(Direction of Arrival: DOA) 추정, 시공간 부호화(Space Time Coding: STC) 등의 다양한 알고리즘의 수행을 담당하는 SAAlgorithm 컴포넌트, 채널 추정과 다중 안테나 경로 보정(Calibration) 등을 담당하는 SASynchronization 컴포넌트 등의 세가지 컴포넌트로 구성된다. 본 논문에서는 스마트 안테나 API를 소개하고, 이를 이용하여 차세대 통신 시스템의 필수 요소로 자리잡고 있는 스마트 안테나 시스템의 표준 모델을 제시한다. 또한, 본 논문에서 제안하는 스마트 안테나 API는 SDR 관련 국제기구인 SDR 포럼을 통해 Object Management Group(OMG)의 표준으로 상정할 것을 목표로 하고 있다.

## Ⅰ. 서 론

스마트 안테나 기술이 통신 시스템의 링크 성능을 향상시키고, 용량을 증대시키며, 셀 반경을 확장시킨다는 것은 많은 학자들의 다양한 연구와 실험을 통하여 잘 알려져 있다[1]~[5]. 그러나 스마트 안테나 시스템의 장점을 상용 통신 시스템에 적용하기에는 기존 통신 시스템을 스마트 안테나 시스템으로 전환하는 비용의 문제, 통신 환경에 따라 개발된 수많은 스마트 안테나 알고리즘을 단일 플랫폼에 적용하기 위한 기술적 문제 등이 걸림돌로 작용하고 있다. 이러한 관점에서 개방성(open), 이식성(portability), 상호운영성(interoperability), 호환성(compatibility), 객체 지향성(object oriented), 유연성(flexibility)을 모토로 하고 있는 Software Defined Radio(SDR) 기술은 스마트 안테나의 상용화의 해결책으로 가장 적합하다.

SDR 기술은 첨단 디지털 신호 처리 기술과 고성능 디지털 신호 처리 소자를 이용하여 하드웨어 수정 없이 모듈화된 소프트웨어의 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해 다수의 무선 통신 규격을 통합 수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다[6].

본 논문에서는 개방성을 지향하는 SDR 기술을 이용한 스마트 안테나 시스템의 표준화를 위한 스마트 안테나 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스(Smart Antenna Application Programming Interface; SA API)를 제안하며, 이를 이용한 스마트 안테나 시스템의 표준 모델을 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 작성되었다. Ⅱ장에서는 스마트 안테나 시스템의 일반적인 분류, SDR 관점에서의 개방형 스마트 안테나 시스템의 구조 등 스마트 안테나 API를 이해하기 위한 배경 지식과 스마트 안테나 API의 개념에 대해 설명하고, Ⅲ장에서는 플

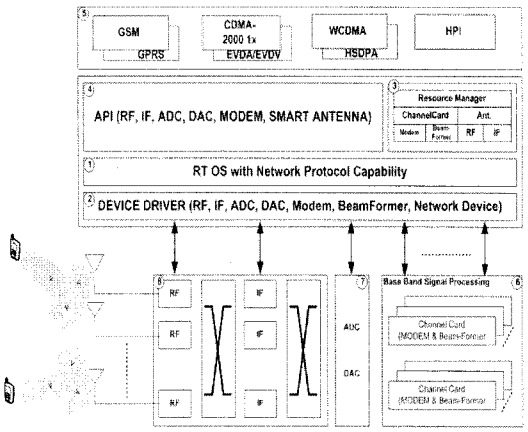
본 연구는 정보통신부의 ITRC 프로그램의 지원을 통해 수행되었다.

랫폼 독립적 모델(Platform Independent Model: PIM)을 통해 스마트 안테나 API를 정의하며, IV장에서는 제안된 PIM을 Common Object Request Broker Architecture(CORBA)[7]와 eXtensible Markup Language(XML)[8]로 구성된 플랫폼에 구현하기 위한 특정 플랫폼 모델(Platform Specific Model: PSM)을 제시한다. V장에서는 제안된 스마트 안테나 API의 표준화 활동에 대하여 소개하고, IV장에서 제안된 스마트 안테나 API에 대하여 결론을 맺는다.

## Ⅱ. 개방형 스마트 안테나 구조

SDR 시스템에서 스마트 안테나 기술의 장점을 활용하기 위해서는 다양한 종류의 스마트 안테나 기술을 모두 수용할 수 있는 개방형 스마트 안테나 구조를 정의하여야 한다. 또, 개발된 개방형 구조의 스마트 안테나 시스템의 상호 운영성, 호환성, 이식성를 지원할 수 있는 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스가 정의되어야 한다. 이러한 요구조건은 스마트 안테나 시스템을 기능에 따라 컴포넌트(component)로 분할하고, 각 컴포넌트를 제어할 수 있는 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스를 정의함으로써 가능하다.

[그림 1]은 본 논문에서 제안하는 개방형 스마트 안테나 시스템의 구조를 나타낸다. 제안된 구조의 하드웨어 계층(hardware layer)은 M개의 송신 안테나와 N개의 수신 안테나로 구성된 배열 안테나 컴포넌트와 각 안테나 컴포넌트에 연결된 RF(Radio Frequency)/IF (Intermediate Frequency) 신호처리 컴포넌트로 구성되어 있다. 또 스마트 안테나 알고리즘을 수행하기 위한 컴포넌트로 구성된 스마트 안테나 부시스템(Smart Antenna Subsystem)과 디지털 신호의 변복조, 부호화 등을 담당하는 모뎀 컴포넌트가 포함된 기저 대역 신호 처리기를 가지고 있다. 이 기저 대역 신호 처리기는 특정 용도 표준 프로세서(application specific standard processor), FPGA(Field Programmable Gate Array), 디지털 신호 처리기(digital signal processor), 일반 용도 프로세서(general purpose processor) 등으로 구현된다.




[그림 1] SDR 기반 개방형 스마트 안테나 구조

스마트 안테나 시스템에서 실행되는 응용 프로그램이 존재하는 어플리케이션 계층(application layer)과 하드웨어 계층 사이에는 미들웨어 계층(middleware layer)이 존재한다. 미들웨어 계층은 시스템을 운영하고 관리하는 실시간 운영 시스템(real-time operating system), 분산 처리 지원을 위한 ORB(Object Request Broker), 응용 프로그램의 실행과 개발 등의 환경을 구축하는 core framework, 하드웨어 장치를 구동하기 위한 드라이버, 모뎀과 스마트 안테나 부시스템을 구성하는 컴포넌트들, 어플리케이션 계층에서 하드웨어 컴포넌트를 제어할 수 있도록 제공되는 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스로 구성되어 있다. 본 논문에서 제안하는 스마트 안테나 API는 스마트 안테나 부시스템을 구성하는 컴포넌트들을 제어하기 위해 미들웨어 계층에 존재하는 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스중 하나이다.

개방형 스마트 안테나 구조에서 스마트 안테나 부시스템과 스마트 안테나 API의 개념은 스마트 안테

나 기술을 지원하지 않는 기존 시스템을 손쉽게 스마트 안테나 시스템으로 변환할 수 있는 방법을 제시한다는 점에서 매우 중요하다. 다시 말해 어떠한 SDR 통신 시스템이라도 스마트 안테나 API를 지원하는 스마트 안테나 모듈을 장착하는 것만으로 간단히 스마트 안테나 시스템으로 전환이 가능하다. 이러한 스마트 안테나 API의 개념은 새로운 상용 기성품(Commercial Off the Shelf: COTS) 시장을 개척할 것이다.

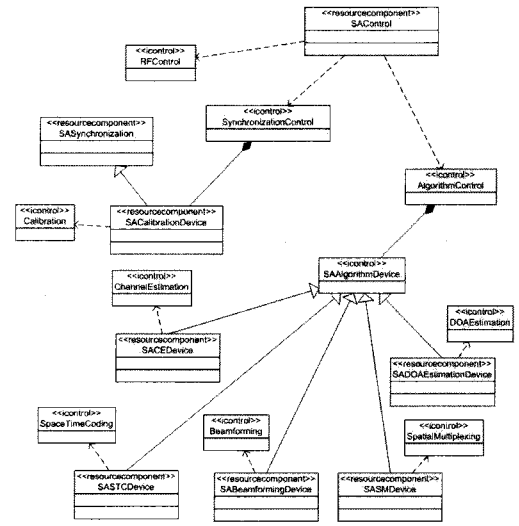
## Ⅲ. 스마트 안테나 API의 플랫폼 독립적 모델

스마트 안테나 API는 Object Management Group에서 제안한 Model Driven Architecture(MDA)를 기반으로 정의되었다. MDA가 추구하는 주요 목적은 IT(Information Technology)시스템 개발에 있어서 그 시스템의 기능을 설명하는 모델이 어떠한 플랫폼에도 이식 가능하고 재사용 가능하도록 하는데 있다[9]. 일반적으로 이 모델은 Unified Modeling Language(UML) 등과 같은 언어로 기술된다. 이러한 MDA의 목적을 달성하기 위해서는 먼저 플랫폼 혹은 특정 구현 기술에 독립적인 모델인 플랫폼 독립적 모델(PIM)을 정의하여야 한다. 플랫폼 독립적 모델이 정의되면 이 모델에서 정의하는 다양한 기능을 특정 플랫폼에 맵핑한 특정 플랫폼 모델(PSM)이 정의될 수 있다.

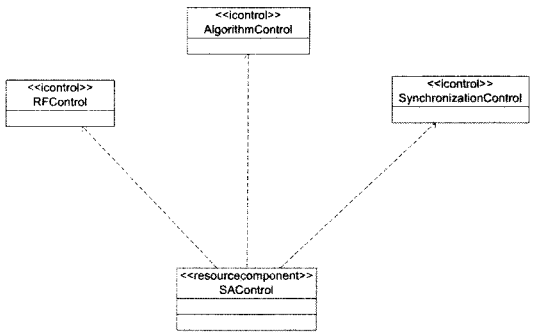
그림 2는 UML로 기술된 스마트 안테나 API의 플랫폼 독립적 모델이다. 스마트 안테나 API의 플랫폼 독립적 모델은 세 개의 수단(facilities) 즉, SAControl facilities, SASynchronization facilities, SAAlgorithm facilities으로 구성되어 있다.

### 3-1 SAControl Facilities

[그림 3]은 스마트 안테나 부시스템의 제어를 담당하는 SAControl facilities를 나타낸다. SAControl facilities는 RFControl, AlgorithmControl, Synchronization Control이라는 세 개의 제어 인터페이스와 이 제어




[그림 2] 스마트 안테나 API의 플랫폼 독립적 모델




[그림 3] SAControl facilities

인터페이스들을 구현화(realization)한 SAControl 컴포넌트를 가지고 있다.

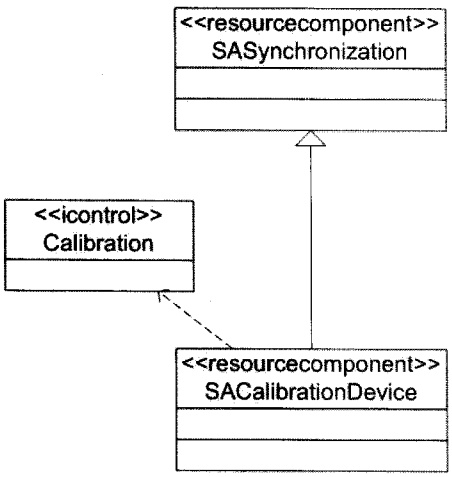
RFControl 인터페이스, AlgorithmControl 인터페이스, SynchronizationControl 인터페이스는 각각 여러 개의 RF/IF 컴포넌트, Algorithm 컴포넌트, Synchronization 컴포넌트를 참조(referencing)할 수 있는 속성(attribute)을 가지고 있다. SAControl 컴포넌트는 스마트 안테나 부시스템내의 모든 컴포넌트에 리셋(reset), 실행(run), 멈춤(halt) 등의 명령을 내릴 수 있

는 연산(operation)을 가지고 있다. 그림 III-2에서 볼 수 있듯이 SAControl 컴포넌트가 자기 자신이 가지고 있는 속성과 연산, 각 제어 인터페이스로부터 상속받아 구현한 속성과 연산을 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스로 제공함으로써 응용 프로그램 개발자는 SAControl facilities를 통해 스마트 안테나 부 시스템의 제어가 가능하다.

### 3-2 SASynchronizaton Facilities

[그림 4]는 스마트 안테나 시스템의 캘리브레이션을 담당하는 SASynchronization facilities를 나타낸다. 스마트 안테나 시스템의 캘리브레이션은 각 안테나 경로마다 서로 다른 위상과 크기 특성을 보정하는 기술이다. 캘리브레이션은 송신 빔 형성을 하기 위해 수행되는데, 이는 송신 빔 형성이 수신기에서 얻은 웨이트 벡터를 사용하여 이루어지므로 각 안테나 경로(path)의 위상과 크기의 특성이 다르면 정확한 송신 빔 형성을 수행할 수 없기 때문이다.

SASynchronization facilities는 Calibration 인터페이스와 SASynchronization 컴포넌트, SACalibrationDevice 컴포넌트로 구성되어 있다. Calibration 인터페이스는




[그림 4] SASynchronizaton facilities

캘리브레이션을 실행시키고, 캘리브레이션 정확도, 구간 등을 설정할 수 있는 속성을 가지고 있으며, SASynchronization 컴포넌트는 SACalibrationDevice 컴포넌트의 상태 보고를 요청(query)할 수 있는 속성을 가지고 있다. 이러한 속성과 연산은 모두 SACalibrationDevice에 의해 상속되어 구현되어지므로, 프로그램 개발자는 SACalibrationDevice를 통해 스마트 안테나 시스템의 캘리브레이션을 제어할 수 있다.

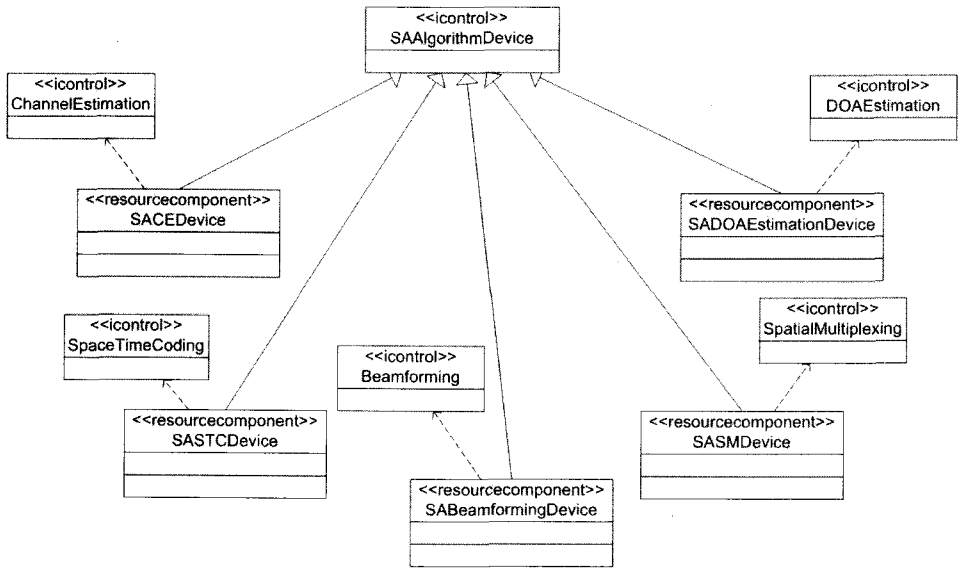
### 3-3 SAAlgorithm Facilities

[그림 5]에 보이는 SAAlgorithm facilities는 스마트 안테나 시스템의 알고리즘 수행을 담당하는 핵심 컴포넌트들로 구성되어 있다.

SAAlgorithm facilities는 II장에서 언급한 스마트 안테나 시스템의 유형에 따라 채널 추정 및 보정 알고리즘의 수행을 담당하는 SACEDevice, 시공간 부호화 알고리즘의 수행을 담당하는 SASTCDevicce, 빔 형성(beamforming) 알고리즘의 수행을 담당하는 SABeamformingDevice, 공간 다이버시티 알고리즘의 수행을 담당하는 SASMDevice, 도달각 추정 알고리즘의 수행을 담당하는 SADOAEstimationDevice 등의 알고리즘 컴포넌트들과 모든 알고리즘 컴포넌트에서 공통으로 구현되어져야 하는 속성 및 연산을 가지고 있는 SAAlgorithmDevice 인터페이스와 특정 알고리즘 컴포넌트에서만 구현되어질 속성 및 연산을 가지고 있는 SpaceTimeCoding 인터페이스, ChannelEstimation 인터페이스, SpatialMultiplexing 인터페이스, DOAEstimation 인터페이스, Beamforming 인터페이스 등의 제어 인터페이스들로 구성되어 있다.

## Ⅳ. 스마트 안테나 API의 특정 플랫폼 모델

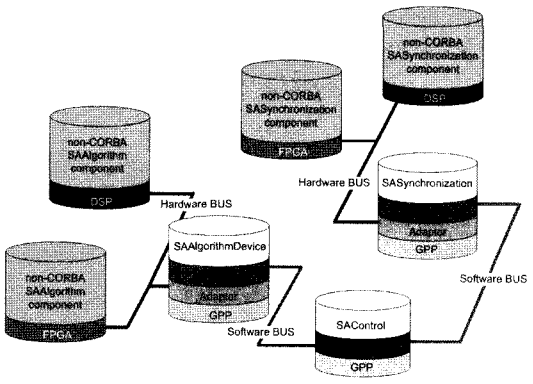
스마트 안테나 API의 특정 플랫폼 모델이란 III장에서 정의한 플랫폼 독립적 모델의 기능들을 특정 기술로 구현된 플랫폼에 맵핑한 모델이다. 본 절에




[그림 5] SAAlgorithm Facilities

서는 스마트 안테나 API의 특정 플랫폼 모델을 위해 SDR 시스템 구현에 보편적으로 사용되고 있는 CORBA와 XML 기술로 구현된 플랫폼을 타깃 플랫폼으로 선정하였다.

[그림 6]은 스마트 안테나 API의 각 컴포넌트들이 하드웨어 장치에 어떻게 배치되어 있는지를 보여주는 배치도(deploy diagram)이다. 주로 논리적 연산을




[그림 6] 스마트 안테나 API의 배치도

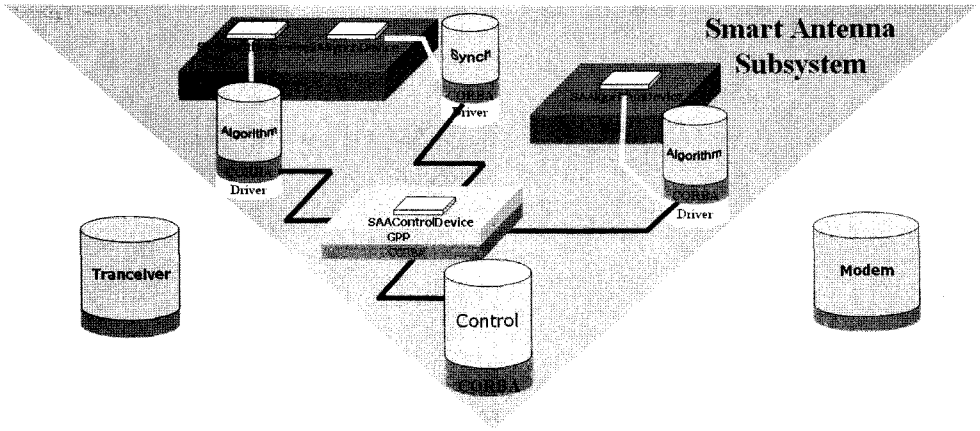
많이 하는 SAControl 컴포넌트는 GPP에 로딩(loading)하였고, 고속의 디지털 신호 처리 연산을 요구하는 SAAlgorithmDevice 컴포넌트와 SASynchronization 컴포넌트는 FPGA와 DSP와 같은 디지털 신호 처리 장치에 로딩하였다. DSP와 FPGA 같은 디지털 신호 처리 장치를 위한 CORBA 기술은 아직까지는 널리 사용되지 않고 있기 때문에, SAAlgorithmDevice, SASynchronization 컴포넌트와 DSP, FPGA 장치들과의 연결은 어댑터(adaptor)를 통해 이루어졌다.

### 4-1 스마트 안테나 API의 구현예

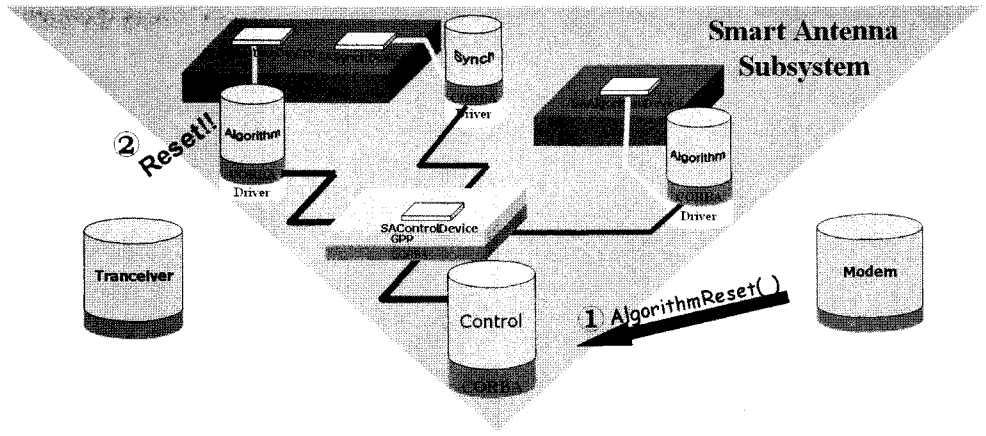
본 장에서는 스마트 안테나 API를 이용한 SDR 스마트 안테나 시스템 구현예 중 가장 중요한 초기화 및 알고리즘 리셋(reset)과 알고리즘 수행을 제시한다. [그림 7]은 초기화의 구현 예를 나타낸다. SDR 스마트 안테나 시스템은 Field Programmable Gate Array (FPGA), Digital Signal Processing(DSP), General Purpose Processor(GPP)를 이용하여 구현된다. IV장에서 제시한 스마트 안테나 API의 SAControl은 스마트 안

테나 시스템의 제어를 위한 컴포넌트로 GPP에 로딩되고 나머지 SASynchronization과 SAAlgorithmDevice는 FPGA 및 DSP에 로딩된다. 아직까지 FPGA와 DSP를 위한 CORBA의 구현이 활성화 되어 있지 않아 이들 디바이스는 Driver로 제어한다. 즉, CORBA는 GPP에만 로딩되고 SASynchronization과 SAAlgorithmDevice 역시 GPP에 로딩 하되 이들의 수행 알고리즘은 FPGA와 DSP에 로딩한다. 각 소프트웨어 모듈이 다운로드 되면 스마트 안테나 시스템은 CORBA를 초기화 시키고 각 컴포넌트의 연결을 수행한다. 각 컴포넌트간의 연결은 CORBA BUS를 이용하여 이루어지며, FPGA와 DSP는 하드웨어 버스를 이용하여 이루어진다.

[그림 8]은 리셋 명령에 대한 스마트 안테나 시스템의 동작을 설명한다. SDR 네트워크에서 알고리즘 리셋 명령이 SAControl에 전송되면 SAControl은 이 리셋 명령을 SAAlogirthmDevice로 전송한다. 리셋 명령을 받은 SAAlgorithmDevice는 모든 알고리즘 소프




[그림 7] 스마트 안테나 시스템 초기화



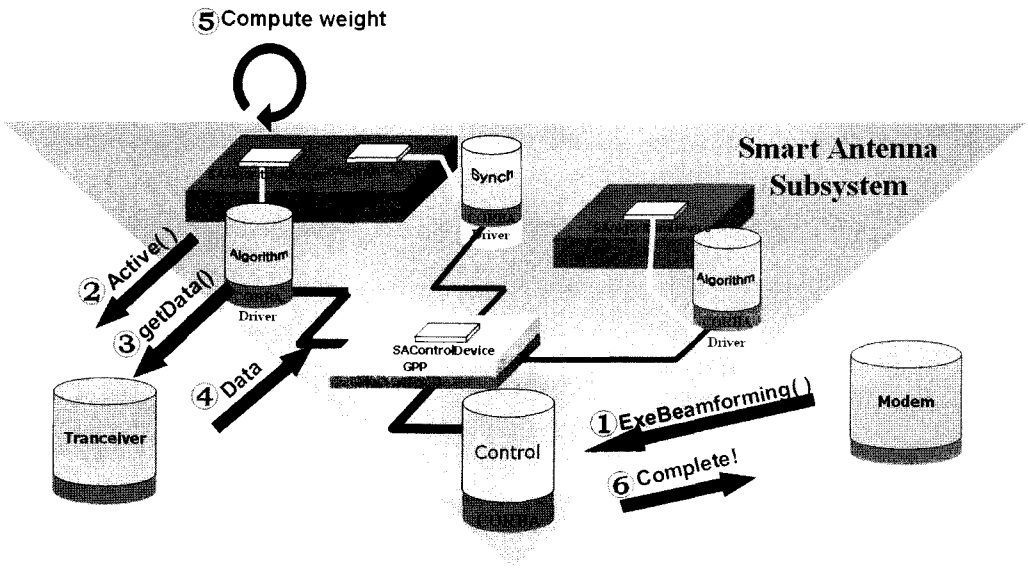

[그림 8] 스마트 안테나 시스템의 리셋

트웨어 루틴(routine)을 리셋하고, 리셋 완료(reset completion) 메시지를 SAControl에 리턴(return)한다. SAControl은 SAAlgorithmDevice에 초기화 파라미터들을 전송하여 SAAlgorithmDevice의 초기화 시킨다. SAAlgorithmDevice는 초기화가 끝나면 완료 메시지를 SAControl에 전송하고, SAControl은 이 완료 메시지를 SDR 네트워크에 리턴한다.

[그림 9]는 빔 포밍 웨이트 계산 명령의 사용예를 나타낸다. SDR 네트워크에서 빔 포밍 수행 명령이 SAControl에 전송되면 SAControl은 SAAlgorithmDevice에 이 명령을 전달한다. 수행 명령을 받은 SAAlgorithmDevice는 SAControl에 시스템 모드에 대한 정보를 요청하고 전달 받은 뒤 수행할 알고리즘을 SAControl에 요청한다. SAControl로부터 전달받은 알고리즘을 수행하기 위해 SAAlgorithmDevice는 안테나 타입, 배열 안테나의 안테나 소자 수, 알고리즘 초기 파라미터 등을 요청하고 전달 받은 후 Tranceiver를 활성화 시킨다. Tranceiver가 활성화 되면 SAAlgorithmDevice는 Tranceiver에 수신 신호를 요청하고 전송받는다. 또, SAAlgorithmDevice는 SASynchronizaton에 캘리브레이션 파라미터를 요청하고 전송받는다. Tranceiver와 SASynchronization으로부터 전송받은 각각 수신신호와 캘리브레이션 파라미터를 이용하여 SAAlgorithm은 빔 포밍 웨이트를 계산하고 계산한 결과를 Tranceiver에 전달함과 동시에 완료 메시지를 SAControl을 통해 SDR 네트워크에 전송한다.

## V. 스마트 안테나 API의 표준화 활동

본 논문에서 제안된 스마트 안테나 API는 한양대학교 HY-SDR 연구센터의 주도하에 국제 SDR 표준화 그룹인 SDR 포럼 산하 Smart Antenna Working Group (SA WG)에 의해 제창(promotion)되었으며, 올해 하반기 내에 SDR 포럼의 투표를 거치게 된다. SDR 포럼의 투표를 통과하게 되면 스마트 안테나 API는 OMG 산하 Software Based Communications Domain Task Force (SBC-DTF)에 제출되어 표준화 상정을 위한 절차를 진행하게 된다.




[그림 9] 스마트 안테나 시스템의 웨이트 계산 수행

한편, SBC-DTF는 현재 SDR 통신 시스템의 표준화를 위해 Software Radio Component 표준화 작업을 진행 중에 있다. 그러나 Software Radio Component가 스마트 안테나 기능을 지원하고 있지 않아 SBC-DTF는 스마트 안테나 API와 Software Radio Component를 취합하는 방안을 검토 중이다. 이에 대하여 한양대학교 HY-SDR 연구센터에서는 각 표준에 맞는 시스템을 개발하여 상호 운영성을 검증하는 작업을 진행 중에 있다.

## Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 SDR 네트워크에서 동작하는 스마트 안테나 시스템을 위한 개방형 스마트 안테나 구조와 개방형 스마트 안테나 시스템의 상호 운영성, 호환성, 이식성을 위한 스마트 안테나 API를 제시하였다. 제안된 스마트 안테나 API와 이를 통해 구현된 스마트 안테나 부시스템의 개념은 새로운 상용 기성품 시장을 개척할 뿐만 아니라 스마트 안테나 시스템 개발을 위한 비용 및 시간을 단축시킬 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 더욱이, 스마트 안테나를 지원하지 않는 기존 통신 시스템이 제안된 스마트 안테나 API를 통해 손쉽게 스마트 안테나 시스템으로 변환 가능하다는 것도 주목할 만한 점이다.

## 참 고 문 헌


[1] S. Anderson, M. Millnert, M. Viberg, and B. Wahlberg, "An adaptive array for mobile communication systems", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, pp. 230-236, 1991.

[2] J. C. Liberti, T. S. Rappaport, "Analytical results for reverse channel performance improvements in CDMA cellular communication systems employing adaptive antennas", in *Proc. IEEE Globecom'93*, Houston, TX, pp. 42-47.

[3] A. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, "Capacity Improvement with base-station antenna arrays in cellular CDMA", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 691-698, Aug. 1994.

[4] J. H. Winters, J. Salz, and R. D Gitlin, "The impact of antenna diversity on the capacity of wireless communication systems", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 1740-1751, 1994.

[5] S. Choi, J. Choi, H. Im, B. Choi, "A novel adaptive beamforming algorithm for antenna array CDMA systems with strong interferers", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, Issue 5, pp. 808-816, Sep. 2002.

[6] W. Tuttlebee, *Software Defined Radio Baseband Technology for 3G Handsets and Basestations*, John Wiley & Sons, 2003.

[7] Common Object Request Broker Architecture (CORBA/IIOP) ver. 3.0.3, formal/2004-03-12, Middleware and Related Services PTF, Objcet Management Group, http://www.omg.org/

[8] Extensible Markup Language (XML) 1.1, REC-xml11-20060816, world wide web consortium.

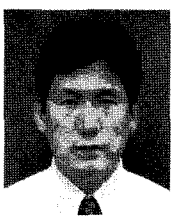
[9] MDA Guide v 1.0.1, doc. number: omg/03- 06-01, Object Management Group, http://www. omg.org/

[10] Software-Based Communication Domain Task Force(SBC-DTF), http://sbc.omg.org/

[11] Platform Independent Model (PIM) & Platform Specific Model (PSM) for Software Radio Components, dtc/05-09-05, SBC-DTF, OMG

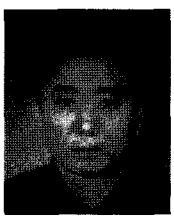
≡ 필자소개 ≡

현 승 헌



2004년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신 공학부 박사과정

최 승 원



1992년 9월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부 교수
2002년 7월~현재: HY-SDR 연구센터 센터장
2004년 11월~현재: SDR Forum 부회장
2004년~현재: 정보통신부 주파수 자문위원회 위원