

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

정회원 류 남 규*, 최 승 원*

A Smart Antenna System API and Smart Antenna BTS Open Architecture for SDR Network

Nam-Gyu Ryu*, Seung-Won Choi* *Regular Members*

요 약

다양한 이동 통신을 수용 할 수용하기 위해서 SDR system의 하드웨어와 소프트웨어는 개방성, 분산성, 객체 지향성, 소프트웨어 제어성을 제공하는 구조이어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 SDR 시스템에 사용될 SDR 시스템의 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 개발 시간을 단축시켜 주고 시스템을 재구성하여 운용 할 수 있도록 해 준다.

본 논문은 SDR기반 스마트안테나 기지국 시스템에서 SDR Network이 추구하는 개방형, 객체지향성 및 제어성 등을 확보 할 수 있도록 하고 SDR Network와 유연하게 연동 할 수 있도록 제안된 개방형 기지국 시스템과 스마트 안테나 기지국 API(Application Program Interface)를 이용하여 기지국 시스템을 구현하였다.

Key Words : API, SDR, SDR Network, Smart Antenna, Base Station

ABSTRACT

The SDR(Software Defined Radio) system for hardware and software must be an open structure to various system standards. It should also provide a capability of distributed processing, object-orientedness, and software controllability. It implies that the software to be used in the SDR system should provide the openness such that it can operate independently of a given hardware platform. In order to achieve these goals, the SDR system tends to modularization for increasing hardware reuse and design flexibility, which provides the system reconfigurability. In this paper, we implemented a base station with proposed an open architecture of a Smart Antenna Base Station(SABS) and Smart Antenna APIs[10] operating in SDR network in such a way that the architecture itself is suitable for the entire system to maintain the openness, object-orientedness, and software controllability.

1. 서 론

Software Defined Radio (SDR) 기술은 첨단 디

지털 신호처리 기술과 고성능 디지털 신호처리 소자를 이용하여 하드웨어 수정 없이 모듈화 된 소프트웨어 변경만으로 단일의 송수신 시스템을 통해

※ 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성 지원사업의 연구결과로써 HY-SDR 연구센터의 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

* 한양대학교 전자·통신·전파공학과 통신 신호처리 연구실(ryu7424@dsplab.hanyang.ac.kr), (choi@dsplab.hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-01-035, 접수일자 : 2008년 1월 17일, 최종논문접수일자 : 2008년 4월 11일

다수의 무선 통신 규격을 통합수용하기 위한 무선 접속 기반 기술이다¹⁾.

본 논문에서는 이러한 SDR 시스템의 요구 사항을 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 유.무선 규격을 수용할 수 있는 다중모드 SDR 시스템을 구성할 수 있다. 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 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. 본 논문에서는 [10]에서 제시한 개방형 기지국 시스템과 스마트안테나 API를 이용하여 스마트안테나 기지국시스템을 구현하기 위해 필요한 하드웨어의 기능별 객체화, 모듈화 방안, 그리고 각API의 인터페이스와 동작에 대해 자세히 설명하였다.

II. 스마트 안테나 API요구사항과 논리 기능 정의

본 절에서는 Smart Antenna 기지국 시스템 내에서 소프트웨어 간 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 재구성이 가능한 SDR 기반의 통신 플랫폼이 요구된다. 따라서 기지국 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 개방성, 분산성, 객체지향성을 갖도록 모듈화하여야 하고 각 모듈간의 인터페이스를 모듈화에 부합되도록 정의하여야 한다[2]. 결국 스마트 안테나 기지국 시스템의 Open Architecture를 설정함에

있어 가장 중요한 핵심 사안은 기지국 시스템 내의 각 모듈간의 인터페이스 규격을 정의하고, Smart Antenna 기지국의 소프트웨어 간 인터페이스를 정의하는 API를 효율적으로 설정함으로써 기지국 시스템이 SDR 네트워크와 유연하게 연동할 수 있도록 하는 것이다. 기지국 시스템내의 소프트웨어 간 인터페이스를 정의하는 Smart Antenna 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 이동통신 규격의 진화에 적응하여 동작가능 해야 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 기능 별로 모듈화 되어 있어야하고 각 모듈의 기능은 SDR 네트워크를 통해 제어할 수 있어야 하고 업그레이드가 가능한 구조이어야 한다.

본 논문에서 논의되는 Smart Antenna의 Logical Functionality는 [3]에 정의 되어 있는 API Framework를 기반으로 설계한 것이다.

그림 1.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 primitives for reporting recent, typically non-persistent events.

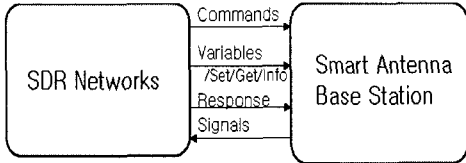


그림 1. API primitive를 통한 SDR네트워크와 스마트안테나 기지국 인터페이스

III. 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 개방형 구조는 2절에서 제시된 스마트 안테나 API의 요구 사항 및 논리기능을 모두 만족한다. 그림 2.은 SDR 기반 스마트안테나 기지국 시스템의 개방형 구조를 나타낸다. SDR기반 스마트안테나 기지국 시스템은 그림 2.에 나타나 있는 ①, ②, ③, ④, ⑤와 같이 객체지향으로 설계된 소프트웨어 부분과 ⑥, ⑦, ⑧과 같이 재구성성이 용이한 DSP, FPGA, 내장형 CPU 등으로 구현된 모듈화된 하드웨어로 부분으로 구성되어 있다. 개방형 구조를 위한 소프트웨어(①-⑤)는 하드웨어(⑥-⑧)가 Application으로부터 완벽하게 추상화(abstracted)가 되도록 계층화되어(layered) 있어야 한다. 미들웨어 계층(①-④)은 기능별로 분리된 시스템내의 각각의 하드웨어 자원을 객체화(object-oriented)하고 객체 간에 표준화된 인터페이스 규격에 따라 통신이 가능하도록 해준다. 이러한 미들웨어는 그림 2.에 나타난 바와 같이 운영체제, 장치드라이버(Device Driver), 자원관리(Resource Management), API로 구성된다[4].

그림 2.의 ①은 SDR기반 스마트 안테나 기지국 시스템의 실시간 운영체제를 나타낸 것으로서, SDR이 추구하는 개방성, 객체지향성, 분산성을 고려하여 설계된 API와, 장치드라이버 그리고 응용 프로그램들에 대하여 이식성(portability)과 상호 운용성(interoperability)을 제공하여야 한다. 또한 실시

간 운영 체제는 다중 프로세서 구조와 공통 인터페이스, 메모리 관리기능을 지원하여야 하며 네트워크 기능도 포함하고 있어야 한다.

그림 2.의 ④은 API를 나타낸 것으로서 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 응용프로그램을 개발 할 수 있다. 결국 저 수준의 하드웨어 프로그램 개발에 대한 부담을 줄여 줌으로써 개발자가 보다 강력하고 보다 복잡한 프로그램 개발에 집중 할 수 있도록 해 준다.

그림 2.의 ②는 SDR기반 스마트 안테나 기지국 시스템에서 갖추어야 하는 장치 드라이버를 나타내었다. 장치 드라이버는 응용프로그램과 실제 장치들 사이에 위치한 소프트웨어 계층이다. 장치 드라이버

는 운영체제 내의 한 모듈로서 특정 하드웨어 장치의 (low-level) 입.출력 관리하고, 시스템내의 다른 모듈과의 표준화 된 인터페이스를 제공함으로써 시스템의 운용성(operability) 및 이식성(portability)을 향상시켜준다.

그림 2.의 ③는 자원 관리자를 나타낸 것으로서 SDR기반 시스템내의 모든 하드웨어 자원에 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 2.의 ⑧은 SDR 시스템에서 3G/4G 무선 이동통신 규격 및 스마트 안테나 알고리즘을 소화

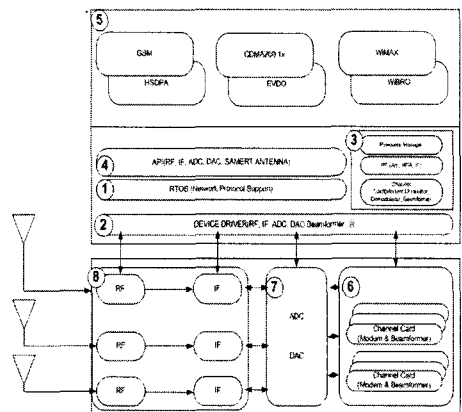


그림 2. 스마트안테나 기지국 개방형 구조

해 낼 수 있는 다중모드, 다중밴드 RF 및 IF를 나타낸다. SDR 시스템의 RF는 광대역 RF 특성을 가지고 있어야 한다. 하나의 구조로 다중밴드 RF를 수용 할 수 있어야 하며, 이를 위해선 기존의 아날로그 RF 디바이스의 특성이 다중밴드를 소화하기 위하여 광대역 특성을 가지거나, 다중밴드 특성을 가져야 한다[5]. 그리고 Zero-IF 또는 Digital IF 기술을 적용함으로써 여러 개의 주파수 범위에서 다양한 대역폭의 채널을 선택할 수 있다.

그림 2.의 ⑦은 AD와 DA 변환기를 나타낸다. AD 변환기의 경우 빠른 속도의 클럭 주파수와 높은 분해능이 보장되어야 하고, 저 잡음, 저 전력 소모를 만족하여야 한다. DA 변환기는 저잡음, 저전력 그리고 대역특성이 우수해야 한다.

그림 2.의 ⑥은 SDR기반 스마트 안테나 기지국 시스템의 채널카드를 나타내었다. 베이스 밴드 신호 처리를 위한 변복조기와 빔 형성기는 연산량을 상황에 따라 적절히 분산이 가능하여야 하고 프로그래머블 디바이스를 사용함으로써 다중모드 동작이 가능하고 네트워크를 통해 실시간으로 다양한 이동통신 변복조 기법과 원하는 빔 형성 알고리즘을 네트워크로부터 다운로드 받아 동작이 가능한 구조이어야 한다.

IV. SDR기반 개방형 기지국 구현

본 절에서는 III절에서 제시한 SDR-based Smart Antenna Open Architecture의 요구 사항 및 인터페이스를 고려하여 스마트안테나 기지국의 Open Architecture의 일례를 설계한다. 구현된 시스템 하드웨어는 그림 2.의 ⑤에 표시한 Application으로부터 완벽하게 추상화(abstracted)가 되어야 하며 이를 위하여 각 모듈을 기능별로 나누어 시스템 전체의 하드웨어와 소프트웨어가 계층화(layered)되도록 설계하였다. 또한, 본 논문에서 제시된 스마트 안테나 Open Architecture의 미들웨어 계층은 기능별로 분리되어 시스템내의 각각의 하드웨어 자원을 객체화하고 II절에서 제시한 Smart Antenna API 인터페이스 규격에 따라 통신이 가능하도록 하였다. 스마트 안테나 기지국 시스템은 네트워크 인터페이스 및 기지국 시스템의 각 모듈을 제어하고 상위 계층의 호 처리를 담당하는 Smart Antenna 시스템 제어부, 기지국 순방향 변조를 담당하는 변조기 및 변조기 제어기 부, 기지국 역방향 복조를 담당하는 복조기 및

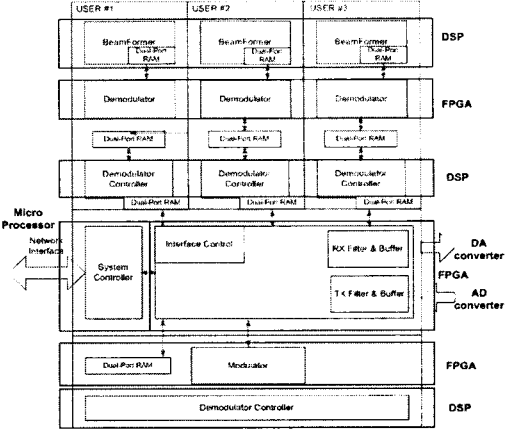


그림 3. SDR기반 스마트안테나 채널카드 구조

복조기 제어기 부, 스마트안테나 기지국내에 속한 유저에게 최적의 빔을 실시간으로 적용하기 위해 알고리즘 계산을 담당하는 빔형성 부, Array Antenna 부, 각각의 안테나에 따른 RF, IF 부, 그리고 기저대역 처리부(기저대역 AD/DA 부)로 구성되어 있다. 상기 설명된 각각의 모듈은 네트워크를 통해 제어 및 모니터가 가능하고 기능의 업그레이드가 용이하도록 하드웨어와 미들웨어(실시간 운영 체제, 자원 관리자, API, 장치 드라이버)가 구성되어 있다. 그림 3은 그림 4의 SDR기반 스마트안테나 기지국 채널카드의 각 모듈 간 인터페이스와 기능을 나타낸다.

그림 4의 스마트 안테나 기지국 채널 카드는 그림 2에서 제시된 SDR기반 개방형 스마트 안테나 기지국 구조를 기반으로 하여 구현한 것이며 구현된 채널카드의 하드웨어 구조는 SDR이 추구하는 개방성, 분산성, 객체지향성, 소프트웨어 제어성을 확보하고 재구성성이 가능 할 뿐만 아니라 SDR 네트

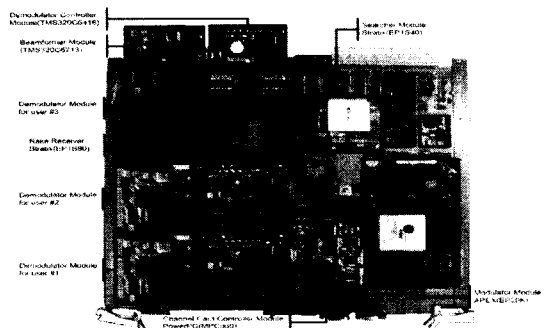
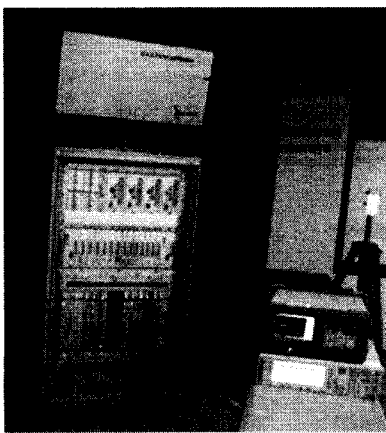


그림 4. 스마트안테나 기지국 채널카드

웹을 통해 프로그램 다운로드가 가능하도록 프로그램머블 디바이스를 사용하여 설계하였다⁶⁾.

채널카드 내의 각 모듈간은 Dual-port RAM으로 상호 인터페이스 되어 있어 계산의 복잡도를 상황에 따라 적절히 분산이 가능하도록 하였다. 빔 형성기와 복조기 제어기는 TI의 고속 부동 소수점 DSP(Digital Signal Processor)인 TMS320C6713과 고정 소수점 DSP인 TMS320C6416을 사용하여 구현하였고, 변.복조기는 Altera Stratix FPGA(Field Programmable Gate Array)로 구현하였다. 채널카드 컨트롤러는 빔형성기 및 복조기 제어기와 HPI(Host Port Interface)로 인터페이스 되어 있으며, 변.복조기의 Fusing ROM 또한 채널카드 컨트롤러와 각각 인터페이스 되어 있어 실시간으로 다양한 빔형성 알고리즘과 다중모드 변.복조 기법을 네트워크를 통해 다운로드 받아서 동작이 가능하다⁷⁾. 그림 3에서 제시한 빔형성기와 모뎀 구조는 DOA(Direction of arrival)-based 알고리즘(MUSIC, ESPRIT, ML), Training Sequence based-알고리즘(LMS, MMSE, RLS)[8] 그리고 Blind Beamforming 알고리즘(Eigen-vector-oriented Method, CMA)[9] 등의 다양한 빔형성 알고리즘을 모두 수용 가능하도록 하였다. 그림 5는 본 논문에서 제시하는 소프트웨어와 하드웨어 구조를 갖는 SDR기반 기지국 시스템이다. 기지국 시스템은 캘리브레이션 안테나를 포함하여 7개의 어레이 안테나로 구성되며 각 안테나는 각각의 RF부와 IF부 그리고 기저 대역 신호처리 부로 구성 된다. 기저 대역 처리부는 그림 4의 채널카드에서 기저대역 송.수신 신호 처리와 빔 형성 알고리즘을 계산한다.



Smart Antenna BTS

그림 5. 스마트안테나 기지국 시스템

V. SA API Primitives & Implementation

본 절에서는 II절에서 설명한 Smart Antenna API Primitive[10]가 IV절에서 구현한 SDR기반 스마트안테나 기지국 시스템에 적용되어 동작하는 과정을 자세히 설명한다. 특히 [10]에서 정의된 API Primitives 중 Beamformer Execution Command, Calibration Execution Command, Algorithm Set Variable 그리고 DOA(Direction of Arrival) Get Variable에 대해 자세히 기술 한다. II절에서 설계한 스마트안테나 채널카드는 기능에 따라 변조기 모듈, 복조기 모듈, 빔형성 모듈 그리고 스마트안테나 제어기 모듈로 모듈화 되어 구성되어 있으며 각 모듈은 API Primitives 간에 상호 연동을 위하여 소프트웨어로 구성된 상위 객체인 SA(Smart Antenna) Control Device, SA Algorithm Device, SA Demodulator Device 그리고 Modulator Device로 추상화 되어있다. 그림 6은 Beamformer Execution Command가 발생한 경우 SDR네트워크와 스마트안테나 기지국내 각 모듈의 동작 과정을 설명 하고 있다.

그림 6에서 보듯이, Beamformer Execution Command는 다음과 같은 과정으로 수행된다.

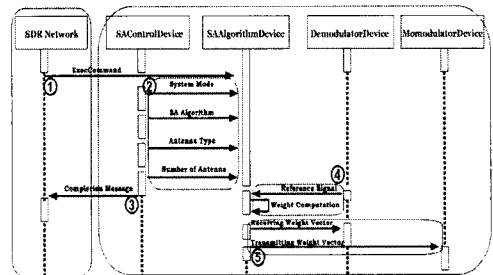


그림 6. Beamformer Execution Command

- ① : Beamformer Execution Command를 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보내고 기지국 제어기는 이를 분석하여 해당 Command를 빔형성기 모듈로 보낸다.
- ② : 기지국 제어기는 빔형성 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 시스템 파라미터(어레이 안테나 수, 현재 설정된 알고리즘)값을 빔형성기 모듈로 보낸다.
- ③ : 기지국 제어기 모듈은 기지국 시스템 파라미터 값을 빔형성기로 보낸 후 SDR 네트워크로 Command 설정 완료 메시지를 보낸다.
- ④ : 스마트안테나 기지국 복조기 모듈은 빔형성

기에서 빔형성 알고리즘을 계산하기 위해 필요한 Reference 값을 CDMA, OFDMA, TDMA, FDMA 등 다중접속 방식에 따라 계산하여 빔형성기로 보낸다.

- ⑤ : 빔형성기에서 계산된 송신 및 수신 웨이트 벡터는 변조기 및 복조기 모듈로 보내어져 송. 수신 신호에 적용된다.

그림 7은 Beamformer Execution Command가 발생한 경우 SDR 네트워크와 스마트안테나 기지국내 각 모듈의 동작 과정을 설명 하고 있다.

그림 7에서 보듯이, Calibration Execution Command는 다음과 같은 과정으로 수행된다.

- ① : Calibration Execution Command를 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보낸다.
- ② : 기지국 제어기는 캘리브레이션에 필요한 트레이닝 신호를 생성하기 위해 기지국 변조기 모듈에게 트레이닝 신호 생성 메시지를 보낸다.
- ③ : 기지국 제어기 모듈은 캘리브레이션에 필요한 RF 경로 선택, 주파수 선택 등 관련 RF 파라미터를 설정한다.
- ④ : 스마트안테나 기지국 변조기 모듈은 송신, 수신캘리브레이션에 필요한 트레이닝신호를 생성하여 캘리브레이션 안테나를 통해 송신 한다. 기지국 복조기 모듈은 수신된 트레이닝 신호를 빔형성기로 보내어 송신, 수신 캘리브레이션 값을 계산한다.
- ⑤ : 빔형성기에서 계산된 송신 및 수신 캘리브레이션 값은 변조기와 복조기로 보내어서 스마트안테나 기지국 시스템의 송수신 신호에 위상과 크기를 보정한다.

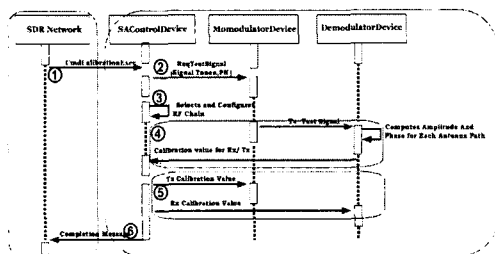


그림 7. Calibration Execution Command

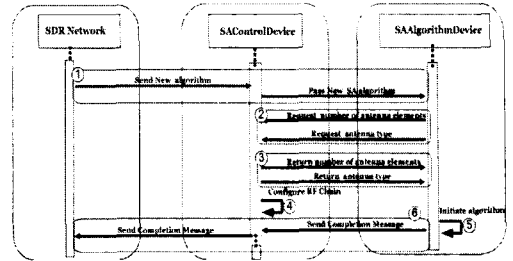


그림 8. Algorithm Set Variable

그림 8은 Beamformer Execution Command가 발생한 경우 SDR 네트워크와 스마트안테나 기지국 내 각 모듈의 동작 과정을 설명 하고 있다.

그림 8에서 보듯이, Algorithm Set Variable은 다음과 같은 과정으로 수행된다.

- ① : Algorithm Set Variable을 SDR 네트워크에서 스마트안테나 기지국 제어기로 보내고 기지국 제어기는 다시 빔형성기 모듈로 보낸다.
- ② : 빔형성기는 요구한 알고리즘을 로딩 후 기지국 제어기에게 빔형성 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 시스템 파라미터 값을 요구한다.
- ③ : 기지국 제어기 모듈은 기지국 시스템 파라미터 값을 빔형성기로 보낸다.
- ④ : 기지국 제어기 모듈은 현재 빔형성기에 로딩 된 알고리즘에서 필요한 각 RF 경로에 대해 파라미터를 설정한다.
- ⑤ : 빔형성기는 기지국 제어기에서 받은 시스템 파라미터 값을 설정하고 알고리즘을 동작시키기 위해 초기화 작업을 수행한다.
- ⑥ : 알고리즘 초기화 작업이 완료 되면 빔형성기는 완료 메시지를 기지국 제어기를 통해 SDR네트워크로 보낸다.

VI. 결 론

SDR기반 기지국 시스템의 구조는 하드웨어와 소프트웨어의 계층적 구조를 가져야 한다. 소프트웨어의 구조는 Application의 유연한 확장과 Scalability를 지원 할 수 있도록 수직적으로 소프트웨어 구조를 계층화 하고, 수평적으로 소프트웨어 구조를 모듈화 하여야 한다. SDR기반 기지국 시스템 소프트웨어의 모듈화와 계층화는 SDR기반 개방형 기지국 시스템 하드웨어에서 동작하는 Application을 성공

적으로 구현하는데 있어서 반듯이 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 SDR 기술과 스마트안테나 기술을 적용 할 수 있도록 제안된 개방형 기지국 구조와 Smart Antenna API를 이용하여 스마트안테나 기지국 시스템을 구현하였다. 또한 각 API Primitives에 따른 API의 인터페이스 관계를 상세히 설명함으로써 [10]에서 제안한 개방형 기지국 구조와 API Primitives를 상세히 이해할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

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

[2] OMG, *Architecture and Specification CORBA 2.4.2*, Standard document, OMG, Feb. 2001(available at www.omg.org).

[3] F. Templin, *An Encoding of Radio API Primitives for the ISI APT Radio via the SLIP Protocol*, Apr. 1998.

[4] W. Tuttlebee, "Software Defined Radio Origins, Drivers and International Perspectives," John Wiley & Sons, 2002.

[5] 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.

[6] Kurt Keutzer, "Overview of configurable architectures", EECS, Berkeley University. 2002.

[7] 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).

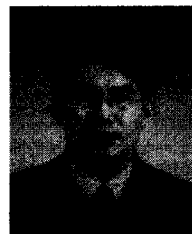
[8] R. A. Monzingo and T. W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*, John Wiley and Sons, 1980.

[9] 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.

[10] N. Ryu, Y. Yun, S. Choi, R. Chembil and J. Reed, "Smart Antenna Base Station Open Architecture for SDR Networks", *IEEE Wireless Communication Magazine* Vol.13, No.3, pp.55-69, Jun. 2006.

류 남 규 (Nam-Gyu Ryu)

정회원



2002년 2월 한양대학교 전자 전
기컴퓨터공학과 졸업
2004년 2월 한양대학교 전자 통
신전파공학과 석사
2004년 3월~현재 한양대학교 전
지통신전파공학과 박사과정
<관심분야> 차세대 기지국 시스

템, SDR, 적응 신호처리

최 승 원 (Seung-Won Choi)

정회원



1980년 2월 한양대학교 전자 공
학과 졸업
1982년 2월 서울대학교 전자 공
학과 석사
1988년 2월 Syracuse 대학교 전
자 공학과 박사
1989년 6월 Syracuse 대학교 조
교수

1989년 9월 ETRI선임연구원
1990년 3월 일본 통신 연구소 STA fellow
1992년 9월~현재 한양대학교 교수
2006년11월 ~ 현재 SDR포럼 부회장