

VSS와 USRP를 이용한 WCDMA Downlink 음성채널 구현

강현진[◦], 윤현철^{*}, 김재윤^{*}, 문병호^{*}, 최원석^{**}

Implementation of WCDMA Downlink Voice Channel by Using VSS and USRP

Hyun-Jin Kang[◦], Hyun-Chul Yoon^{*}, Jae-Yun Kim^{*}, Byung-Ho Moon^{*}, Won-Seok Choe^{**}

요약

본 논문은 NI사에서 제공하는 소프트웨어 라디오 범용 하드웨어인 USRP(Universal Software Radio Peripheral) 보드와 USRP와 실시간 연동성을 보장하는 소프트웨어인 VSS(Visual System Simulator)를 사용하여 3GPP 표준인 WCDMA 물리계층중 음성채널을 구현하였다. 다른 대부분의 구현 논문들이 Physical Layer에 집중되어있는 반면에 본 논문에서는 MAC Layer의 일부분까지 구현하였으며 시스템의 성능 검증을 위해 3GPP표준에 정의된 대역 특성, 패킷 구조에 맞추어 설정하였다. 그리고 시스템의 성능은 스펙트럼 분석기를 사용하여 송신신호의 대역폭과 수신상태의 EVM, CDP(Code Domain Power)등을 통하여 확인하였다.

Key Words : DSSS, WCDMA Downlink, VSS, USRP

ABSTRACT

This paper implements the 3GPP standard WCDMA physical layer voice channel by using Universal Software Radio Peripheral (USRP) board, a software radio general purpose hardware provided by NI, and Visual System Simulator (VSS), a software that guarantees real-time interoperability with USRP. While most other implementation papers are focused on the physical layer, this paper implements a part of the MAC layer and sets it according to the bandwidth characteristics and packet structure defined in the 3GPP standard for system performance verification. The performance of the system was confirmed by using the spectrum analyzer through bandwidth of transmission signal, EVM of reception state, and code domain power (CDP).

I. 서론

WCDMA(Wide Code Division Multiple Access)에서 사용하는 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)방식은 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)시스템과 같이 스펙트럼을 확산하여 효율적

으로 다중접속(Multiple Access)이 가능하게 하고 코드정보를 이용한 저피탐 및 보안에 강점이 있다. 이러한 관점에서, 항재밍(Anti-jamming) 기능이 요구되는 분야에 널리 활용된다.

SDR(Software Defined Radio)은 하드웨어를 교체하지 않고 소프트웨어를 통해 하드웨어를 직접제어

※ 본 논문은 국방과학연구소 광대역 저피탐 DSSS신호 탐지 및 분석 시험장치대 과제에 의해 수행된 연구임

◦ First and Corresponding Author : LIG Nex1, hyunjin.kang@lignex1.com, 정회원

* LIG Nex1, hyunchul.yoon, jykim0118@lignex1.com, 정회원; bhmoons123@lignex1.com

** Agency for Defense Development, bbolse@hanmail.net, 정회원

논문번호 : 201911-277-0-SE, Received October 31, 2019; Revised December 24, 2019; Accepted December 24, 2019

할 수 있는 장점이 있어 널리 사용된다.

WCDMA 하향링크 음성채널 구현을 위해 본 논문에서는 NI(National Instrument)사에서 제공하는 USRP-2944R(Universal Software Radio Peripheral) 과 VSS(Visual System Simulator)를 사용하였다.

USRP는 DAC(Digital-Analog Converter), ADC(Analog-Digital Converter), DUC(Digital Up Converter), DDC(Digital Down Converter)로 구성되어 있으며 RF신호의 송수신 및 기저대역의 신호를 IF 대역 또는 RF대역으로 변환하거나, 이와 반대로 RF 또는 IF 대역의 신호를 기저대역의 데이터로 변환하는 기능을 수행한다.

VSS는 USRP와 PCI또는 10G 랜통신을 이용하여 실시간으로 연동할 수 있는 소프트웨어 라디오 개발 킷이다. 이는 소프트웨어 라디오 개발에 필요한 모듈을 제공하여 최근 5G뿐만 아니라 대부분의 통신시스템에 필요한 모듈들도 제공을 하고 있다. 추가로 VSS가 제공하지 않는 모듈은 직접 제작하여 추가할 수 있는 장점도 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 WCDMA 하향링크 음성채널의 구조에 대해 분석하고 VSS로 실제 구현한 모델을 살펴본다. 한편, III장에서는 실험을 통해 구현한 모델을 검증하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

본 논문에서 구현한 WCDMA의 하향링크 물리채널은 크게 동기를 위한 채널인 SCH (Synchronization Channel), 채널추정 및 보상을 위한 PCICH(Common Pilot Channel), 셀 전체를 위한 정보를 담고 있는 PCCPCH(Primary Common Control Physical Channel), 마지막으로 데이터 채널인 DPCH (Downlink Dedicated Physical Channel)로 구성이 되어있다. 이외에도 여러 가지 채널들이 있지만 본 논문의 고려대상에서는 제외되었다.

표 1은 WCDMA의 physical layer의 기본적인 파라미터를 나타낸다. Chip Rate는 3.84Mcps를 사용하며 각각 채널의 Data rate에 따라 SF를 설정하여 chip rate에 맞추게 된다. 예를 들면 pilot channel의 경우 data rate이 30kbps인데 QPSK 변조를 거치게 되면 심볼률이 15ksps가 되고 SF가 256인 OVSF코드를 곱하여 확산하면 최종 3.84Mcps의 chip rate 를 가지게 된다⁴¹.

본 논문에서는 WCDMA Downlink 음성채널을 구

표 1. WCDMA 하향링크
Table 1. WCDMA Downlink 1

Parameter	Value
Carrier spacing (MHz)	5
Chip Rate (Mcps)	3.8
Frame length (ms)	10(38400 chips)
No. of slot/frame	15
No. of chips/slot	2560
SF	4 to 512

현하기 위한 최소한의 채널만을 구현하였으며 이를 위해 그림 1과 같이 Slot 동기 및 프레임 동기를 위한 SCH, 채널 보상 및 tracking을 위한 P-CPICH, 음성 채널의 TTI boundary를 찾기위한 P-CCPCH 그리고 마지막으로 데이터 채널인 DPCH로 구성되어있다. P-CPICH, P-CCPCH, DPCH는 각각의 서로 다른 OVSF code를 사용하여 확산되었으며 최종 프레임이 구성되기전에 Scrambling되어 마지막으로 SCH와 더해져서 송신된다.

WCDMA 방식은 기지국에서 출력되는 신호에 의해서 단말기는 동기를 맞추어야 하며, 핸드오프시 다른 기지국의 신호와 동기를 맞추어서 핸드오프를 한다. 이렇게 하향링크에서는 기지국을 구분하기 위하여 각 기지국 마다 서로 다른 스크램블코드를 사용한다. 스크램블 코드는 64개의 코드그룹으로 나뉜다.

각 그룹마다 8개의 스크램블 코드를 포함하고 있다. 한편, 스크램블 코드 발생은 degree-18인 2개의 PN code(m-시퀀스)를 modulo 2 연산을 한 골드코드 (Gold code)를 사용하며 프레임길이 10ms에 일치하

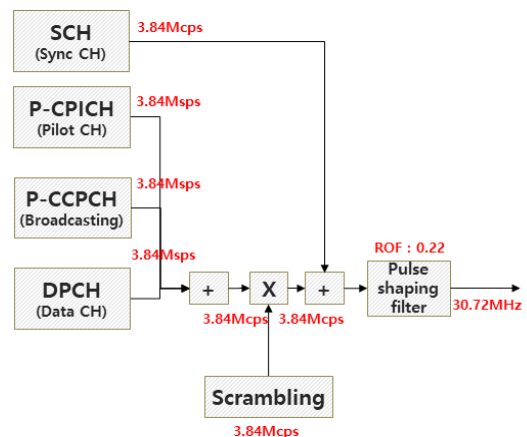


그림 1. WCDMA 하향링크 프레임
Fig. 1. WCDMA Downlink frame

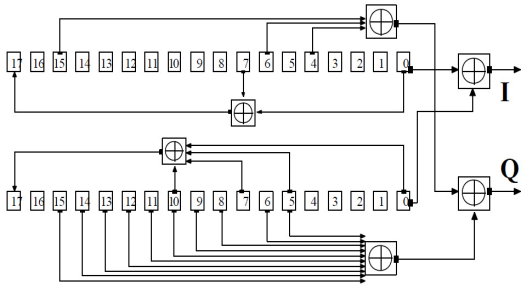


그림 2. WCDMA 하향링크 스크램블 코드 생성
Fig. 2. generate WCDMA Downlink Scramble code

도록 38,400 chip길이를 발생한다. 본 논문에서는 512개의 scramble code중 0번을 사용하였다.

2.1 SCH

SCH는 수신기가 최초로 획득해야 될 가장 기본적인 동기 정보를 가진 채널으로써 P-SCH (Primary-SCH)와 S-SCH(Secondary-SCH)로 이루어져 있다^[2]. P-SCH는 와 S-SCH는 프레임 내 모든 slot의 처음 256chip에 위치하고 있으며 P-SCH는 slot동기를 위해 slot마다 동일한 시퀀스를 사용하고 S-SCH는 프레임동기를 위해 64개의 코드 그룹중 각 그룹에 해당하는 시퀀스를 프레임내 각 slot에 사용한다. 수신단에서 S-SCH의 프레임내 15개의 시퀀스를 획득하면 프레임의 시작점 뿐만 아니라 64개의 코드 그룹 중 하나의 그룹을 획득하게 된다.

P-SCH는 비주기적 자기상관특성이 좋은 Golay code를 사용하며 16개의 시퀀스를 수식 (1)과 같이 반복하여 총 256chip의 길이를 가지는 시퀀스를 만들게 된다(1).

S-SCH는 P-SCH를 만든 시퀀스 x와 hadamard (256) 행렬의 시퀀스의 조합을 통해 만들고 k 값을 통해서 hadamard 행렬의 열을 결정한다. K값은 1~16까지이며 slot개수만큼 선택하여 전체 프레임을 만든다(2).

$$a = \langle x_1, x_2, x_3, \dots, x_{16} \rangle \geq \langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, 1 \rangle$$

$$C_{PSC} = (1 + j) \times \langle a, a, a, -a, -a, a, a, -a, -a, a, a, a, -a, a, -a, a, a \rangle \quad (1)$$

$$z = \langle b, b, b, -b, b, b, -b, -b, b, b, -b, -b, -b, -b, -b, -b \rangle$$

$$b = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, -x_9, -x_{10}, -x_{11}, -x_{12}, -x_{13}, -x_{14}, -x_{15}, -x_{16} \rangle$$

$$H_k = \begin{pmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{pmatrix}, H_0 = 1, k \geq 1 \quad (2)$$

$$C_{SSC,k} = (1 + j) \times \langle h_m(0) \times z_m(0), h_m(1) \times z_m(1), \dots, h_m(255) \times z_m(255) \rangle$$

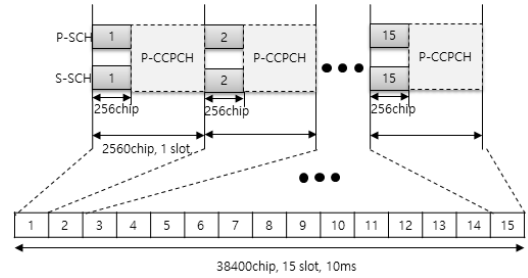


그림 3. SCH 구조
Fig. 3. SCH structure

2.2 PCICH (Pilot Channel)

PCICH 채널은 S-SCH에서 검출된 그룹 내의 8개의 후보 scramble code를 상관연산을 통하여 파일럿 파워가 가장 높은 scramble code를 획득할 때 사용되며, 또한 수신단 채널 보상 및 CPICH의 Ec/No를 측정하여 핸드오프 시에 기준 값으로 사용한다.

그림 4를 보면 파일럿은 전 프레임에 걸쳐서 위치하며 데이터율은 30kbps, SF 256인 OVFS code 0번으로 확산한다. 파일럿 채널은 송수신단 모두 알고 있는 고정데이터율 및 고정 확산계수를 사용하여 구성함으로써 수신단에서 추가적인 정보를 획득할 필요 없이 복조를 할 수 있다.

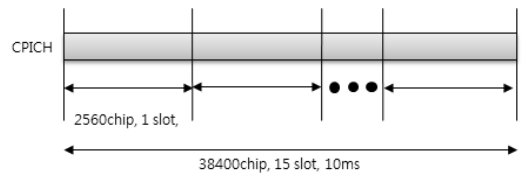


그림 4. CPICH 구조 (1)
Fig. 4. CPICH structure (1)

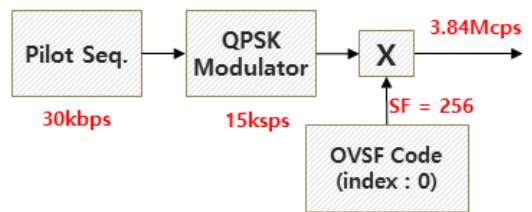


그림 5. CPICH 구조(2)
Fig. 5. CPICH structure (2)

2.3 PCCPCH (Primary Common Control Physical Channel)

PCCPCH는 상위계층에서 생성된 PRACH (Physical Random Access Channel)과 CPICH조건에 관한 정보 등을 전송하는 broadcasting 채널이다.

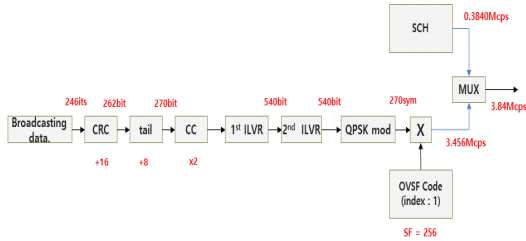


그림 6. PCCPCH 구조
Fig. 6. PCCPCH structure.

CPICH와 유사하게 셀 전체에 걸쳐 전송이 되므로 정해진 데이터율을 사용한다. 한편, 본 논문에서는 TTI boundary 정보를 제공하는 역할을 한다.

PCCPCH는 QPSK변조 이후 SF256인 OVSFcode 1번을 사용하여 확산한다. 전체 프레임에 걸쳐 전송되는 한편 1slot 256chip내에서 SCH가 전송되는 처음 256chip을 제외하고 나머지 2304chip동안만 전송된다.

2.4 DPCH

DPCH는 데이터 채널로 Transport 채널인 DCH(Downlink Dedicated Channel)가 Physical 채널인 DPCH로 맵핑된것이다. DPCH는 DPDCH(Downlink Dedicated Physical Data Channel)와 DPCCH(Downlink Physical Control Channel)로 구성이 되어있고 다시 DPDCH는 DTCH(Dedicated traffic Channel)와 DCCH(Dedicated Control Channel)로 구성이 되어있다. 각각의 채널에 대해서는 차례대로 설명하겠다.

본 논문에서 구현한 WCDMA 음성채널 같은 경우에는 Transport format combination 1을 사용하였고 이에 따라 DTCH의 TrCh(Transport Channel) #A는 81비트, TrCh #B는 103비트, TrCh#C는 60bit로 구성이 되어있으며 20ms TTI를 가진다. (실제 음성데이터는 DTCH를 통해서 전송된다). 그리고 DCCH는 148bit으로 구성된 제어채널이며 원래는 기지국과 단말의 제어를 위해 사용되는 채널이다. 하지만 이번 논문에서는 필요치 않아 모두 1로 설정하였다.

2.4.1 DTCH, DCCH

DTCH를 생성하는 과정을 보면 우선 TrCh #A에 CRC를 추가한다. TrCh #A에 추가되는 CRC는 CRC12이고 polynomial은 아래 수식과 같다(3)(4).

$$g_{CRC16} = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1 \quad (3)$$

$$g_{CRC12} = D^{12} + D^{11} + D^3 + D^2 + D + 1 \quad (4)$$

이후에 8비트의 tail 비트를 추가하고 길쌈부호화를 수행한다. 길쌈부호에 대한 정보는 아래와 같다.

길쌈부호화를 수행하고 인터리빙을 수행하기전 WCDMA에서는 RM(Rate Matching)을 먼저 수행하고 인터리빙을 한다. RM은 Transport 채널에서 Physical 채널로 매핑될 때 각각의 TB(Transport block) 크기에 맞게 데이터 양을 조절하여 프레임을 구성하고 결과적으로 data rate을 조절하는 역할을 수행한다^{1,3)}.

TB size와 RM 속성의 값에 따라 e_{IN} , e_{plus} , e_{minus} 값이 정해지고 이에 따라 데이터를 얼마만큼 repetition 또는 puncturing 할지 정해진다. RM이후에 1st 인터리빙을 한다.

1st 인터리버는 TTI에 따라 4가지 permutation pattern이 존재하므로 본 논문에서는 DTCH는 20ms

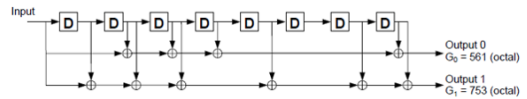


그림 7. 길쌈부호, R = 1/2
Fig. 7. convolutional encoder, R = 1/2

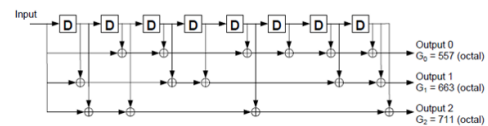


그림 8. 길쌈부호, R = 1/3
Fig. 8. convolutional encoder, R = 1/3

표 2. RM 파라미터
Table 2. RM parameter

	DTCH			DCCH
	Trch #A	Trch #B	Trch #C	
X	303	333	136	516
e_{init}	1	1	1	1
e_{plus}	606	666	272	1032
e_{minus}	18	10	60	176
ΔN	9	-5	30	-88
$X + \Delta N$	312	328	166	428
$\frac{bit}{frame} = (X + \Delta N) / TTI$	156	164	83	107
$\frac{bit}{frame}$	510			

error값이 (-)일때 ΔN의 값에 따라 Repeat 또는 puncture하는 방식
(ΔN : (+)인 경우 repeat, (-)인 경우 puncture)

If 첫번째 bit인 경우
 $error = e_{init} - e_{minus}$
 else if 이전 error가 (-)인 경우
 $error = error + e_{plus} - e_{minus}$
 else
 $error = error - e_{minus}$

그림 9. RM 알고리즘
Fig. 9. RM algorithm

표 3. 1st 인터리버 파라미터
table 3. 1st interleaver parameter

TTI	Row	permutaion patterns
10ms	1	< 0 >
20ms	2	< 0, 1 >
40ms	4	< 0, 2, 1, 3 >
80ms	8	< 0, 4, 2, 6, 1, 5, 3, 7 >

TTI를 사용하고 DCCH는 40ms TTI를 사용하여 인터리빙한다.

그림 10은 앞에서 설명했던 DTCH 및 DCCH 채널이 어떤 시퀀스를 가지고 Trch multiplexing되는지를 보여준다. DCCH가 40ms TTI를 가지고 있기 때문에 디코딩을 위한 기본프레임 수는 40ms, 즉 4 프레임이 된다.

4개의 프레임내에서 DTCH 및 DCCH의 Frame segmentation된 데이터들이 정해진 위치에 각각 위치한다.

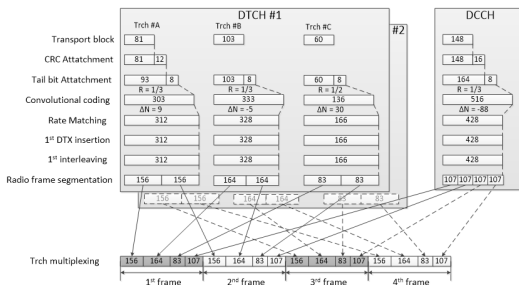


그림 10. TrCh 다중화
Fig. 10. TrCh multiplexing.

2.4.2 DPDCH, DPCCH

DPDCH와 DPCCH는 DPCH를 구성하는 채널로써 DPDCH는 DTCH와 DCCH를 mux하여 2nd 인터리빙을 수행한 데이터 채널이고 DPCCH는 power control정보 인 TCP 및 pilot데이터가 있는 제어 채널이다.

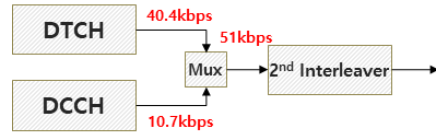


그림 11. DPDCH 구조
Fig. 11. DPDCH structure

2.4.3 DPCH

DPCH는 앞서 설명했듯이 DPDCH와 DPCCH 채널이 아래 그림 12와 같은 구조로 구성되어있는 채널이다. 본 논문에서 구현한 Slot format 8에서는 TFCI 정보가 포함되어있지 않는 것이 특징이다.

DPCH는 QPSK변조를 사용하고 SF 128의 OVSVF 4번 코드를 사용하여 확산하였다.

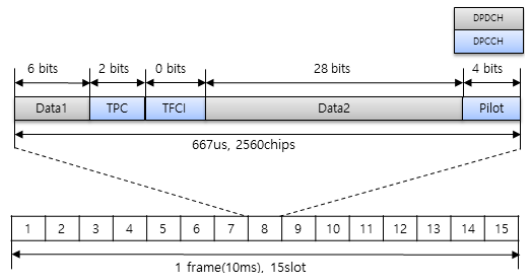


그림 12. DPCH 구조
Fig. 12. DPCH structure

2.5 VSS 구현

2.5.1 전체프레임

그림 13에서 볼 수 있듯이 VSS로 구현한 전체 프레임도 비슷한 형상을 가지고 있다. 다만, Pulse Shpaping filter로 RRC(Root Rasied Cosine, Rolloff factor : 0.22)필터블록과 Sample rate를 맞추기 위한 AR(Arbitrary Resampler) 블록, USRP를 통해 IQ를 전송하기 위한 LabView블록이 추가되어 있다.

본 논문에서의 WCDMA 하향링크 물리채널은 기본 3.84Mcps의 IQ rate에서 RRC를 통과하면서 8배로 oversampling되어 30.72Mcps의 IQ rate를 가진다. 한편, USRP-2944R은 특정한 IQ rate만을 지원하므로 Arbitrary Resampler 블록을 추가하여 IQ rate을 6.25Mcps로 변경하였다^[1].

2.5.2 RM, AR 블록

RM블록과 AR블록은 VSS에서 제공하지 않는 블록이므로 VSS의 기능중 하나인 MDK(Model Development kit)를 이용하여 직접 구현한 블록이다.

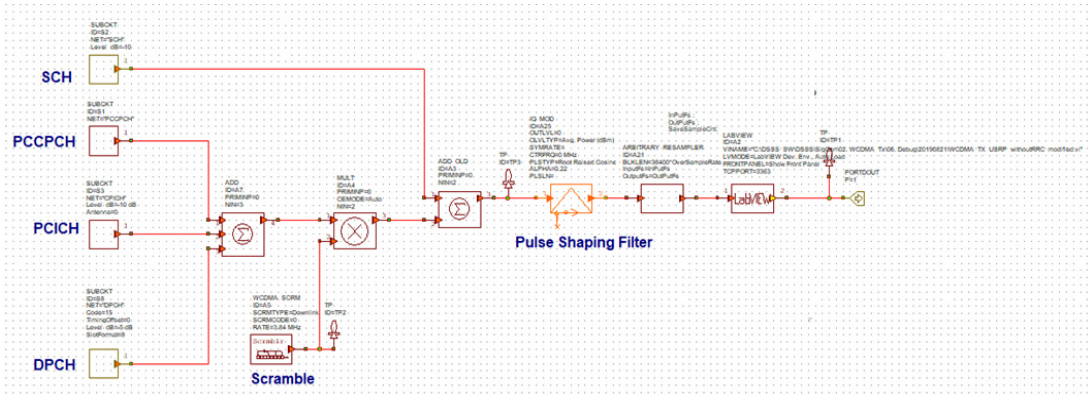


그림 13. WCDMA 하향링크 전체 프레임
Fig. 13. WCDMA Downlink Frame

Transport 채널의 종류에 따라 출력이 달라지게 구현 하였으며 AR블록은 입력 및 출력 샘플율의 비율에 따라 출력 데이터를 조절할 수 있게 구현하였다^[1].

생된다. 이 때, RF주파수나 IQ rate 등은 LabView에서 미리 설정한다.

표 4. LabView.VI 프런트 패널 입력 파라미터
Table 4. LabView.VI front pannel input parameter

항목	값
Device Name	192.168.40.2
IQ Rate	6.25MHz
Carrier Frequency	2GHz
Active Antenna	TX1

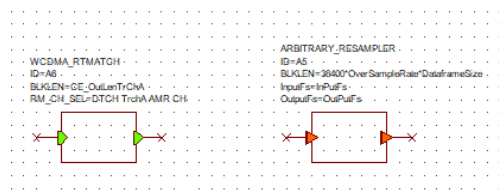


그림 14. RM, AR 블록
Fig. 14. RM, AR Block

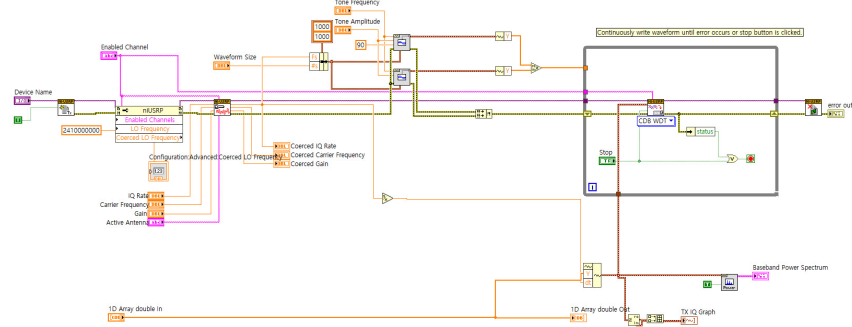


그림 15. LabView 블록
Fig. 15. LabView Block

2.5.3 LabView 블록

LabView 블록은 VSS와 USRP를 실시간으로 연동 하기위한 블록으로 실제로 USRP를 제어하는 소프트웨어는 LabView이지만 VSS에서 LabView를 호출하여 Arbitrary Resampler의 출력이 USRP 출력으로 받

III. 실험

3.1 구현환경

테스트 환경은 그림 16과 같다. VSS에서 발생한 WCDMA 하향링크 기저대역 IQ데이터가 ethernet을

통하여 USRP로 입력이 되고 LabView에서 설정한 주파수 및 IQ rate에 따라서 RF로 최종적으로 출력이 된다. 출력된 RF는 스펙트럼 분석기(89600VSA)를 통하여 WCDMA 신호를 검증하였다.



그림 16. WCDMA 하향링크 구현환경
Fig. 16. WCDMA Downlink implementation setup

3.2 실험결과

그림 17과 그림 18은 스펙트럼 분석기에서 측정한 WCDMA 하향링크 물리채널의 대역폭과 정상도를 측정한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 대역폭이 5MHz이하이고, 채널별로 신호제기가 다음으로 생기

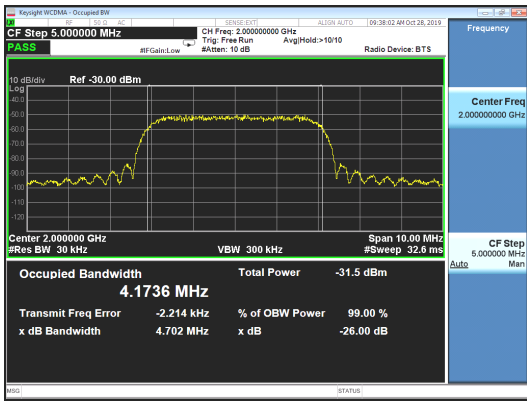


그림 17. WCDMA 하향링크 대역폭
Fig. 17. WCDMA Downlink bandwidth

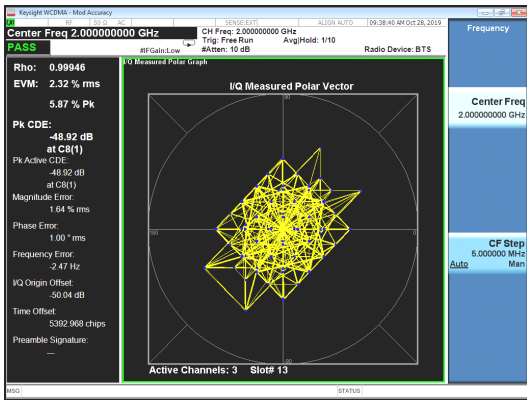


그림 18. WCDMA 하향링크 EVM
Fig. 18. WCDMA Downlink WVM

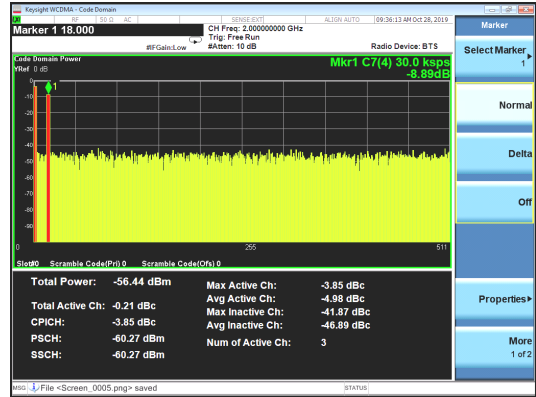


그림 19. WCDMA 하향링크 CodeDomain, DPCH
Fig. 19. WCDMA Downlink CodeDomain, DPCH

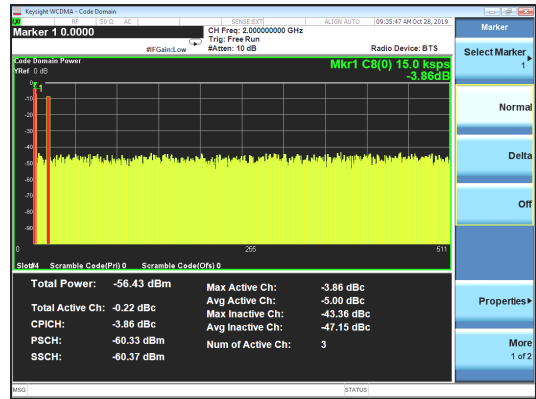


그림 20. WCDMA 하향링크 CodeDomain, PCICH
Fig. 20. WCDMA Downlink CodeDomain, CPICH

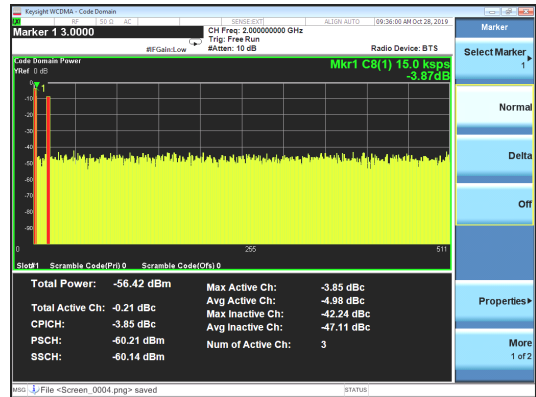


그림 21. WCDMA 하향링크 CodeDomain, PCCPCH
Fig. 21. WCDMA Downlink CodeDomain, PCCPCH

는 정상도의 모양을 확인할 수 있다.

그림 19~21은 COP(Code Domain Power)를 측정 한 그림이다. 그림에서 확인해보면 CPICH가 OVFSF 0

번, PCCPCH가 OVFS1번, DPCH가 OVFS 4번을 사용한 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 3GPP 표준인 WCDMA 하향링크 물리계층 채널중 음성채널을 VSS와 USRP를 사용하여 구현하였다. 3GPP 표준 문서를 참고하여 구현하였으며 구현한 채널중 기지국과 단말의 연결이 필요한 메시지는 의미없는 데이터를 사용하였다.

USRP를 사용하여 구현함으로써 하드웨어 변경없이 쉽게 구현이 가능하고 표준통신 시스템 API가 대부분 구현이 되어있는 VSS를 사용함으로써 직접 구현해야될 기능이 거의 없다는 점을 최대한 이용하여 구현하였다.

검증을 위해서는 상용 스펙트럼 분석기를 사용하였으며 대역폭, 정상도, CDP를 확인하였다.

WCDMA 뿐만 아니라 다른 통신시스템도 USRP와 VSS를 이용하면 어렵지 않게 구현할 수 있으며 상용 수신기 및 스펙트럼 분석기로 성능을 검증할 수 있다.

향후에는 WCDMA 상향링크 물리계층도 구현할 예정이다.

References

- [1] H. J. Kang, "Implementation of WCDMA rate matching using visual system simulator MDK," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2019*, pp. 512-513, Jeju Island, Korea, Jun. 2019.
- [2] 3GPP RAN TS.25.211 "Transport channels and physical channels(FDD)"
- [3] 3GPP RAN TS.25.212 "Multiplexing and channel coding(FDD)"
- [4] 3GPP RAN TS.25.213 "Spreading and modulation(FDD)"
- [5] 3GPP RAN TS.25.214 "Spreading and Physical layer procedure(FDD)"

강 현 진 (Hyun-Jin Kang)



2006년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 학사 졸업
 2008년 2월 : 중앙대학교 전자공학과 석사 졸업
 2011년 1월~현재 : LIG넥스원 전자전연구소 선임연구원

<관심분야> 전자전신호처리, 디지털통신
 [ORCID:0000-0003-1770-2634]

윤 현 철 (Hyun-Chul Yoon)



2010년 2월 : 선문대학교 컴퓨터 공학과 학사 졸업
 2012년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사 졸업
 2012년 1월~현재 : LIG넥스원 전자전연구소 선임연구원

<관심분야> 전자전신호처리, 디지털통신, GPGPU
 [ORCID:0000-0001-8325-5620]

김 재 윤 (Jae-Yun Kim)



2002년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 2004년 2월 : 한양대학교 전자전기 제어 계측공학과 석사 졸업.
 2004년 1월~현재 : LIG넥스원 전자전연구소 수석연구원

<관심분야> 통신 및 전자전 신호처리
 [ORCID:0000-0002-4692-8467]

문 병 호 (Byung-Ho Moon)



1997년 2월 : 대구대학교 전자
공학과 학사 졸업.
2019년 2월 : 한양대학교 통신
정보공학과 석사 졸업.
1997년 1월~현재 : LIG넥스원
전자전연구소 수석연구원

<관심분야> 통신 및 전자전 체계
[ORCID:0000-0003-1208-200X]

최 원 석 (Won-Seok Choe)



1999년 2월 : 고려대학교 전기
공학과(공학사)
2001년 2월 : 고려대학교 전기
공학과(공학석사)
2001년 3월~ 현재 : 국방과학연
구소 책임연구원

<관심분야> 무선통신, 레이더, 적외선, 레이저
[ORCID:0000-0002-2924-029X]