반도체디스플레이기술학회지 제10권 제1호(2011년 3월)
Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 10, No. 1. March 2011.

3GPP WCDMA모뎀 계측장비를 위한 신호계측 알고리듬

홍 대 기†
†상명대학교

Signal Measurement Algorithm for 3GPP WCDMA Measurement Equipment

Dae-Ki Hong†
†SangMyung Univ.

ABSTRACT

In this paper, we implement measurement functionality for the 3GPP (Third Generation Partnership Project) WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) modem. Generally speaking, the receiving algorithms in normal modems cannot be used directly to the measurement system due to the lack of the measurement accuracy. In this paper, we propose the new measurement algorithm for precise 3GPP WCDMA signal measurements. In the measurement algorithm, 4-stage parameters estimation scheme is used. To improve the measurement accuracy, we increase the number of the received signal samples by interpolation. The proposed 3GPP WCDMA signal measurement algorithm can be used for verifying and implementing SoC/FPGA modem measurement systems.

Key Words : 3GPP, WCDMA, Signal Measurement, modem

1. 서 론

최근3GPP(Third Generation Partnership Project)의 3세대 이동통신 기술 표준인 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 시스템은 가장 대표적인 이동통신 표준의 하나이다. 현재 전 세계 인구 66억 명 중 약 34억 명이 이동통신에 가입되어 있는데 이중 86%는 GSM(Global System for Mobile Communication)/WCDMA(Enhanced Data Rates for GSM Evolution)/HSPA(High Speed Packet Access)등 소위 비동기 기술을 사용하고 있다 [1]. 즉 WCDMA 단말기 시장은 이동통신 단말시장의 많은 부분을 점유하고 있으며 상용 단말기 생산량 또한 매우 크다고 볼 수 있다.

상용화 수준에서 생산된 WCDMA 시스템 단말기의 성능을 테스트하기 위해서는 WCDMA 시스

템 단말기에서 송신된 신호의 특성 및 성능을 평가하기 위한 계측기가 필요하다. 이러한 계측기는 주로 SoC(System on Chip)또는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 통해 구현된 장비의 형태로 다양하게 출시되어 있다. 이러한 계측 장비들을 주로 개발하는 업체로는 미국의 Agilent와 국내의 Innowireless 등이 있다[2][3].

Agilent에서 출시된 계측 장비들 중에서 Agilent 8960 Series 10 [2]은 WCDMA 신호를 계측하는 기능을 제공하고 있다. 이 장비는 다중 슬롯(Multi-Slot)에 대해 위상 오류(Phase Error), 크기 오류(Magnitude Error) 그리고 오류 벡터 크기(EVM: Error Vector Magnitude) 등을 계측해주며 극좌표 벡터(Polar Vector) 및 성상도(Constellation)를 디스플레이 해주는 기능을 갖고 있다.

그러나 현재 국내에서는 WCDMA 계측에 대한 연구가 변변하지 못한 실정이다. 또한 Agilent등 외국업체에서 보유한 정확도 높은 계측 알고리듬에 대한 노하우도 부족한 실정이다.

참고문헌 [4]에서는 3세대 WCDMA에 대한 계측 알고리듬을 설계 하였는데 시간-주파수 분석 방식을 이용하였다. 이 방식은 신호를 분석하고 처리하는데 매우 긴 시간이 필요하여 실시간으로 결과를 출력해야 하는 계측 알고리듬으로 사용하기에는 문제가 있다. 또한 참

†E-mail : hongdk@smu.ac.kr

고문헌 [5]에서도 3세대 시스템에 대한 송신기의 계측을 수행하는 계측기를 제안하였는데 다양한 전송모드에 대한 결과가 부족하고 자동으로 전송모드를 검출해 주는 알고리듬이 없어 실제 계측기에 바로 적용하기에는 부족하다.

본 논문에서는 WCDMA 계측 SoC/FPGA 반도체 구현을 위한 사전단계로서 신호 계측 알고리듬을 소프트웨어로 구현해보고 그 성능을 Agilent의 장비와 비교해 본다. 일반적으로 통신 신호 계측기는 매우 정밀한 정확도를 필요로 하므로 정확도가 충분히 높지 않은 일반 통신 모뎀 수준의 수신 알고리듬을 직접적으로 계측기에 적용할 수는 없다. 본 논문에서는 WCDMA 신호의 정밀한 계측을 위한 새로운 WCDMA 신호의 수신 알고리듬을 제안한다. 제안된 WCDMA 수신 알고리듬에는 4단계의 파라미터 추정방식을 사용하였다. 또한 수신신호의 보간을 이용하여 수신 신호 샘플의 개수를 증가시킴으로써 계측의 정확도를 향상시켰다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 계측과 관련된 WCDMA 시스템의 개요를 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 WCDMA 신호 계측 알고리듬을 설명하고 이를 소프트웨어로 구현한다. 4장에서는 구현된 소프트웨어 계측 알고리듬을 이용한 다양한 계측 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. WCDMA 시스템 개요

본 장에서는 WCDMA 시스템에 대한 개요를 소개한다. 특히 계측과 직접적인 관련이 있는 채널의 종류, 확산 및 변조 등을 중점적으로 서술한다.

2.1. 일반적인 특징

WCDMA의 일반적인 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다[6].

- 칩율: 3.84Mcps(5MHz, Freq. Division Duplex)
- 프레임 구조: 2560칩/슬롯×15슬롯=10 ms
- 심볼율: 1920Ksps~15Ksps(확산이득 256~2)

WCDMA에서 변조 방식은 기본적으로는 PSK(Phase Shift Keying)이지만 각 채널 별로 PSK 변조가 수행되어 합쳐지므로 성상도는 매우 다양하게 나타난다. 채널을 구분하기 위해서는 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Code) 부호가 쓰이며, 단말이나 셀을 구분하기 위해서는 Gold 부호가 쓰인다.

2.2. 상향링크 물리채널

WCDMA에서 프레임에는 15개의 슬롯이 포함되어 있으며 각 슬롯에는 2560개의 칩이 할당되어 있으므로 프레임 전체를 칩의 길이로 환산할 경우 38400개가 된다. 경우에 따라 프레임을 서브 프레임으로 구분하는데 보통 3개의 슬롯 즉 7680칩을 하나의 서브 프레임으로 정의한다.

WCDMA에 관련된 단말기 관련 상향 링크 채널은 DPDCH(Dedicated Physical Data CHannel)와 DPCCH (Dedicated Physical Control CHannel)이다. DPDCH는 DCH(Dedicated CHannel) 전송 채널의 데이터를 전송하며 최대 6개까지 설정될 수 있다. DPCCH는 Layer 1 제어 정보를 전송하는데 오직 1개만 설정될 수 있다. DPDCH와 DPCCH의 프레임 형식은 다음의 그림 1과 같다.

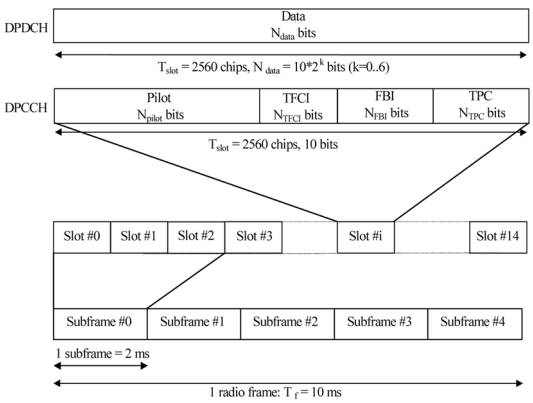

Fig. 1. DPCCH/DPDCH Frame Format.

그림 1에서 알 수 있는 것처럼 DPDCH와 DPCCH의 타이밍은 정확하게 맞추어져 있다. 따라서 DPCCH를 통해 여러 가지 채널 파라미터를 추정하면 DPDCH에는 자동으로 적용할 수 있게 된다. DPDCH/DPDCH는 하나의 슬롯에 2560개의 칩 ($T_{Slot}=2560$)이 포함되어 있으며 슬롯 형식 (즉 k)에 따라 전송되는 비트의 개수는 $N_{data}=10\times2^k$ $(k=0,...,6)$로 표현될 수 있다. 파일럿 비트는 채널 추정을 위해서 쓰이며 선택적인 TFCI (Transport-Format Combination Indicator)는 전송 채널의 형식을 지정해 준다. 이후에 폐루프 모드 전송 다이버시티를 위한 FBI(Feedback Information)와 전력제어를 위한 TPC(Transmit Power Control) 커맨드가 온다.

각 필드의 길이(즉, N_{pilot}, N_{TFCI}, N_{FBI}, N_{TPC})는 이후에 설명될 슬롯 형식에 따라 결정되며 DPCCH의 확산계수(Spreading Factor (SF), 즉 $k=0$)는 언제나 256이므로 총 비트의 개수는 10개이다. 슬롯의 길이는 전력

Table 1. DPDCH Slot Format.

Slot Format #i	Channel Bit Rate (kbps)	Channel Symbol Rate (ksps)	SF	Bits/Frame	Bits/Slot	N_{data}
0	15	15	256	150	10	10
1	30	30	128	300	20	20
2	60	60	64	600	40	40
3	120	120	32	1200	80	80
4	240	240	16	2400	160	160
5	480	480	8	4800	320	320
6	960	960	4	9600	640	640

Table 2. DPCCH Slot Format.

Slot #	kbps	ksps	SF	Bits/Frame	Bits/Slot	N_{pilot}	N_{TPC}	N_{TFCI}	N_{FBI}	Slots
0	15	15	256	150	10	6	2	2	0	15
0A	15	15	256	150	10	5	2	3	0	10-14
0B	15	15	256	150	10	4	2	4	0	8-9
1	15	15	256	150	10	8	2	0	0	8-15
2	15	15	256	150	10	5	2	2	1	15
2A	15	15	256	150	10	4	2	3	1	10-14
2B	15	15	256	150	10	3	2	4	1	8-9
3	15	15	256	150	10	7	2	0	1	8-15
4	15	15	256	150	10	6	4	0	0	8-15

제어 주기를 고려하여 표준에 정의되어 있다. 즉 3개의 슬롯이 하나의 서브 프레임(2 ms)을 이루고 15개의 슬롯이 하나의 프레임(T_f=10 ms)을 이룬다. DPDCH 및 DPCCH의 슬롯 형식은 다음의 표 1과 2와 같다.

여기서 중요한 것은 DPCCH에 사용되는 파일럿 비트의 패턴이다. 일반 기지국이 아닌 계측기에서는 이를 이용해 채널 추정을 포함한 다양한 시스템 파라미터를 추정하게 된다.

표준에서는 파일럿 비트의 길이에 따라 그 패턴이 정의되는데 그 일부를 위의 표 3에 표시하였다. 실제로 파일럿의 길이는 최대 8까지 존재한다.

2.3. 확산 및 변조

그림 2에는 확산 및 변조의 구조에 대해 나타나 있다[8]. 상향 DPCH(DPCCH와 DPDCH)는 OVSF에 의해 채널 구분이 이루어지고 Gold 부호에 의해 사용자 구분 즉 스크램블링이 이루어진다. 표준에 의하면 동시에 사용될 수 있는 채널의 조합은 DPCCH는 항상 1개이며 DPDCH는 최대 0개부터 6개이다.

모든 채널의 변조는 BPSK로 수행되며 보내려는 데이터가 0이면 실수 값 1을 전송하고 데이터가 1이면 실수 값 -1을 전송한다. 그러나 채널이 동위상과 직교

Table 3. Pilot Bit Pattern.

	Npilot = 3			Npilot = 4				Npilot = 5				
Bit #	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0
2	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
7	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
8	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
11	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
12	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
13	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1
14	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1

위상 축에 나누어지므로 성상도는 BPSK가 아닌 다양한 형태로 나타나게 된다. DPDCH에 곱해지는 이득과 DPCCH에 곱해지는 이득은 서로 다르지만 모든 DPDCH에 곱해지는 이득은 같다.

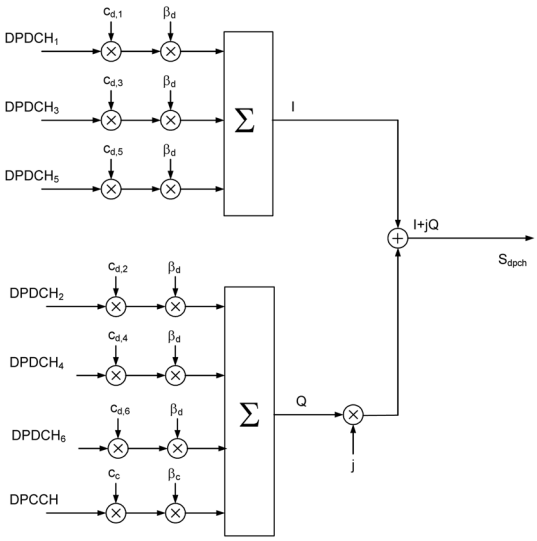

Fig. 2. Uplink DPCCH/DPDCH Spreading/Modulation.

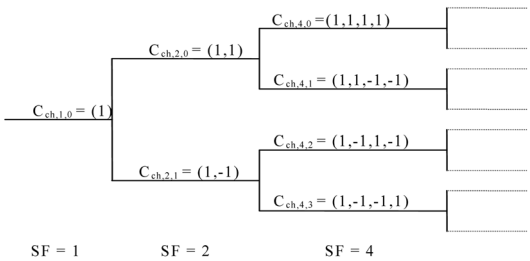

Fig. 3. OVSF Generation.

OVSF는 그림 3과 같이 방식으로 생성된다. 이 중에서 DPCCH는 $C_c=C_{ch,256,0}$가 할당된다. 1개의 DPDCH만 사용될 경우 $C_{d,1}=C_{ch,SF,SF/4}$가 할당되지만 2개 이상의 DPDCH가 사용될 경우 항상 확산 이득은 4이며 $C_{d,1}=C_{ch,4,1}$, $C_{d,2}=C_{ch,4,1}$, $C_{d,3}=C_{ch,4,3}$, $C_{d,4}=C_{ch,4,3}$, $C_{d,5}=C_{ch,4,2}$, $C_{d,6}=C_{ch,4,2}$와 같이 할당된다.

사용자 구분을 위한 스크램블링 부호는 아래 그림 4와 같은 형태로 발생된다.

데이터가 HPSK(Hybrid PSK) [9] 방식으로 변조가 이루어 질 수 있도록 아래의 식에 의해 스크램블링 부호가 동위상과 직교위상에 혼합되어 데이터에 곱해진다. HPSK에 대한 자세한 설명은 지면관계상 생략한다.

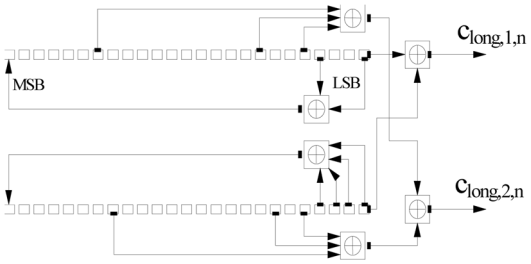

Fig. 4. Scrambling Code Generation.

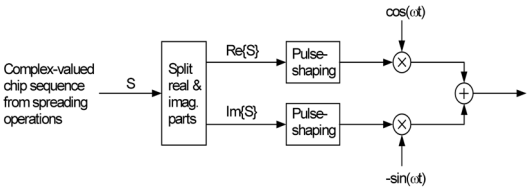

Fig. 5. Pulse Shaping Filter.

$$C_{long,n}(i)=c_{long,1,n}(i)(1+j(-1)^i c_{long,2,n}(2[i/2])) \qquad (1)$$

상향 링크에서 사용되는 펄스정형필터 [10]의 위치는 다음 그림 5와 같으며 0.22 롤오프의 제곱근 상승 코사인 필터를 사용한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$RC_0(t)=\frac{\sin\left(\pi\frac{t}{T_c}(1-\alpha)\right)+4\alpha\frac{t}{T_c}\cos\left(\pi\frac{t}{T_c}(1+\alpha)\right)}{\pi\frac{t}{T_c}\left(1+-\left(4\alpha\frac{t}{T_c}\right)^2\right)} \qquad (2)$$

본 논문에서 송신신호는 프레임 단위로 전송되며 계측 알고리듬에서는 시간 슬롯 단위로 계측을 수행한다고 가정한다.

3. 제안된 WCDMA 신호 계측 알고리듬

본 논문에서 구현한 WCDMA 수신 신호 계측기의 구조는 그림 6과 같다. 실제 계측기에서는 WCDMA 신호가 RF단에 입력이 되면 기저대역으로 하향 변환된 후에 8배로 과표본화(oversampling)되어 원하는 관찰 시간 동안 메모리에 저장된 후에 그림 6의 WCDMA 신호 계측기로 입력된다.

3.1. 수신신호 필터링

계측기는 수신신호에 대해 그림 5에서 제시하였던 펄스정형필터를 이용하여 필터링을 수행한다. 이렇게

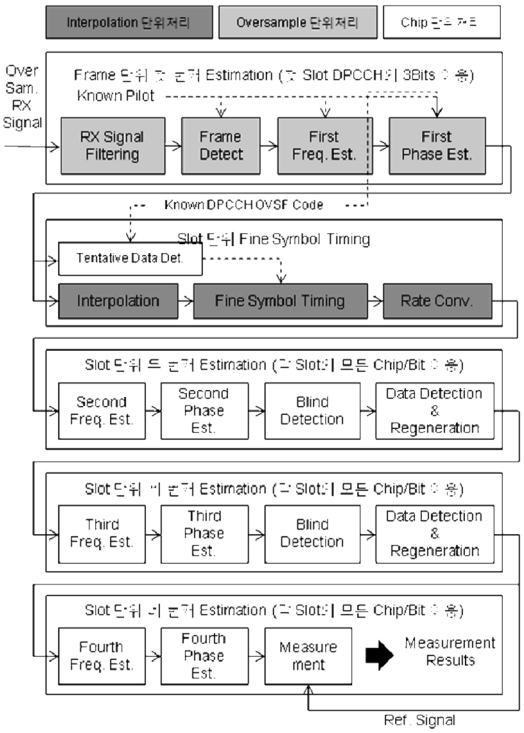

Fig. 6. Measurement Algorithm.

되면 심볼간 간섭이 없는 수신 신호가 생성되게 된다.

3.2. 프레임 검출

계측기는 8배 과표본화 수신신호(over sampled received data)에 대해 프레임 검출을 시도하게 된다. 프레임 검출 방식은 다음과 같다. 먼저 표 2에 제시된 DPCCH의 슬롯 형식에 관계없이 모든 파일럿은 초기 3비트에 대해 같은 패턴을 가진다. 이는 표 3에서 확인할 수 있다. 또한 DPCCH에 할당된 OVSF 부호는 항상 일정하므로 이를 이용하면 초기 3비트에 대한 768칩(=3×256)을 미리 얻어낼 수 있다.

DPCCH는 직교위상으로 전송되는데 다행히 3GPP WCDMA 표준에서 동위상으로 전송되는 채널이 없다. 따라서 위상의 변화가 발생한다고 하더라도 문제가 없다. 그러므로 이 특성을 이용하여 수신신호와 미리 알고 있는 768개 DPCCH 칩을 상관시켜 피크 값을 얻어냄으로써 프레임 검출을 완성하게 된다. 다만 이러한 방식이 올바로 적용되려면 WCDMA 신호가 아닌 임의의 경우에 대해 예외처리를 수행하는 부분이 따로 존재하여야 한다.

이 예외처리는 다양한 방식으로 구현될 수 있는데 수신신호의 전력이 지나치게 낮을 경우에 예외를 두면 된다. 또 얻어진 피크 값이 다른 시간차 상관 값의 평균에 비해 뚜렷하게 크지 않으면 잡음이나 WCDMA 신호가 아니라고 간주하게 하면 된다.

프레임이 추출되면 첫 번째 주파수 오프셋 및 반송파 위상을 추정하여야 한다. 이는 임시 데이터 검출 블록에서 정확한 DPCCH 값을 추정하기 위함이다.

3.3. 첫 번째 주파수 옵셋/반송파 위상 보상

프레임 검출, 첫 번째 주파수 오프셋, 그리고 첫 번째 반송파 위상 추정은 오직 데이터 복조를 위한 작업이다. 따라서 프레임의 첫 번째 슬롯의 3개 비트를 이용하여 주파수 옵셋 및 반송파 위상을 추정하게 된다. 복원은 수신 프레임의 모든 오버샘플에 대해 수행한다.

일반적인 버스트 모드의 통신 시스템에서 주파수 오프셋을 추정하는 알고리듬은 참고문헌 [11]에 잘 나타나 있다. 참고문헌 [11]에서는 다양한 알고리듬 (ML, L&W, Fitz, and L&R)이 나타나 있는데 이중에서 추정 범위도 넓고 정확도도 우수한 알고리듬은 최우도 (ML: Maximum Likelihood) 알고리듬이며 이는 아래 식 (3)과 같다.

$$\hat{f}_d = \frac{1}{2\pi T}\sum_{m=1}^{N} w(m)[arg(R(m)) - arg\{R(m-1)\}]_{2\pi} \quad (3)$$

여기에서, $w(m)$은 평탄화 함수 (smoothing function)이며, 식 (4)와 같다.

$$w(m) = \frac{3[(L_0-m)(L_0-m+1)-N(L_0-N)]}{4(4N^2-6NL_0+3L_0{}^2-1)} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 설명되지 않은 변수들은 참고문헌 [11]에 정의되어 있으며, 식 (3)의 ML 알고리듬을 이용하여 주파수 오프셋이 보정되면 동위상 성분과 직교위상 성분의 비를 구하여 반송파 위상을 추정하고 복원하게 된다.

3.4. 임시 데이터 검출

이후의 과정은 슬롯 단위로 진행된다. 이제 프레임 검출, 주파수 오프셋, 반송파 위상 등 복조에 필요한 모든 파라미터의 추정 및 복원이 완료되었으므로 OSVF 부호를 이용하여 DPCCH 채널 복조를 수행해야 한다. 슬롯 형식에 따른 파일럿의 패턴은 모두 다르므로 전체 10개의 비트에 대해 복조를 수행하여 이후에 모든 채널 파라미터 추정을 수행할 때 기준 비트들

로 잡아야 한다.

3.5. 미세 심볼 타이밍

WCDMA 신호 계측기에서는 미세한 심볼 타이밍 오류가 계측 오류에 지대한 영향을 미치므로 일반적인 모뎀과 달리 추가로 미세 심볼 타이밍을 추출해야만 한다. 일반적으로 아날로그-디지털 변환기(ADC: Analog-to-Digital Converter)의 샘플링 타이밍은 심볼 구간의 정 중앙에서 샘플링 하도록 타이밍이 맞추어져 있지 않으므로, 수신 신호를 보간(interpolation)하여 세밀한 심볼 타이밍 정보를 추출하게 된다. 그러나 전체 수신한 데이터를 보간하여 연산을 수행하게 되면, 연산량이 과도하게 증가하게 되므로, 본 논문에서는 개략적인 심볼 타이밍 시점을 기준으로 하나의 칩 구간에 대하여 10배의 보간을 수행하여 미세한 심볼 타이밍을 조정한다.

미세 심볼 타이밍은 데이터 복조를 통해 얻어진 DPCCH 비트들을 OVSF를 통해 확산시킨 기준 칩들과 보간된 수신신호 사이에 상관 값을 구함으로서 이루어진다. 지나친 연산량의 증가를 막기 위해 보간 및 미세 심볼 타이밍은 슬롯 단위로 수행되며 미세 심볼 타이밍을 얻게 되면 보간된 수신 신호에서 정 샘플만을 뽑아낼 수 있게 된다. 이후에 이 심볼 타이밍은 완벽하다고 가정하고 다음의 과정을 수행하게 된다.

3.6. 두 번째 및 세 번째 주파수 옵셋/반송파 위상 보상

두 번째 및 세 번째 주파수 옵셋 및 반송파 위상의 추정 및 보상은 미세한 심볼 타이밍이 이루어진 수신 신호를 이용하여 수행한다. 또한 DPCCH의 비트들은 임시 데이터 검출을 통해 알고 있으므로 주파수 옵셋 및 반송파 위상 추정을 하는데 이를 이용한다. 즉 슬롯의 DPCCH 모든 비트에 대해 채널을 추정한다는 의미이다. 주파수 옵셋 및 반송파 위상 추정 알고리듬은 앞서 4.3절에서 설명한 바와 같으며 이와 같이 여러 번 채널 추정을 수행하는 이유는 반복하여 강조하지만 계측기에서는 일반 모뎀에서와 달리 약간의 추정오류에도 계측의 정확도가 심하게 떨어지기 때문이다.

3.7. 블라인드 검출

WCDMA 표준에서는 하나의 DPCCH와 0개부터 6개까지의 DPDCH를 허용한다. 그러나 수신기 측에서는 채널 구성에 대한 어떠한 정보도 가지고 있지 않다. 따라서 수신기에서는 이를 모르는 상태에서 수신신호만을 통해 검출할 수 있는 방법을 찾아내야 한다. 표준에 의해 전송 가능한 채널의 조합을 모두 그림으로 표현하면 다음 그림 7과 같다. 이 그림을 보통 Code

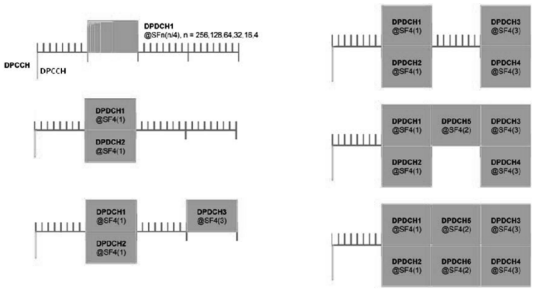

Fig. 7. Uplink Code Domain View.

Domain View라고 부른다 [12].

위의 그림은 2.3절의 설명을 참고하면 그려낼 수 있다. 즉 DPCCH는 언제나 $C_c=C_{ch,256,0}$의 OVSF가 할당되며 항상 직교 위상 축으로 전송된다. DPDCH는 하나만 사용될 때에는 확산이득을 4(비트 개수 640개)부터 256(비트 개수 10개)까지 설정하여 전송할 수 있으며 언제나 $C_{d,1}=C_{ch,SF,SF/4}$의 OVSF가 선택된다.

1개를 초과하는 DPDCH가 전송될 경우 항상 확산 이득은 4이며 $C_{d,1}=C_{ch,4,1}$, $C_{d,2}=C_{ch,4,1}$, $C_{d,3}=C_{ch,4,3}$, $C_{d,4}=C_{ch,4,3}$, $C_{d,5}=C_{ch,4,2}$, $C_{d,6}=C_{ch,4,2}$와 같이 OVSF가 할당된다.

수신기는 위의 Code Domain View를 참고하여 가능한 OVSF에 대해 모두 상관 값을 구한 후 기준 임계치를 넘는 Code Domain을 찾아내어 전송 신호의 채널 구성을 추정하게 된다. 이때 임계값은 DPCCH의 상관 값을 기준으로 표준에 제시된 채널간 전력비를 고려하여 주의 깊게 설정되어야 한다.

3.8. 데이터 검출 및 신호 재생성

블라인드 검출을 통해 채널의 구성을 알아내게 되면 각 채널 별 데이터를 검출하게 된다. 검출된 데이터는 신호의 재생성기에 입력되어 기준신호를 만들어 내게 된다. 데이터 검출 및 블라인드 검출이 옳게 검출되었다고 하면 기준신호는 정확하게 생성될 것이다. 나중에 3번째 블라인드 검출을 통해 얻어진 기준신호는 4번째 주파수 옵셋 및 반송파 위상이 복원된 테스트 신호와 함께 계측 블록에 입력되어 다양한 신호 계측을 수행하게 된다.

3.9. 파라미터 계측

WCDMA에서 계측은 기준신호와 테스트신호 사이에 이루어지게 된다. 기준신호는 수신 단에서 발생시킨 오류 없이 전송된 신호를 의미하고 테스트 신호는 실제로 전송된 신호에 다양한 채널 추정을 수행하여 복

원한 수신신호이다. 따라서 기준신호에 비해 테스트 신호가 얼마나 많은 변화가 발생했는지를 계측하는 것이다. 앞으로 기준신호는 r_{REF}로 테스트 신호는 r_{TEST}로 표기하도록 한다[13-14].

WCDMA 수신신호를 계측하는 파라미터 중 가장 중요한 것은 Rho이다. Rho는 전체 수신신호의 전력과 (수신신호와 기준신호와의) 상관전력의 비를 말한다. 또는 신호 전력과 오류 전력의 비를 의미하기도 한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\rho = \frac{signal\ power}{signal\ power + noise\ power} = \frac{|Cor(r_{REF}, r_{TEST})|}{|r_{REF}|^2 \times |r_{TEST}|^2} \tag{5}$$

Rho는 변조의 질을 하나의 숫자로 표현하며 만일 수신신호와 기준신호가 완벽하게 일치하면 1이고 두 신호 사이에 오류가 존재할 경우 1보다 작아지며 1을 초과할 수는 없다.

WCDMA 송신신호의 성상도는 사용되는 DPDCH 채널의 개수에 따라 달라지는데 일반적으로 정 진폭을 갖지 않는다. 따라서 EVM는 매우 중요한 계측 파라미터이다. EVM은 다음과 같이 퍼센트 EVM의 형태로 계산된다.

$$EVM = \frac{RMS(r_{TEST} - r_{REF})}{RMS(r_{REF})} \times 100\% \tag{6}$$

Phase Error 또한 매우 중요한 계측 파라미터이다. 만일 단말의 송신신호에서 위상 오류가 많이 생긴다면 송신기 회로에서 동위상/직교위상(I/Q: Inphase/Quadrature Phase) 발생기, 필터, 변조기, 또는 증폭기에 문제가 있다는 것을 의미한다. 실제 모뎀에서 위상 오류가 심하게 발생하면 수신기의 복조 성능에 악영향을 끼치게 된다.

변조 정확도를 나타내는 다른 파라미터는 주파수 오류(Frequency Error)이다. 주파수 오류는 주파수 합성기(Frequency Synthesizer) 또는 위상 고정 루프(Phase Locked Loop)의 성능을 평가하는 것이다. 만일 주파수 오류가 많이 발생한다면 주파수 발생기가 빠르게 발생 주파수를 변환시키지 못한다는 의미가 된다. 또한 수신기 측면에서 주파수 오류로 인한 간섭이 발생하는 문제점이 생긴다. 이외에도 계측 필요한 파라미터는 다음과 같다.

- Code Domain Error (CDE) Power
- Code Domain Power (CDP)
- Peak CDE Power
- Peak Active CDE Power
- Magnitude Error
- I/Q Origin Offset

4. 성능평가

본 논문에서는 그림 2의 WCDMA 송신기를 C 언어를 이용하여 구현하였다. 성능 평가를 위해 사용된 파라미터는 다음과 같다.

- 8배 과표본화
- 랜덤 데이터 패턴
- DPCCH 슬롯 형식: 0번
- 스크램블링 코드의 코드 번호: All 0
- 보간 비율: 10배
- 송수신 필터 탭수/롤오프: 101/0.22
- 하나의 프레임 내 슬롯의 개수: 15
- 심볼율/칩율/샘플율: 15Ksps/3.84Mcps/30.72Msps

구현된 신호 계측기의 성능을 평가하기 위해, 기존 장비인 WCDMA 신호 발생기를 사용하여 WCDMA RF 송신 신호를 만든 후에, Innowireless 사의 장비에 RF 신호를 입력시켜 기저대역으로 변환한 후에 8배 과표본화하여 수신신호를 얻었다. 이 8배 과표본화된 신호를 구현된 신호 계측기에 입력시켜서 계측한 결과를 나타내었다. 구현된 신호 계측기의 성능 비교를 위해서 Agilent의 WCDMA신호 계측 장비의 결과와 비교하였다.

4.1. DPCCH만 전송되는 경우

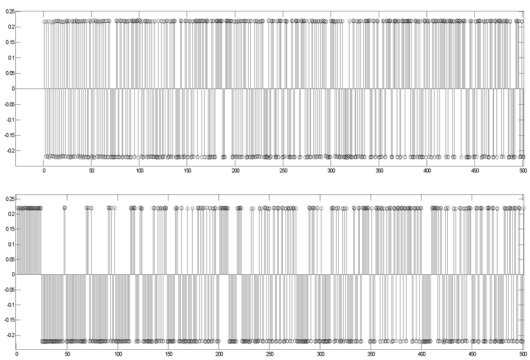

Fig. 8. WCDMA Transmit Signal (DPCCH).

그림 8에는 계측의 대상이 되는 WCDMA 신호의 초기 칩들을 보여주고 있다. 위쪽의 그림은 동위상 신

호이고 아래쪽 그림은 직교위상 신호이다. 이 그림들에는 기준 신호와 테스트 신호가 함께 그려져 있으나 거의 겹쳐 있어 구분할 수 없을 정도이다. 이 신호는 하나의 DPCCH만 포함된 경우이다. 기준신호는 수신기에서 생성된 정확한 신호이지만 테스트 신호는 송신된 신호를 수신기에서 최대한 보정한 신호이다. 본 논문에서 제안한 알고리듬이건 Agilent 장비이건 이 신호들을 이용하여 계측을 수행하게 된다.

그림 9는 그림 8의 송신신호를 Agilent 장비를 이용하여 계측한 정확도 관련 결과이다. 그림 10은 본 논문에서 제안된 알고리듬을 이용하여 계측한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 본 논문에서 제안된 알고리듬을 이용한 계측결과가 전반적으로 더 정확한 계측 결과를 얻어냄을 볼 수 있다.

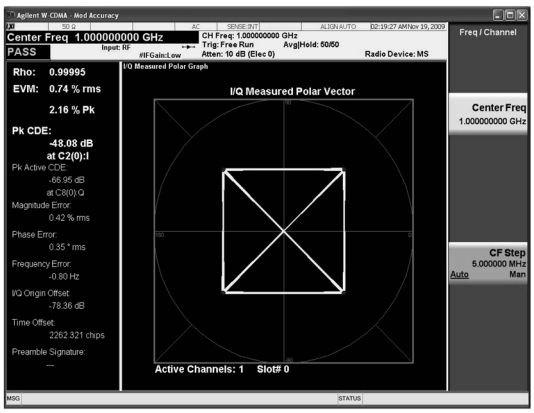

Fig. 9. Accuracy Results (DPCCH) - Agilent.

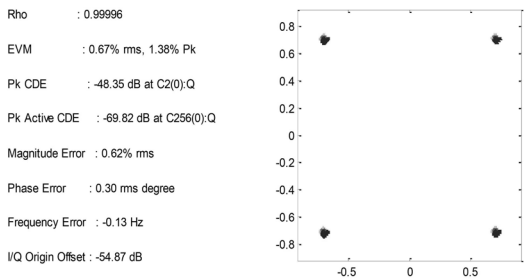

Fig. 10. WCDMA Results (DPCCH) - Proposed.

4.2. DPCCH/6 DPDCH를 전송하는 경우

WCDMA는 다양한 채널 조합을 전송할 수 있으나 지면 관계상 모든 결과를 표현할 수는 없고 그 중 가장 복잡한 조합인 DPCCH와 6개의 DPDCH를 전송하는 경우의 결과를 보이도록 한다.

그림 11은 Agilent 장비를 이용한 결과이고 그림 12는 본 논문에서 제안된 알고리듬을 이용한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 채널의 개수가 많아지면 제안 알고리듬이 더욱 정확한 계측 값을 출력함을 알 수 있다. 예를 들어 송신 신호의 Rho 값은 1.0으로 계측될수록 정확한 계측이 되었다고 간주할 수 있다. 실험결과에 의하면 본 논문에서 제안된 계측 알고리듬의 Rho값이 Agilent 장비의 계측 값보다 더 1에 근접함을 알 수 있다.

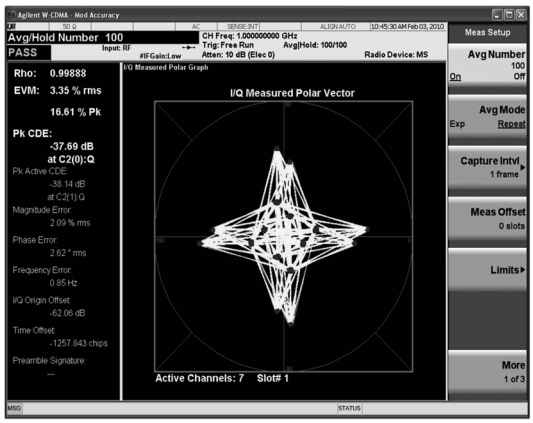

Fig. 11. Accuracy Results (DPCCH+6DPDCH) - Agilent.

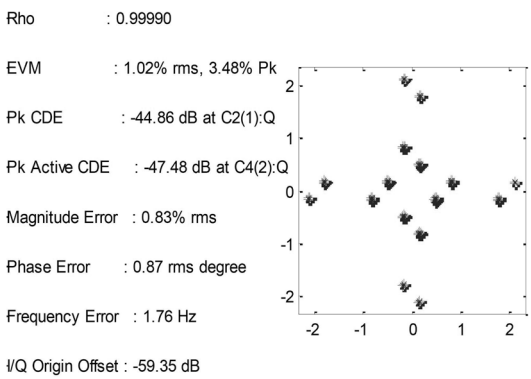

Fig. 12. WCDMA Results (DPCCH+6DPDCH)- Proposed.

5. 결 론

본 논문에서는 WCDMA 계측 SoC/FPGA 구현을 위한 사전단계로서 신호 계측 알고리듬을 소프트웨어로 구현해보고 그 성능을 Agilent의 장비와 비교 평가해 보았다.

제안된 계측기는 WCDMA 신호의 정밀한 계측을 위한 4단계의 파라미터(심볼 타이밍, 주파수 오프셋, 반송파 위상) 추정방식을 사용하였다. 또한 수신신호의

보간을 이용하여 수신 신호 샘플의 개수를 증가시킴으로써 계측의 정확도를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제안된 WCDMA 신호 계측 방식은 WCDMA 계측 SoC/FPGA 반도체를 구현하는데 사용될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 상명대학교 2010학년도 교내 연구과제에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 이현우, 지형주, “3GPP 표준 로드맵 및 LTE 기술 개요,” 한국통신학회지(정보와통신) 제25권 제9호, 2008. 8.
2. http://www.innowireless.co.kr/
3. http://www.agilent.com/
4. L. De Vito, S. Rapuano, G. Truglia, “A 3-D baseband signal analyzer prototype for 3G mobile telecommunication systems,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 54, Issue 4, pp. 1444-1451, Aug. 2005.
5. L. Angrisani, M. D'Apuzzo, M. D'Arco, “New digital signal-Processing approach for transmitter measurements in third generation Telecommunications systems,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 53, Issue 3, pp. 622-629, June 2004.
6. 3GPP TS 25.201v810, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; “PHY Layer-General Description”.
7. 3GPP TS 25.211v810, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; “Physical Layer Channels/Mapping”.
8. 3GPP TS 25.213v810, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; “Spreading and Modulation”.
9. Agilent Technologies, “HPSK Spreading for 3G”, Application Note 1335.
10. 3GPP TS 25.101V870, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; “User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)”.
11. Umberto Mengali and M. Morelli, “Data-Aided Frequency Estimation for Burst Digital Transmission,” IEEE Trans. on Commun., Vol. 45, No. 1, pp. 23-25, Jan 1997.
12. Pete Goldsack, “HSUPA Overview,” Agilent Technologies.
13. 3GPP TS 34.121-1v870, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; “User Equipment (UE) conformance specification; Radio transmission and reception; Part 1: Conformance specification”.
14. Agilent Technologies, “Designing and Testing 3GPP W-CDMA User Equipment”, Application Note 1356.

접수일: 2011년 1월 5일, 1차심사일: 2011년 1월 24일, 2차심사일: 2011년 2월 10일, 게재확정일: 2011년 2월 28일