

WCDMA 시스템에서 주파수 오차에 의한 단말기 성능 영향에 대한 연구

A Study on the Effects of Frequency Error on the Mobile Performance in WCDMA System

이일규 · 이동한 · 송명선 · 오승엽*

Il-Kyoo Lee · Dong-Han Lee · Myung-Sun Song · Seung-Hyeub Oh*

요 약

WCDMA 시스템에서 주파수 오차에 의한 단말기 성능 영향을 분석하기 위해 기지국과 이동 단말기 사이의 주파수 오차 발생 원인을 고찰한 후 단말기 수신부에서 주파수 오차를 정정하기 위한 자동 주파수 오차 보상 방법을 소개하였다. 시스템 요구 규격 중 자동 주파수 오차 보상 동작에 관련된 성능요구 조건들을 바탕으로 하여 기지국과 단말기간 연동시험을 수행하였고 주파수 오차보상 후 단말기 송신 주파수에서 4 Hz의 주파수 오차를 얻음으로써 시스템에서 요구하는 주파수 오차 허용량인 $\pm 0.1 \text{ ppm}(\pm 200 \text{ Hz})$ 이내의 규격을 만족함을 보였다. 주파수 오차에 의한 송신성능 열화를 에러벡터 크기(EVM) 값으로 확인하였으며 또한 수신 성능 열화를 E_c/I_o 로 측정하였고, 주파수 오차조정의 정확성을 개선시키기 위한 모뎀 제어신호와 RF 간 인터페이스 관계를 제시하였다.

Abstract

This paper explains the impact of frequency error on the performance of WCDMA mobile communication systems and what brings about the frequency error between the base station and the mobile station, and then presents automatic frequency error correction method in mobile receiver. On the basis of system requirement related to frequency stability, the integration test between the base station and the mobile station was accomplished. After applying automatic frequency error correction to mobile receiver, 4 Hz of frequency error at transmitting frequency was obtained. The result met frequency error requirement of $\pm 0.1 \text{ ppm}(\text{about } \pm 200 \text{ Hz})$. Performance degradation due to frequency error was measured by means of Error Vector Magnitude(EVM) at transmitter and E_c/I_o at receiver, respectively and then the interface requirement between Modem control signal and RF was suggested to improve the correctness of frequency error control.

Key words : WCDMA, Base Station, Mobile Station, Frequency Error Correction

I. 서 론

코히어런트 수신복조 동작을 하는 WCDMA 이 동통신 시스템에서 이동 단말기에 수신된 신호 주 파수와 단말기 RF 내 국부 발진 주파수 사이에 발

생되는 주파수 오차는 단말기의 수신기 성능을 열 화시키는 요인이 된다. 이러한 주파수 오차는 단말 기 내의 기준 주파수 안정도와 도플러 주파수에 의 해 발생되므로 자동 주파수 오차 보상(Automatic Frequency Error Correction) 방법을 적용하여 주파

한국전자통신연구원(Wide-band RF Team, ETRI, Daejeon, Korea)

*충남대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Chungnam University, Daejeon, Korea)

· 논문 번호 : 20030211-026

· 수정완료일자 : 2003년 4월 1일

수 오차를 정정해야 한다.

본 논문에서는 이동 단말기의 복조기와 RF간의 AFC동작, 코히어런트 수신 구조에서 주파수 오차에 기인한 시스템 성능 열화 그리고 주파수 추적에 대한 분석을 제시하였고, 주파수 오차와 관련된 시스템 성능요구조건을 토대로 한 AFC 동작특성을 시스템 통합 시험을 통하여 확인하였다. AFC locking 후 RF송신기의 주파수 에러 추적 범위, 주파수 에러에 의한 파일럿 획득범위 등과 같은 이동 단말기의 주파수 오차와 관련된 변수들을 분석하였다.

테스트 베드 기지국 시스템과 단말기 시스템을 구축하여 기지국 송신 주파수를 가변시켜서 주파수 에러를 임의로 발생시킨 다음 단말기 복조기에서 주파수 에러 검출 및 주파수 에러 제어신호에 의한 RF 캐리어 주파수 변화를 측정하여 주파수 안정도 특성이 시스템 성능 요구 규격인 ± 0.1 ppm을 만족함을 확인하였다. 주파수 오차에 의한 송신부 성능 열화 특성은 EVM값으로 확인하였고, 수신부 성능 열화는 E_c/I_o 값으로 측정하였다. 실험 결과를 통해 시스템에서 요구하는 주파수 안정도를 얻기 위한 모뎀 제어신호와 RF간 인터페이스 요구사항을 제시하였다.

II. WCDMA 시스템에서 AFC 동작

2-1 이동단말기에서 AFC 동작 개요

기지국과 이동 단말기 간의 주파수 오차는 이동 단말기 내의 기준 클럭으로 사용되는 Voltage Controlled Temperature Compensated Crystal Oscillator(VCTCXO)의 주파수 안정도와 단말기의 이동 속도에 따른 도플러 주파수에 의해 주로 발생한다.

이와 같은 주파수 오차는 시스템 성능을 악화시키는 요소 중 하나이므로 시스템 성능 요구규격에서 주파수 오차 허용량을 정의한다. 이동 단말기의 송신 RF 주파수는 최대 주파수 오차범위를 송신주파수 ± 0.1 ppm을 유지하도록 제한하고 있다. 특히, 코히어런트 복조의 경우에는 주파수 오프셋을 제거하는 것이 매우 중요하므로 AFC를 통해 캐리어 주파수 추적 및 복원이 이루어져야 한다. 기지국은 변조 되지않은 파일럿 채널을 통해 주파수 기준 정보를 제공하고 단말기 복조기에서는 파일럿 채널

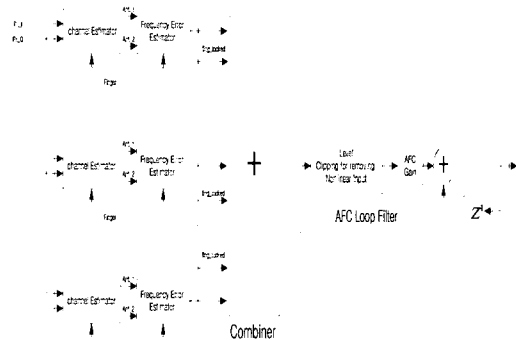


그림 1. 수신기 복조기 주파수 오차 보상 구성도
Fig. 1. Block diagram of frequency error compensation of demodulator in receiver.

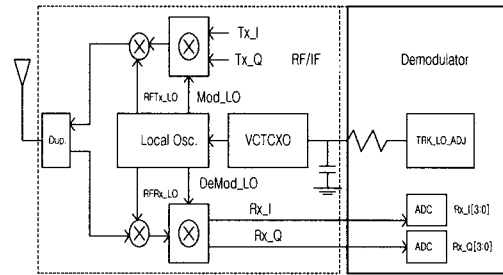


그림 2. 주파수 오차 제어관련 단말기 블록도
Fig. 2. UE block diagram of frequency error correction.

을 바탕으로 캐리어 주파수를 조정하게 된다.

단말기 코히어런트 복조기에서 주파수 오차 검출 및 제어신호 발생은 그림 1과 같이 구성되고 주파수 오차 제어 관련 단말기 블록도는 그림 2와 같다. 수신된 I/Q 데이터는 복조기 각 핑거 내의 주파수 오차 추정기에서 주파수 오차를 검출한 다음 합성을 하게 된다. 합성된 주파수 오차 성분은 AFC 루프필터에서 레벨조정 과정을 거친 후 주파수 오차를 제어하기 위해 주파수 오차 정정신호(TRK_LO_ADJ)를 PDM형태로 발생시킨다. 이렇게 발생된 PDM형태의 제어신호는 RC 저역 통과 필터를 통과하여 DC로 변환되어 VCTCXO의 제어 전압단 자에 인가됨으로써 단말기 RF내의 캐리어 발생부인 국부발진(LO)주파수를 제어하게 된다. 송수신 LO 주파수는 위상고정루프 (PLL)방식에 의해 VCTCXO에 동기화 이루어지기 때문에 복조기로부터 발생하는 제어신호에 의해 캐리어 주파수가 수정된다^[1].

2-2 주파수 오차 검출과정 및 주파수 오차에 의한 성능열화 고찰

WCDMA 이동통신 시스템에서 단말기 복조기에 수신된 신호는 식 (1)과 같이 표현된다^[2].

$$R(t) = \sum \alpha_i \exp(j\theta_i) S(t - \tau_i) \exp(j\omega t + j2\pi\Delta f t) \quad (1)$$

$R(t)$ 는 이동단말기에 수신되는 신호이고 $S(t)$ 는 기지국에서 송신되는 신호이다. 랜덤변수 α_i , θ_i , τ_i 는 각각 i 번째 경로의 경로이득, 경로위상, 경로 지연이고 Δf 는 단말기의 수신 신호주파수와 국부 발진주파수 간의 주파수 차이이다. 이동 단말기의 복조기는 다중 수신경로 신호를 분리해서 분리된 각 신호들을 코히어런트하게 복조하여 조합하는 레이크 수신기능을 수행하여 경로 지연, 신호세기 및 위상지연을 측정할 수 있다. 이 때 심볼 구간이 채널의 코히어런트 시간에 비해 충분히 작기 때문에 측정시간동안 이들 파라메타들이 거의 변화하지 않는 것을 기본 가정으로 한다^[3].

그러나 캐리어 주파수 오차가 있는 경우에는 신호 성분의 위상이 일정하다는 가정과 일치하지 않으므로 주파수 오차는 위상이 일정한 항으로 바뀌는 것으로 간주한다. 주파수 오차에 비례하는 위상이 일정한 성분들은 이전 신호와 현재 신호의 위상차를 이용하여 얻을 수 있다. 한 심볼 구간동안 주파수 오차가 작고 부가 백색 잡음을 고려하지 않을 경우, 파일럿 채널 시퀀스 $Y(i)$ 는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Y(i) = Y(i-1) \exp(j2\pi\Delta f T_s) \quad (2)$$

여기서 Δf 와 T_s 는 각각 주파수 오차와 심볼 구간이다. 주파수 오차에 비례하는 정보를 가지고 있는 신호를 만들기 위한 가장 쉬운 방법은 일단 주파수 성분(시간에 따라 변하는 위상 성분)을 일정한 위상 성분으로 바꾸어 시간에 따라 변하지 않는 항으로 변화시키는 것이다. 데이터 변조가 없는 경우 가장 간단한 방법은 순시 위상을 미분 하는 것이다. 복조 시스템은 디지털 영역에서 구현되므로 결국 $t=iT_s$ 의 위상에서 $i=(i-1)T_s$ 의 위상을 빼어주면 된다. 즉, 이전 신호와 현재 신호의 위상차는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$Y(i-1)^* Y(i) = |Y(i-1)|^2 \exp(j2\pi\Delta f T_s) \quad (3)$$

실제적으로 하드웨어상에서 각도를 구하는 연산을 구현하는 것이 복잡하므로 식 (4)처럼 식 (3)의 허수 부분만을 취하여 사용한다. 그러면 주파수 오차에 비례하는 식이 얻어진다.

$$\text{Im}[Y(i-1)^* Y(i)] \propto \sin(2\pi\Delta f T_s) \cong 2\pi\Delta f T_s, \quad (4)$$

$$(2\pi\Delta f T_s \ll 1)$$

주파수 추적범위는 상관기의 적분시간(T_s)과 주파수 오차에 의해 결정되고 이와 같은 관계는 식 (5)와 같다.

$$-\pi < 2\pi\Delta f T_s < \pi \Rightarrow -1/2T_s < \Delta f < 1/2T_s \quad (5)$$

따라서, 주파수 추적범위는 $-1/2 T_s < \Delta f < 1/2T_s$ 가 된다.

주파수 오차에 의한 복조기 에너지 손실량은 식 (6)과 같이 주파수 오차와 심볼 구간에 의해 결정된다^[4].

$$\text{Loss}(\Delta f) = [\sin(\pi\Delta f T_s) / (\pi\Delta f T_s)]^2 \quad (6)$$

식 (6)으로부터, 심볼 구간은 시스템에 의해 정해지므로 주파수 오차량에 따라서 시스템 성능 열화가 발생될 수 있다. 예를 들어 주파수 오차가 3 kHz이고 심볼 구간이 $166 \mu s$ 이면 3.9 dB의 에너지 손실이 발생된다.

단말기 RF 수신 신호 주파수와 LO 신호 사이에 발생하는 주파수 오차에 따른 수신기 I/Q 복조 모델은 그림 3과 같이 표현될 수 있다^[5].

여기서 f_c 는 단말기 수신 신호 주파수이고, Δf 는 수신신호 주파수와 LO 신호사이의 주파수 오차 성분이다. 기저대역 I 신호는 식 (7)과 같이 표현되고, Q 신호는 식 (8)과 같이 표현된다.

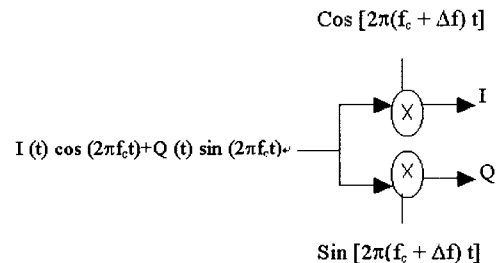


그림 3. 주파수 오차가 있는 I/Q 복조 모델
Fig. 3. I/Q demodulator model containing frequency error.

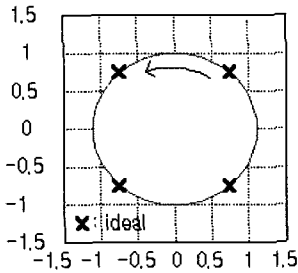


그림 4. 주파수 오차에 의한 QPSK 성능 영향
Fig. 4. QPSK performance effect due to frequency error.

$$1/2 [I(t) \cos(2\pi\Delta ft) - Q(t) \sin(2\pi\Delta ft)] \quad (7)$$

$$1/2 [Q(t) \sin(2\pi\Delta ft) + I(t) \cos(2\pi\Delta ft)] \quad (8)$$

결국 주파수 오차에 의해서 그림 4와 같이 QPSK constellation이 회전하는 현상이 발생하게 된다^[6].

2-3 WCDMA 시스템에서 주파수 오차관련 RF 및 제어신호 요구규격

WCDMA 시스템에서 AFC 관련 RF요구 규격은 표 1과 같다^[7].

상기 규격을 만족시키기 위해 기준 주파수인 상용VCTCXO 요구 규격은 표 2와 같다.

상용VCTCXO의 주파수 감도는 37.815 Hz/V [(19.200061 - 19.199940)MHz / (3.533 - 0.333)V]이고, RFLO 주파수 감도는 4.529 kHz/V [(37.815 Hz/V) × (2299.95 MHz/19.2 MHz)]이다. 8비트로 동작하는 PDM 발생기는 5 V를 256 스텝으로 분해하므로 스텝 당 분해능은 0.0195 V/스텝(5 V/256 스텝)이 된다. 그러므로 복조기내의 PDM 발생기가 8 비트로 동작할 경우 VCTCXO 주파수 분해능은 0.7373 Hz/스텝(37.8125 Hz/V × 0.0195 V/스텝)이 되고 RF-LO 주파수 분해능은 88.3 Hz/스텝이 된다.

표 1. AFC 동작 관련 RF 요구 규격
Table 1. RF requirements related to AFC operation.

성능 파라미터	요구규격	비고
송신주파수 안정도	±0.1 ppm	
주파수 오차 추적범위	≤ ±7.2 kHz	
온도에 따른 주파수 안정도	± 5 kHz	VCTCXO: ±2 ppm(-3°C ~ +60°C)
도플러 주파수	±1 kHz	500 km/s
RFLO 가변 범위	≥ ±7 kHz	

표 2. 상용VCTCXO 동작 요구 사항 및 특성
Table 2. Operating requirements and characteristics of commercial VCTCXO.

요구사항	동작특성
주파수	19.2 MHz
온도에 따른 주파수 안정도	±2ppm (-30°C ~ +60°C)
상온에서의 주파수 안정도	±1 ppm
공급전압에 의한 주파수 안정도	±0.5 ppm (±5 %)
제어 전압 범위	0.333 V ~ 3.533 V
주파수 제어 범위	±60 Hz

III. AFC 동작 특성 측정 및 주파수 오차에 의한 성능 분석

3-1 AFC 동작 특성 및 EVM 특성 결과

실제 시험을 위한 테스트베드 기지국과 단말기 구성은 그림 5와 같으며 초기 조건은 표 3과 같이 설정하였다.

파일럿을 획득하기 위해 기지국 IFLO(70 MHz, level: +10 dBm)를 신호발생기로 입력하고 주파수를 가변시켜서 주파수 오차를 발생시킨다.

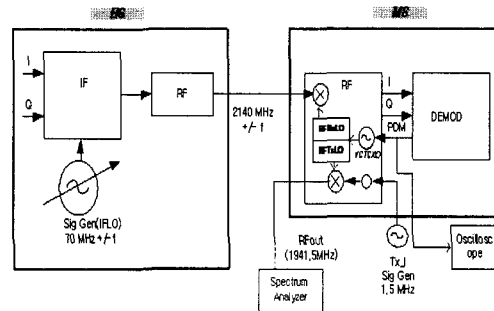


그림 5. AFC 동작 특성 측정을 위한 구성도
Fig. 5. Test configuration for AFC operation.

표 3. AFC 관련 초기 시험 조건
Table 3. Initial conditions for AFC test.

요구 파라미터	설정된 값
기지국 IF 송신주파수	70 MHz
단말기 RF 수신 주파수	2140 MHz
단말기 RF 송신 주파수	1941.5 MHz
PDM 분해능	9 bit
아날로그 입력 신호	1.5 MHz Tone (CW)
기준발전 주파수 감도	37.8125 Hz/V

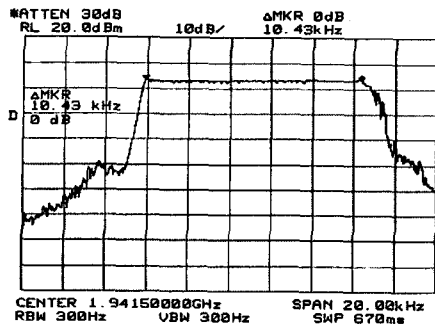


그림 6. 추적 가능한 주파수 오차 범위
Fig. 6. Measurement result of frequency tracking range.

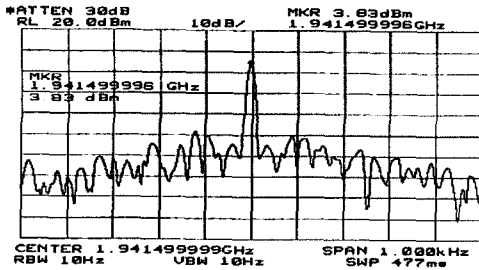


그림 7. AFC 동작 후 단말기 송신 주파수
Fig. 7. UE transmitting frequency in AFC operating.

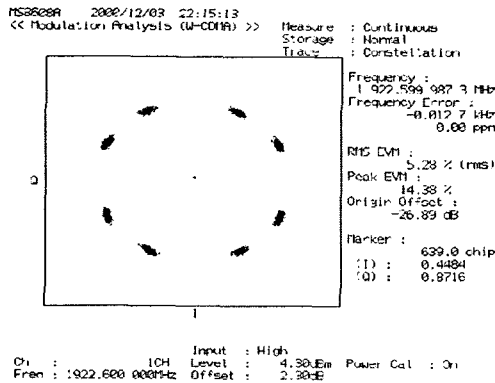


그림 8. 주파수 오차 0.012 kHz일 때 EVM 특성
Fig. 8. EVM characteristics with 0.012 kHz of frequency error.

파일럿 동기를 잃지 않고 주파수에러 추적가능 범위를 확인하기 위해 파일럿 동기화 후 기지국 IFLO 주파수를 가변시키면서 측정한 결과 그림 6과 같이 10.43 kHz를 얻어 요구 규격인 ± 7.2 kHz 이내 값을 만족하였다.

복조부에서 주파수 오차를 검출하고 에러 정정

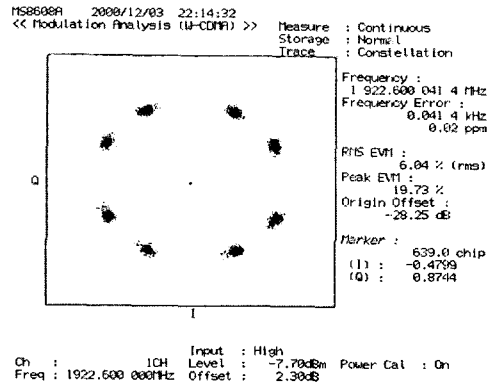


그림 9. 주파수 오차 0.041 kHz일 때 EVM 특성
Fig. 9. EVM characteristics with 0.041 kHz of frequency error.

루프를 작동시킨 후 측정된 단말기 RF 송신 주파수는 그림 7과 같이 1.941499996 GHz가 됨으로써 4 Hz의 주파수 오차를 얻어 요구 규격인 200 Hz 이내를 만족하는 값을 얻었다.

주파수 오차에 의한 단말기 송신성능을 에러백터 크기(EVM)로 측정하였으며 주파수 오차가 0.012 kHz일 경우에는 그림 8과 같이 5.28 %의 EVM 값을 얻었고, 주파수 오차가 0.041 kHz일 때 그림 9와 같이 6.04 %의 EVM 열화를 얻었다.

3-2 주파수 오차에 의한 복조성능 분석

3-2-1 WCDMA 단말기에서 복조기 E_c/I_o 측정

WCDMA 단말기 복조부에서는 탐색기의 상관 값을 E_c 로 하고 탐색기에 유입되는 다른 신호의 세기를 I_o 로 하여 E_c/I_o 를 계산한다. 복조기내의 탐색기 블록은 한 윈도우 내 Common Pilot channel(CPICH)의 상관 값들을 CPU에 보내고 소프트웨어는 해당 정보를 인터럽트 서브루틴을 통해 상관 값 정보를 저장한 후 처리한다. 이 정보는 소프트 핸드오프 및 핑거 할당과 같은 용도로 이용된다. E_c/I_o 계산 과정을 그림 10에 나타내었다. 아날로그 전치단으로부터 유입되는 I/Q 신호는 Analog to Digital Converter(ADC)를 통해 디지털 신호로 변화된 후 신호 처리를 위한 데시메이션 과정과 이득처리 및 적분 과정을 수행한 다음 CPU에 보고하게 된다. 수신 파일럿 신호의 E_c/I_o 계산 및 감시는 탐색기 타스크에서 담당하게 되는데, 탐색기 타스크는 탐색기 하드

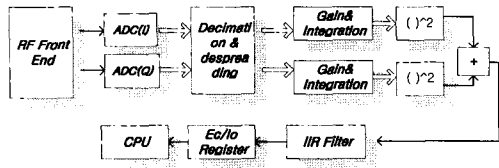


그림 10. 단말기 Ec/Io 계산 구성도
Fig. 10. Ec/Io calculation process in UE.

웨어에 탐색기 이득 및 적분 시간과 같은 파라미터를 설정한 후 수신 파일럿의 상관 값을 구한다. 복조기가 측정한 파일럿의 Ec/Io 값은 $-20 \log_{10}$ [탐색기 Ec/Io]로 구한다.

3-2-2 주파수 오차에 의한 복조기 Ec/Io 성능측정

WCDMA 시스템에서 주파수 오차에 의한 수신기 복조 성능 영향을 고찰하기 위해 그림 11과 같이 기지국은 테스트장비(MD8480A)를 사용하였고 단말기는 개발된 테스트 베드를 이용하였다. 주파수 오차에 의한 단말기 복조성능을 Ec/Io 값으로 분석하기 위해 기지국 제어 소프트웨어를 이용하여 기지국 A(타겟 셀)와 기지국 B(간섭 셀)를 합성하여 RF로 송신하도록 하였고 단말기 RF 보드에는 기준주파수 발생기인 VCTCXO의 제어 전압을 수동으로 가변할 수 있는 기능을 삽입하여 주파수 오차에 따른 Ec/Io 값 변화 현상을 분석하였다.

주파수 오차에 의한 복조 성능 테스트를 위해서 구현한 RF 보드는 그림 12와 같고 주파수 변환 조정을 외부제어 신호 없이 내부에서 가능하도록 구성하였다. 성능 시험을 위한 테스트 베드 시스템을 그림 13과 같이 구성하였다.

테스트를 위해 기지국 A를 타겟 셀로 정하고 기지국 B를 간섭 셀로 설정하였다. 우선 단말기가 기

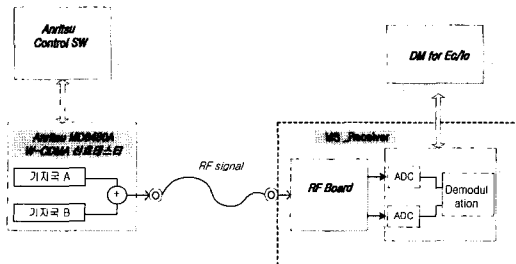


그림 11. 주파수 오차에 의한 Ec/Io 측정 구성도
Fig. 11. Ec/Io test configuration for frequency error.

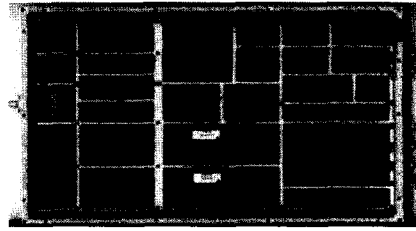


그림 12. 제작된 RF 보드
Fig. 12. Implemented RF board.



그림 13. Ec/Io 측정을 위한 테스트 베드 구성
Fig. 13. Test configuration for Ec/Io measurement.

지국 A와 동기동기를 맞추기 위해 기지국 A의 CPICH 전력레벨을 기지국 B의 CPICH 전력레벨 보다 큰 값으로 송신한 다음 단말기가 동기를 획득하게 되면 기지국 B의 송신 전력레벨을 증가시킴으로써 기준 Ec/Io 값을 설정한다. Down link의 경우 약 -106 dBm의 최소레벨 신호가 단말기 RF에 인가되었을 때 시스템 성능 요구 규격을 $E_b/N_0=7$ dB로 정의하고 있다. 이때 25 dB 처리 이득(processing gain)을 고려해 볼 때 Ec/Io 값은 -18 dB가 된다. 따라서 최소 성능을 만족하기 위한 Ec/Io 값은 -18 dB 이상이어야 한다. 주파수 오차에 의한 복조성능 영향 분석을 위해 Ec/Io의 임의 값인 -7.2 dB를 정하고 이 값을 얻기 위해 기지국 A의 P_CPICH 값을 -84 dBm, 기지국 B의 P_CPICH 값을 -83 dBm으로 설정하였다.

주파수 오차에 의한 수신 복조 성능을 분석하기 위해 주파수 오차가 0 Hz일 때 복조기의 Ec/Io 값이 -7.2 dB임을 확인하였고, 초기에 2140 MHz의 수신 주파수를 설정한 다음 VCTCXO의 제어 단자를 임의로 조정하여 국부 발진주파수(LO)를 변화시켜서 RF 수신 주파수와 국부 발진 주파수 사이의 주

표 4. 주파수 오차에 의한 Ec/Io 측정 값
Table 4. Ec/Io measurement of frequency error.

주파수 오차(Hz)	Ec/Io (dB)
0	-7.2
+100	-7.5
+200	-7.6
+500	-8.0
+1000	-10.4
-100	-7.3
-200	-7.5
-500	-8.2
-1000	-10.6

파수 오차를 발생시키고 이 주파수 오차에 의한 Ec/Io 값의 성능 열화 현상을 측정하여 표 4와 같은 결과를 얻었다.

측정결과로부터 시스템 요구 규격인 ± 0.1 ppm의 주파수 안정도를 얻기 위해서 복조기의 Ec/Io 값이 0.4 dB 이내의 열화 특성을 유지해야 함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 WCDMA 시스템에서 기지국과 이동 단말기간 주파수 오차 발생 원인 및 단말기 복조기에서 주파수 오차 검출 방법 과 정정 방법에 대하여 기술하였다. 주파수 오차에 따른 시스템 성능 열화를 이론적으로 고찰하였으며 실제 제작된 테스트 베드를 이용하여 주파수 오차 추적 범위, 주파수 오차 제어 분해능 및 단말기 기준 클럭인 VC-TXCO 감도 특성을 측정하여 주파수 오차 관련 RF 파라미터 와 복조부와의 제어 인터페이스 조건을 제시하였다.

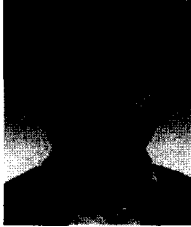
주파수 오차에 의한 송신부 성능 특성을 EVM으로 확인하였고, 수신부 성능 확인을 위해 테스트 장비를 이용하여 기지국 장치를 구축하였고 단말기 RF 보드에서 주파수 에러를 발생시킴에 따라서 단

말기 복조기의 Ec/Io 값 변화를 측정하였다. 측정 결과 주파수 안정도 관련 성능 요구 규격인 ± 0.1 ppm을 만족시키기 위해서는 Ec/Io 값이 0.4 dB 이내의 열화 특성을 가져야 함을 확인하였다. 시스템 연동 시험을 통하여 주파수 오차에 의한 WCDMA 시스템 성능 열화를 방지하기 위해서는 40 Hz/V 이하의 감도를 갖는 기준 주파수 발생기(VCTCXO)와 9비트 이상의 고 분해능을 갖는 주파수 제어신호 발생이 요구되었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Hinedi, B. Sheh, "Acquisition Performance of Various QPSK Carrier Tracking Loops", *IEEE Transactions on Comm.*, Sep. 1992.
- [2] Yan Li, "Automatic frequency correction scheme for spread spectrum coherent RAKE receiver", *Electronics LETTERS*, vol. 34, no. 9, pp. 844-845. Apr. 1998.
- [3] Telecommunication Industry Association TIA/EIA/IS-95: *Mobile station Base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system*, Jul. 1993.
- [4] Charles Wheatley, "CDMA's Dependence on Good Timing And Related Issues", *IEEE International Frequency Control Symposium*, pp. 1211-1218, Aug. 1996.
- [5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, New York, McGraw-Hill, 1995.
- [6] H. Meyr, M. Moneclaey and S. A. Fechtel, *Digital Communication Receivers: Synchronization, Channel Estimation, and Signal Processing*. New York, John Wiley, 1998.
- [7] 3G TS 34.121 v3.0.1 (2000-03) 3rd Generation Partnership Project, *Terminal Conformance Specification*.

이 일 규



1992년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 관심분야] CDMA 이동통신 RF 시스템 및 이동통신 RF 부품설계 등

송 명 선



1984년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1986년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
[주 관심분야] RF시스템 설계, 밀리미터파 통신 시스템 및 부품 설계

이 동 한



1998년 8월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 연세대학교 대학원 전파공학과 (공학석사)
2000년 8월~현재: 한국전자통신연구원 연구원
[주 관심분야] WCDMA 이동통신 기지국, 단말기RF시스템, 차세대 이동통신 RF 시스템

오 승 엽



1971년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
1973년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
1982년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학박사)
1981년~1982년: 일본 Tohku대학교 교환 교수

1985년~1986년: 미국 Pennsylvania 주립대학 교환교수
현재: 충남대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] RF 시스템 및 소자, 안테나, 전파전파 등