

# WCDMA 시스템에서 주파수 에러에 의한 단말기 성능 분석

\*이 일 규, 송 명 선, \*\*임 인성, 이 광 일 오 승 업

\*ETRI, \*\*전문대, 충남대학교 전자공학과

전화 : 042-860-5464 / 핸드폰 : 018-266-5464

## Performance Analysis of UE for WCDMA due to Frequency Error

LEE Il-kyoo, SONG Myung-sun, Lim In-sung, LEE Kwang-il, OH Seung-hyeub

Dept. of Radio Engineering, ETRI

E-mail : leeik@etri.re.kr

### 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 0.1ppm(about 200 Hz). Performance degradation due to frequency error was measured by means of Error Vector Magnitude (EVM)

### I. 서론

코히어런트 수신복조 동작을 하는 WCDMA 이동통신 시스템에서 이동 단말기에 수신된 신호 주파수와 단말기 RF 내 국부 발진 주파수 사이에 발생하는 주파수 오차는 단말기의 수신기 성능을 열화 시키는 요인이 된다. 이러한 주파수 오차는 단말기 내의 기준 주

파수 안정도 와 도플러 주파수에 의해 발생되므로 자동 주파수 오차 보상(Automatic Frequency Error Correction) 방법을 적용하여 주파수 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 가변 시켜서 주파수 에러를 임의로 발생 시킨 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. 또한, 주파수 오차에 의한 송신부 성능열화 특성을 EVM값으로 확인하였다.

### II. WCDMA시스템에서AFC동작

#### 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 ppm 을 유지하도록 제안하고 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 채널을 바탕으로 캐리어 주파수를 조정하게 된다.

단말기 코히어런트 복조기에서 주파수 오차 검출 및 제어신호 발생은 그림1과 같이 구성되고 주파수오차 제어 관련 단말기 블록도는 그림 2와 같다. 수신된 I/Q 데이터는 복조기 각 펌프 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 PDM (Pulse Density Modulation)형태로 발생시킨다. 이렇게 발생된 PDM형태의 제어신호는 RC 저역 통과 필터를 통과하여 DC로 변환되어 VCTCXO의 제어 전압단자에 인가됨으로써 단말기 RF내의 캐리어 발생부인 국부발진(LO)주파수를 제어하게 된다. 송수신 LO 주파수는 위상고정루프(PLL)방식에 의해 VCTCXO에 동기화 이루어지기 때문에 복조기로부터 발생되는 제어신호에 의해 캐리어 주파수가 수정 된다 [1].

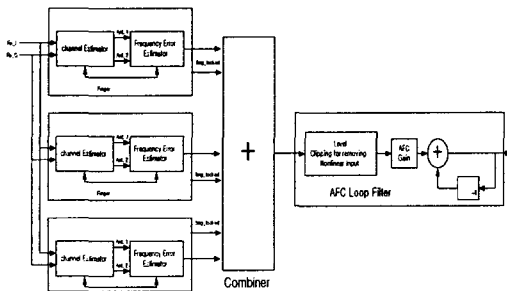


그림 1. 수신기 복조기 주파수 오차 보상 구성도

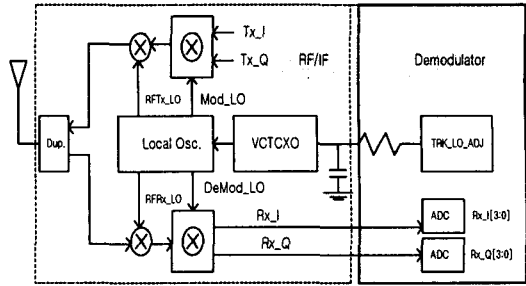


그림2. 주파수 오차 제어관련 단말기 블록도

### 2.2 주파수 오차 검출과정 및 주파수 오차에 의한 성능열화 고찰

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

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

$R(t)$  는 이동단말기에 수신되는 신호이고  $S(t)$  는 기지국에서 송신되는 신호이다. 랜덤변수  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\tau_i$  는 각각  $i$  번째 경로의 경로이득, 경로위상, 경로 지연 이고  $\Delta f$  는 단말기의 수신 신호주파수와 국부발진주파수 간의 주파수 차이다. 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 파라미터들이 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 표현 할 수 있다.

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

여기서  $\Delta f$  와  $T_s$  는 각각 주파수 오차와 심볼 구간이다. 주파수 오차에 비례하는 정보를 가지고 있는 신호

를 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.

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

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

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

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

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

$$-\pi < 2\pi\Delta f T_s < \pi \Rightarrow -1/2T_s < \Delta f < 1/2T_s \text{---}(5)$$

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

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

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

식(6)으로부터, 심볼 구간은 시스템에 의해 정해지므로 주파수 오차 량에 따라서 시스템 성능 열화가 발생됨을 알 수 있다. 예를 들어 주파수 오차가 3 kHz 이고 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 표현 될 수 있다 [5].

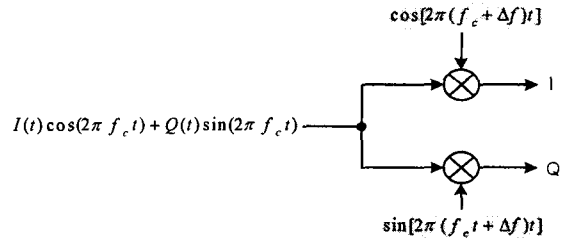


그림 3. 주파수 오차가 있는 I/Q 복조 모델

여기서  $f_c$  는 단말기 수신 신호 주파수 이고,  $\Delta f$  는 수신신호 주파수와 LO 신호사이의 주파수 오차 성분이다. 결국 주파수 오차에 의해서 그림 4와 같이 QPSK constellation 이 회전하는 현상이 발생하게 된다.

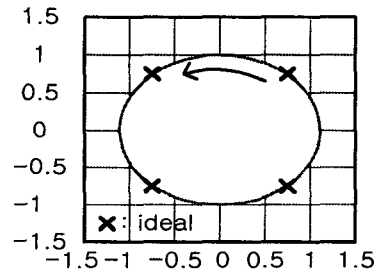


그림 4. 주파수 오차에 의한 QPSK 성능 영향

### III. AFC 동작특성측정및주파수오차에 의한성능분석

실제 시험을 위한 테스트베드 기지국과 단말기 구성은 그림5와 같으며 초기 조건은 표1과 같이 설정하였다.

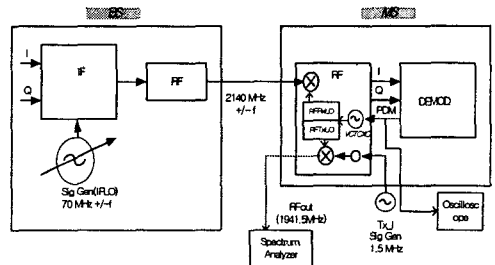


그림 5. AFC 동작 특성 측정을 위한 구성도  
표1. AFC 관련 초기 시험조건

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

복조부에서 주파수 오차를 검출하고 에리 정정 루프를 작동 시킨 후 측정된 단말기 RF 송신 주파수는 그림 6과 같이 1.941499996 GHz 가 됨 으로서 4 Hz의 주파수 오차를 얻어 요구 규격인 200 Hz 이내를 만족하는 값을 얻었다.

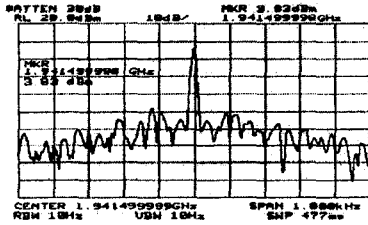


그림 7. AFC 동작 후 단말기 송신 주파수

주파수 오차에 의한 단말기 송신성능을 에리벡터 크기(EVM)로 측정하였으며 주파수 오차가 0.012 kHz 일 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.

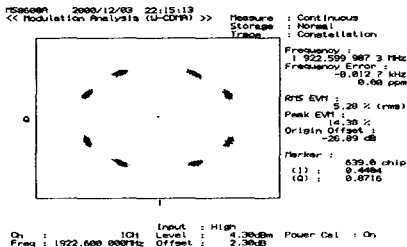


그림 8. 주파수 오차 0.012 kHz 일 때 EVM 특성

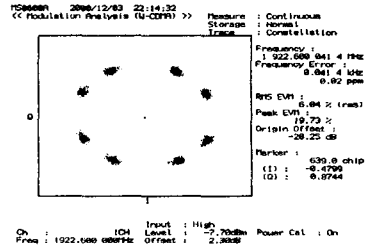


그림 9. 주파수 오차 0.041 kHz 일 때 EVM 특성

### IV 결론

본 논문에서는 WCDMA 시스템에서 기지국과 이동 단말기 간 주파수 오차 발생 원인 및 단말기 복조기에서 주파수 오차 검출 방법과 정정 방법에 대하여 기술하였다. 주파수 오차에 따른 시스템 성능 열화를 이론적으로 고찰 하였으며 실제 제작된 테스트 베드를 이용하여 주파수 오차 추적 범위, 주파수 오차 제어 분해능 및 단말기 기준 클럭인 VCTCXO 감도 특성을 검토하여 주파수 오차 관련 RF 파라미터와 복조부의 제어 인터페이스 조건을 제시하였다. 주파수 에러에 의한 성능 특성을 EVM으로 확인하여 주파수 에러에 의한 시스템 성능 영향을 분석하였다.

### 참고문헌

- [1] S. Hinedi, and B. Sheh, "Acquisition Performance of Various QPSK Carrier Tracking Loops," IEEE Trans. On Comm., September, 1992
- [2] Yan Li, "Automatic frequency correction scheme for spread spectrum coherent RAKE receiver," Electronics LETTERS, April 1998, vol.34 No.9 pp.844 845
- [3] Telecommunication Industry Association TIA/EIA/IS-95: "Mobile station Base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system," July 1993
- [4] Charles Wheatley, "CDMA's DEPENDANCE 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