

이동 통신 단말기 RF System에 미치는 위상잡음의 영향성 분석

최 호 준*, 김 학 선**

(한밭대학교 정보통신공학과 대학원*, 한밭대학교 정보통신·컴퓨터 공학부 부교수**)

A Study on the Impact Analysis of Phase Noise on RF System for Mobile Communication Telephone

Ho Jun Choi*, Hak Sun Kim**

Dept. of Information & Communication Engineering, Hanbat National University

요 약

본 논문에서는 IMT-2000 통신방식 중 cdma-2000 방식의 시스템을 이용하여 이동통신 단말기 RF System에 미치는 위상 잡음의 영향성을 분석하였다. cdma-2000의 표준안인 TIA/EIA에서 권고한 IS-98-C를 기초로 하여 위상 잡음 특성의 요구 조건을 유도하였다. 현재 상용화 된 부품을 이용하여 RF 시스템을 설계하여 위상 잡음 특성을 분석하였고 시스템에 가장 큰 영향을 미치는 oscillator의 위상 잡음의 양을 변화시켜 시스템에 미치는 영향을 Constellation Diagram과 Eye Diagram으로 제시하였다.

I. 서 론

아날로그 방식으로 시작한 이동통신 서비스는 1992년 유럽에서 GSM(Global System for Mobile Telecommunication)방식을 도입하면 급속히 디지털화가 진행되고 있다. 아날로그 이동통신 시스템을 제 1세대, 디지털 이동통신 시스템을 제 2세대, 최근에는 멀티미디어 서비스를 제공하는 제 3세대 IMT-2000 서비스를 눈 앞에 두고 있다.

이동 통신 시스템의 변복조 방식은 채널 용량증가, 전송품질 개선, 통신의 보안성 증대 등의 이유로 아날로그 방식에서 디지털방식으로 변화하였다. 이에 따라 수신기의 성능향상에 있어서 oscillator 위상 잡음의 중요성이 더욱 증가되었다.

본 논문에서는 IMT-2000 통신방식 중에서 cdma2000 방식의 수신기 시스템을 현재 상용화된

부품을 사용하여 설계하여 위상잡음 특성을 분석하였고 위상잡음이 이동통신 시스템에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

II. 위상 잡음 이론

이상적인 Oscillator는 하나의 발진 주파수를 갖지만 실제의 Oscillator는 위상 잡음 때문에 주파수 영역에서 볼 때 ω_0 를 중심으로 양쪽으로 퍼지는 형태의 출력 스펙트럼을 갖는다. 일반적으로 SSB(Single Side Band) 위상 잡음은 가장 일반적으로 사용되는 위상 잡음 측정 방법이다. 이 크기는 ω_0 에 대해 Offset 주파수 $\Delta\omega$ 만큼 떨어진 지점에서 단위 대역폭 당 Noise Power를 계산한 후 이를 Carrier Power로 나누어 나타낸다. 식(1)은 위상 잡음의 크기를 계산하는 식을 나타내었고 그림 1은

위상잡음의 개념도이다.¹¹⁾

$$\text{Phase Noise (dBc/Hz)} = \text{Noise power (dBm)} - \text{Carrier power (dBm)} - 10\log(\text{BW}) \quad (1)$$

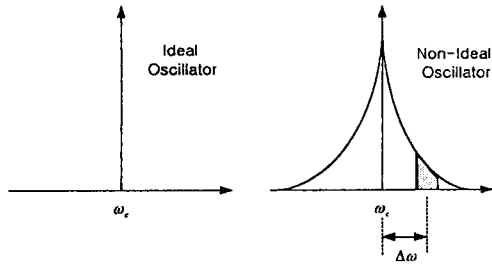


그림 1. 위상잡음 개념도

원하는 신호 근처에 강한 간섭신호(Blocker)가 있을 때 이 두 신호는 위상 잡음을 갖는 LO신호와 혼합되어 다운컨버전 된 신호를 만든다. 다운컨버전 된 신호는 LO의 위상잡음의 꼬리 부분의 영향을 받아 주파수영역에서 겹쳐진 형태로 나타난다. 이러한 현상을 Reciprocal Mixing 효과라고 한다. 이러한 현상은 수신기의 Blocking Performance에 가장 큰 영향을 미친다. 즉, 수신기의 noise floor를 높여 시스템의 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 낮추는 결과를 갖는다. 그림 2는 Reciprocal Mixing 효과의 개념도이다.¹²⁾

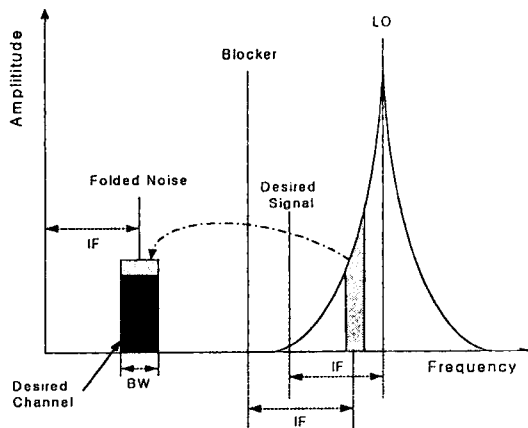


그림 2. Reciprocal Mixing Effects.

이상적인 Oscillator 를 삼각함수로 나타낼 때는 식(2)로 나타낼 수 있고, 실제의 Oscillator 는 진폭

잡음[n(t)]과 위상잡음[θ_n(t)]이 존재하기 때문에 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \cos(\omega_0 t) \quad (2)$$

$$V = [1 + n(t)] \cos[\omega_0 t + \theta_n(t)] \quad (3)$$

일반적으로 수신기에서 믹서가 포화 입력전력에서 동작을 하기 때문에 LO(Local Oscillator)의 진폭 잡음은 수신기의 성능에 큰 영향을 미치지 않아 무시한다. 그림 3 은 수신기에서 변조되지 않은 RF 입력 신호와 위상 잡음으로 인해 위상 변조된 LO 입력 신호가 곱해져 두 입력 주파수의 합이나 차로 변환되어 IF 필터를 거쳐 IF 신호로 변환되는 과정을 나타내었다. 그림에서 LO 의 위상 잡음이 위상 변조되어 IF 신호까지 전달되었음을 보여준다. 이는 변복조기의 출력에서 추가적인 잡음으로 나타난다.

특히 디지털 시스템에서 사용하는 PSK(Phase-Shift-Keyed), FSK(Frequency-Shift-Keyed)와 같은 디지털 변복조방식에서는 위상잡음이 최대 BER(Bit-Error-Rate)을 제한하는 중요한 파라미터가 된다.¹³⁾

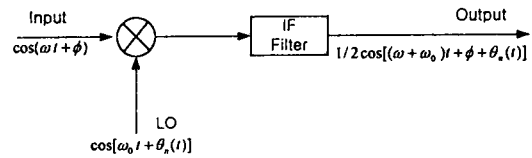


그림 3. LO 위상잡음의 효과

III. cdma2000 RF 수신단 Single Tone Desensitization 분석

cdma-2000의 Single Tone Desensitization 테스트는 원하는 신호가 수신되고 이로부터 정해진 offset 주파수만큼 떨어진 곳에서 간섭성분이 유입될 때 원하는 신호를 수신하는 능력을 측정한다.

표 1 은 표준안의 Single Tone Desensitization 테스트 조건이다.¹⁴⁾ 표 1 의 테스트 조건으로부터 위상잡음의 양을 구할 수 있다.

먼저 Sensitivity 조건을 만족할 때의 Input Referred Noise 를 구한다.

$$\text{Input Referred Noise} = \text{Input Noise} + \text{NF}_{\text{max}}$$

$$= -103.02 \text{dBm}$$

$$\text{Input Noise} = kTB \approx -113.07 \text{dBm}$$

$$\text{NF}_{\text{max}} = \text{SNR}_{\text{in}} / \text{SNR}_{\text{out}} \approx 10.05$$

Parameter	Units	Test1	Test2
Tone offset from Carrier	kHz	900	-900
Tone Power	dBm	-30	
I _{or}	DBm/1.23MHz	-101	
Pilot E _c /I _{or}	dB	-7	
Traffic E _c /I _{or}	dB	-15.6	

표 1. Minimum Requirement for Single Tone Desensitization

다음은 Single tone desensitization minimum standard 를 만족하는 최대 Input Referred Noise 를 구한다.

최대 Input Referred Noise

$$= \text{Input Signal} - \text{SNR}_{\text{out}} \approx -99.82$$

$$\text{Input Signal} = -116.6 \text{dBm}$$

$$\text{SNR}_{\text{out}} = E_b/N_t - \text{Processing Gain} \approx -16.77$$

위의 결과로부터 전체 Input Referred Noise 중 위상잡음의 양을 구한다.

$$\text{Noise}_{\text{total}} = \text{Noise}_{\text{AWGN}} + \text{Noise}_{\text{PN}}$$

$$10^{-99.82/10} = 10^{-103.02/10} + 10^{\text{PN}/10}$$

$$\text{Noise}_{\text{PN}} \approx -102.65 \text{dBm}$$

다음은 식 (1)을 이용하여 위상잡음을 구한다.

Phase Noise (dBc/Hz)

$$= \text{Noise power (dBm)} - \text{Carrier power (dBm)}$$

$$- 10 \log(\text{BW})$$

$$= -102.65 - (-30) - 10 \log(1.23 \times 10^6)$$

$$= -133.55 \text{ (dBc/Hz) @ 900kHz}$$

위의 조건에서 위상 잡음이 -133.55 (dBc/Hz) @900kHz 이하가 되어야 함을 알 수 있다. [5]

그림 4 는 위상 잡음의 변화에 따른 E_b/N_t 의 변화를 나타내었다. 위상 잡음이 -133.55dBc/Hz 에서 증가함에 따라 E_b/N_t 값이 급격히 감소됨을 볼 수

있다.

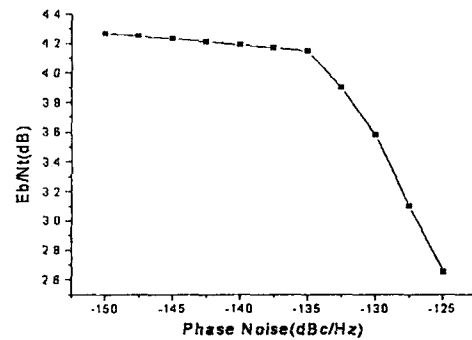


그림 4. 위상잡음에 대한 E_b/N_t 의 변화

IV. RF 시스템 설계

수신기 RF 시스템 설계는 현재 상용화되고 있는 부품을 사용하여 구성하였으며 헤테로다인 구조로 설계하였다. 그림 5 는 cdma2000 수신기 RF 시스템 블럭도이다.

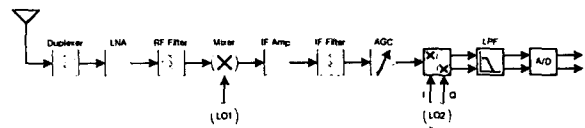


그림 5. cdma2000 수신기 RF시스템 블럭도

표 1 의 테스트 조건으로부터 설계한 cdma2000 RF시스템을 시뮬레이션 한 결과 RF시스템 전체의 위상 잡음은 -139.96 dBc/Hz @ 900kHz 얻었다. 이 결과는 설계한 RF시스템의 위상잡음이 -133.55dBc/Hz@ 900kHz이하로 테스트 조건을 만족함을 알 수 있다. 그림 6은 위상잡음 특성을 시뮬레이션한 결과를 나타내었다.

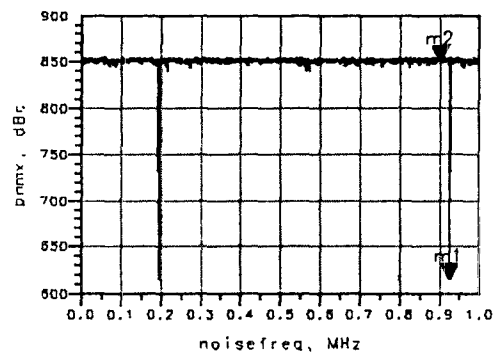


그림 6. cdma2000의 위상잡음 특성

그림 7은 QPSK 변복조 방식의 이상적인 Constellation Diagram이다. 그러나, 실제 시스템에서는 위상 잡음이나 AM/PM 변환으로 인해 Error Vector의 위상 성분에 왜곡을 일으켜 전체 시스템의 BER을 증가시킨다.

그림 8은 Constellation Error가 일어나는 과정을 나타낸 Constellation Error Vector의 개념도이다.¹⁶⁾

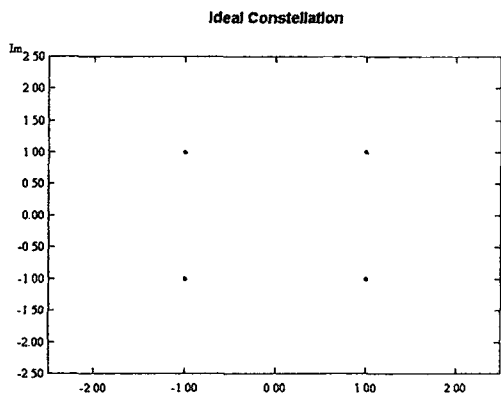


그림 7. Ideal Constellation Diagram

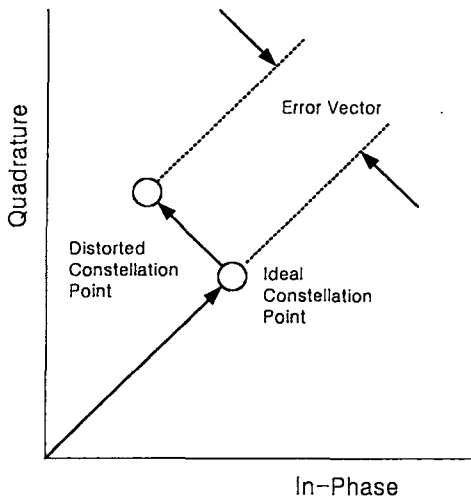


그림 8. Constellation Error Vector의 개념도

그림 9는 위상왜곡의 허용범위 안에서 일어난 일반적인 경우의 Constellation Diagram이고, 그림 10은 위상 잡음의 증가로 인해 왜곡 정도가 심해져 신호의 수신에 불가능한 상태를 나타내었다.

눈 모양(Eye Diagram)은 디지털 통신시스템의 성능을 나타내는 파라미터의 하나로서, 눈 모양에

따라 채널상태에 따른 시스템의 성능저하를 알 수 있다. 그림 11은 Ideal한 경우의 Eye Diagram을 나타내었고, 그림 12는 채널에서 심볼 간의 간섭이 심하여 주기 T에서 영점을 crossing하지 않는 모양의 Eye Diagram을 나타내었다.

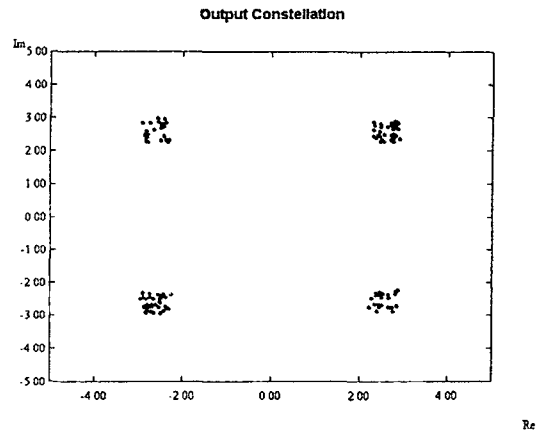


그림 9. Normal Constellation Diagram

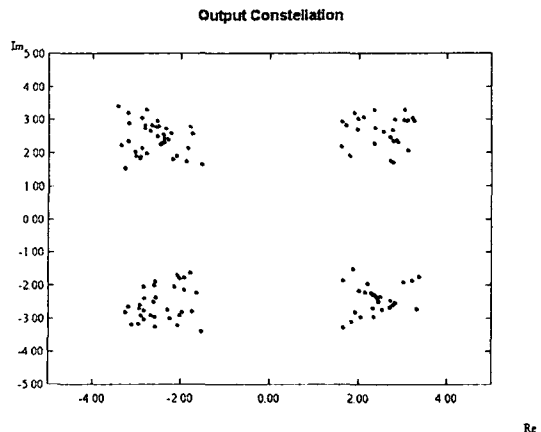


그림 10. Noisy Constellation Diagram

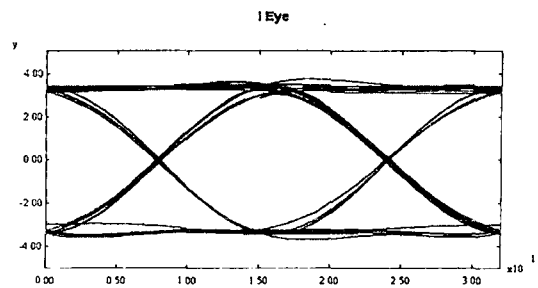


그림 11. Ideal Eye Diagram

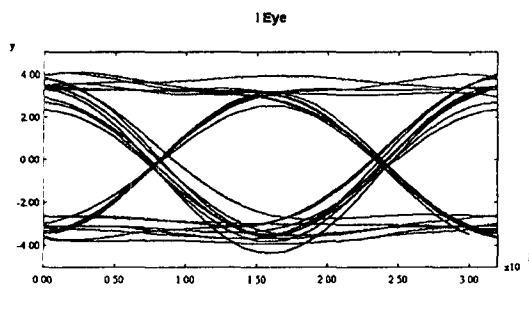


그림 12. Noisy Eye diagram

V. 결 론

본 논문에서는 IMT-2000 통신방식 중 cdma-2000 방식의 시스템을 이용하여 이동통신 단말기 RF System 에 미치는 위상 잡음의 영향성을 분석하였다. cdma-2000 의 표준안인 IS-98-C 를 기초하여 위상 잡음 특성의 요구 조건을 유도하였고 시스템의 위상 잡음에 가장 큰 영향을 미치는 발진기의 위상 잡음을 변화시켜 Constellation Diagram 과 Eye Diagram 을 결과로 제시하였다.

본 논문의 연구 결과는 위상잡음이 이동통신 RF 시스템에 미치는 영향을 연구 분석하는데 중요한 참고자료가 될 수 있을 것이다. 그리고 앞으로 위상잡음의 영향성에 대한 수식적인 정확한 해석이 향후 과제로 남아있다.

참 고 문 헌

- [1] B. Razavi, RF Microelectronics, Prentice Hall, pp. 214~215, 1998
- [2] Emmanuel Ngompe, "Computing the LO Phase Noise Requirements in a GSM Receiver", Applied Microwave & Wireless, pp54~58, 1999,7
- [3] C. John Grebenkemper, The Communications Edge, <http://www.wj.com>, 1981
- [4] "Recommended Minimum Performance Standards for Dual-Mode Spread Spectrum Mobile Stations", TIA/EIA/IS-98-C, March 1999

[5] 지만구, 이동통신 단말기 RF 시스템의 선형성 분석에 관한 연구, pp71~72, 2001

[6] John R. Pelliccio, "Phase Noise Effects on OFDM Wireless LAN Performance", Applied Microwave & Wireless, pp68~80 2001,7