

CMS에서 RF수신기 시스템의 파라메타 분석

Analysis of Parameters for a RF Receiver System in the CMS

천 종 훈*, 박 종 안**
(Jonghun Chun*, Jongan Park**)

※이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 조선대학교 수송기계부품
공장자동화 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 CDMA 이동국 시스템의 고주파 수신부를 구현하기 위한 시스템 파라메타에 대하여 이동국 최소 규격인 IS-98-A를 기준으로 고찰하였으며, 이 규격을 만족시키기 위한 수신감도와 잡음지수의 관계, 그리고 프레임 오류율과 비트 오류율과의 관계를 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 이동국의 수신감도에 적합한 수신기의 최대 잡음지수는 셀컴사에서 언급하는 규격보다 3dB 정도 여유를 갖는 약 11dB를 나타내었다.

또한, 각 부호율에 대한 통화채널의 E_b/N_t 와 프레임 오류율과의 관계를 통화채널 속도를 가변하여 시험하고, LNA에서 IMD가 가장 중요한 변수라는 사실을 검증하기 위한 상호변조 스퓨리어스에 대한 시험을 LNA를 항상 ON시킨 경우와 ON/OFF시킨 경우 두가지로 나누어 시험하였다.

ABSTRACT

In this paper, A method is proposed to analyze the noise figure for some parameters based on IS-98 recommendation when a RF receiver for the CDMA mobile station is designed.

Simulation results show that the maximum noise figure of the receiver, which fits in the receiving sensitivity of the mobile station, is about 11dB, and this value is smaller about 3dB than the existing specification.

In addition, we have tested the relationship between frame error rate and E_b/N_t of traffic channel for each coding rate according to the speed changes of the traffic channel. In order to prove IMD to be the most important variable in LNA we have tested IMD spurious in case that LNA always turns ON and in case that LNA turns ON/OFF.

I. 서 론

가입자 수용 용량이 한계에 이른 아날로그 이동통신 시스템을 대체하기 위한 CDMA 이동통신 방식에 대하여 많은 연구결과가 발표되고 있다. 이것은 CDMA 이동통신이 가입자 수용 용량면에서 보다 큰 장점을 갖고 있어 최근 상용화되고 있을뿐만 아니라, 도입될 PCS에서도 서비스에 대한 기대가 높다는 것을 알 수 있다.

CDMA 방식에서 각 신호는 서로 다른 의사 랜덤 2진 부호열을 가지게되며 이것이 파형 스펙트럼을 확산시키는 역할을 한다. 그리고 많은 수의 신호들은 동일한 주파수

스펙트럼을 공유하지만 상관검출기를 사용하여 원하는 신호만을 분리하여 수신하게되며, 이때 다른 신호들은 스펙트럼이 원상 복구되지 못하고 잡음으로 처리된다. 이러한 특성으로 비트에너지 대 잡음 전력밀도(E_b/N_0)가 감소되고 이로 인하여 시스템 용량을 늘려줄뿐만 아니라 잡음 및 간섭 극복에 필요한 송신전력을 감소시켜 준다.⁽¹⁾

CDMA 시스템에서 수신기는 크게 고주파 변환부와 디지털 신호처리부로 구성되어 있으며 주파수 변환부는 고주파 신호를 기저대역 신호로 변환시켜주는 기본적인 역할에서 볼 때 아날로그 시스템과 동일하지만, 시스템 규격면에서는 서로 상이하다.⁽²⁾ CDMA 방식에서는 선형 변조방식을 사용하기 때문에 수신기 고주파 변환부의 선형성이 중요한 요소중의 하나이며, 대역확산으로 인한 신호대역이 아날로그 시스템의 대역폭과는 다르다. 또한 이미 상용화된 셀룰러와 도입될 PCS의 고주파 변환부도 사용 주파수 대역과 채널 점유 대역폭이 서로 다를 것으

*현대전자(주) 산업전자연구소
Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.

**조선대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Eng., Chosun University

접수일자: 1996년 10월 2일

로 예상된다. 특히 PCS에서는 부호율이 14,400bps까지 높아짐으로써 상대적으로 CDMA 방식의 주요한 변수중 하나인 처리이득이 감소하게 될 것이므로 셀룰러와 똑같은 특성을 얻기 위해서는 수신기의 설계에 있어서 보다 낮은 잡음지수를 요구하게 된다.⁽¹⁴⁾

따라서 본 논문에서는 CDMA용 이동국 수신기의 표준 규격인 IS-98의 수신감도, 단일톤 둔감도, 상호변조 스푼리어스 등의 규격에 적합한 시스템 잡음지수를 구하는 방법을 제시하고자 하며, E_b/N_0 와 수신감도 사이의 관계, 그리고 부호율을 변화시켜 각각의 부호율에 대한 E_b/N_0 와 프레임오율(FER)사이의 관계를 시뮬레이션을 통하여 고찰하고자 한다. 그리고 이를 근거로 RF 수신기 설계에 요구되는 저잡음 증폭기와 믹서의 잡음지수를 유추하여 유추된 잡음 지수값이 CDMA 이동국 표준 규격인 IS-98에 적합하는가를 확인한다. 확인된 잡음 지수값을 고주파 변환부 설계시 각 파라메타에 대한 이론적 근거로 적용하여, 기 개발된 단말기의 시험 데이터와 비교한 다음 그 타당성을 입증하고 현재 개발중인 PCS의 고주파 설계에 대한 방향을 제시하고자 한다.

이를 위하여 제 II장에서 RF 수신기의 일반적인 구조와 시스템 파라메타에 대하여 고찰하고, 제 III장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 각종 시스템 파라메타를 결정하는 방안을 제시한다. 그리고 제 IV장에서는 시뮬레이션을 근거로 단말기를 제작한후 시험 장치를 구성하여 결과를 분석하며, 제 V장에서 결론을 맺는다.

II. RF 수신기 파라메타

이동통신 시스템에서 많은 수신기들의 신호처리 과정이 디지털화되어 가고 있지만 안테나로 수신된 약한 신호를 증폭시키기 위한 처리는 여전히 아날로그 회로가 사용되고 있다. 일반적인 수신기의 방식은 수퍼헤테로다인 방식을 사용하고 있는데, 이 방식에서는 증폭, 필터링 그리고 검파등의 과정을 거치게 된다. 수퍼 헤테로다인 방식의 front-end 회로의 송, 수신 듀플렉서는 대역통과 필터로 구성되며 약 3dB의 삽입 손실을 가지고 있다. 그리고 일반적으로 사용되는 저잡음 증폭기의 잡음지수는 약 1.2~1.5dB이며 이득은 약 21dB이다. 저잡음 증폭기의 잡음 지수는 전체 시스템 잡음 지수에 큰 영향을 미친다. 저잡음 증폭기의 잡음 지수에 영향을 주는 파라메타로는 Fukui가 제안한 잡음 모델식에 따라 능동소자(FET)의 C_{gs} 와 소스 임피던스에 의해 식(1)과 같이 결정된다.

$$F_{min} \cong 1 + 2(k\omega) + 2(k\omega)^2$$

$$R_{opt} \cong \frac{1}{\omega C_{gs}} \frac{\sqrt{Q}}{1+Q}$$

$$X_c^{opt} \cong \frac{1}{\omega C_{gs}} \tag{1}$$

where

$$k = (1 + g_m R_s) C_{gs} \sqrt{\frac{S_{id}}{g_m 4kT} (R_g + R_i R_s)}$$

$$Q = \frac{R_g + R_i + R_s}{\frac{S_{id}}{g_m 4kT} (1 + 2g_m R_s)}$$

다이오드나 FET의 비선형특성을 이용하여 입력 신호를 국부 발진기 신호와 혼합하여 중간 주파수를 생성하는 장치가 믹서이다. 이 때 믹서를 통하여 발생하는 신호는 $n\omega_{LO} \pm m\omega_{RF}$ 이며(여기서 n, m은 정수) 믹서의 특징은 전환 이득/손실, IMD(Inter Modulation Distortion)특성, 스푼리어스 신호, 그리고 잡음 특성등을 들 수있다. 이 중 가장 중요한 요소인 IMD는 실제 사용 환경에서 수신기의 성능지수를 나타내며 특히 TOI(Third Order Inter-modulation)특성은 원하는 중간 주파수(IF)를 만들어 내는데 있어서 중요한 역할을 한다. 이렇게 TOI가 중요한 요소로 지적되는 이유는 원신호에 가장 가까이 있어 제거하기가 가장 힘든 신호이며 원신호에 왜곡을 미칠 가능성이 크기 때문이다. 그러므로 기본적인 IMD의 파악이 수신기 설계에 있어서 왜곡 동작범위를 결정하는 중요한 요소이고, IMD의 원인으로서는 두개의 서로 다른 주파수를 가지고 동일한 크기를 갖는 사인파 신호가 입력될 때 원신호의 합과 차의 주파수에서 발생한다. 즉 $\pm n\omega_1 \pm m\omega_2$ (n, m은 정수)가 된다. 만약 Compression point가 없다면 기준 주파수 성분이 선형적으로 증가하여 2차, 3차 왜곡성분과 만나는 점이 생긴다. 이 때 3차 성분이 더 빠르게 증가하므로 기준 주파수와 만나는 점이 먼저 생기고 이 지점은 대개 dBm 단위로 규정되며 입력이나 출력 중 하나를 기준으로 삼는다. 이 점을 사용하여 시스템 안에서 왜곡 레벨을 예견할 수 있다. 그리고 2차와 3차 intercept point는 신호 레벨에 독립적이라는 장점을 가진다. 실제로 동작범위를 구할 때 분석기의 잡음 플로워 감도가 영향을 주므로, 분석기의 잡음 플로워 밀도로 떨어지는 상호변조 성분을 얻을 수 있는 적절한 레벨을 발견할 수 있다. 잡음 플로워는 대역폭에 의존하기 때문에 분석기의 실제 동작 범위는 NF, Intercept point, 분석기의 대역폭을 알면 계산할 수 있다.

Noise D.R.,

$$= P_o - [174 - 10\text{LOG}(BW) - NF] \text{ [dB]} \tag{2}$$

가장 중요한 것은 입력신호 레벨이 클 때 고차 성분들이 2차, 3차 성분에 더욱 큰 영향을 준다. 3차 Intercept point인 IP_3 의 값은 식(3)과 같이 계산된다.

$$IM_3 = 3P_{signal} - 2IP_3 \tag{3}$$

여기서, P_{signal} = 각 시험 신호의 전력레벨

LNA 다음단에는 매우 높은 신호레벨이 뒤 따르기 때문에 수신기의 믹서는 IMD에 매우 취약하지만 종종 믹서와 LNA 사이에 가변 감쇠기나 가변 이득 LNA를 사용하여 믹서에 들어가는 강한 신호를 줄임으로서 해결할 수 있다. LNA/Mixer에서 보다 나은 IMD 특성을 원한다면 일반적으로 높은 드레인 전류를 흐르도록 하여야하므로 잡음과 IMD 그리고 드레인 전류를 동시에 만족시키지는 못한다. 이때 타협점으로 LNA/Mixer의 이득을 20~25dB로 하면 IMD 특성은 시스템이 견딜수 있는 최대한의 드레인 전류에서 최대가 된다.

CDMA 방식에서 전력제어를 하는 중요한 요소중의 하나인 AGC는 핸드셋과 기지국 사이의 거리가 변화함에 따라 일정한 전력레벨을 유지하는 회로이다. AGC에 사용되는 증폭기는 필요할 때 신호레벨을 선형 증폭해야하므로 증폭기의 선형성이 매우 중요하다. 일반적으로 사용되는 증폭기의 선형이득 범위는 약 84dB이다. 하드웨어적으로 생기는 오차는 소프트웨어를 사용하여 보정한다.⁽⁵⁾ 그림 1에 일반적인 슈퍼헤테로다인 방식의 수신기를 나타내었다.

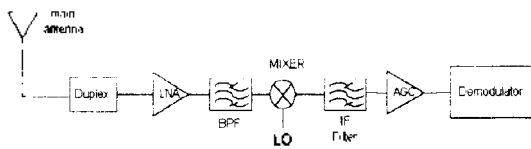


그림 1. 슈퍼헤테로다인 수신기 구조
Fig. 1. Blockdiagram of super-heterodyne Receiver

수신기의 잡음지수는 간섭이 존재하지 않을 때 수신기의 민감도를 결정한다. 전체 수신기의 잡음지수는 듀플렉서 손실, LNA NF, Mixer/IF 잡음 등의 합이다.⁽⁶⁾

그림 2는 실온에서 사용되는 증폭기를 이상적인 증폭기와 잡음원을 결합하여 모델링한 것이다. 즉 외부신호와 주변의 온도에 의해 야기되는 작은 전압의 유동에 의해 생기는 잡음을 나타내는 내부 잡음원이 증폭기에 인가되어 신호와 잡음이 동시에 증폭되는 상황을 모델링한 것이다.

$$F = F_{\text{dup}} + \frac{(F_{\text{pre}} - 1)}{G_{\text{dup}}} + \frac{(F_{\text{lna}} - 1)}{G_{\text{dup}} G_{\text{pre}}} + \frac{(F_{\text{mix}} - 1)}{G_{\text{dup}} G_{\text{pre}} G_{\text{e2}}} + \dots$$

$$NF = 10 \log(F) \quad (6)$$

여기서 F = Noise Factor

수신기의 잡음 지수를 나타내는 식(6)에서 보듯이 저잡음 증폭기의 잡음 특성에 의해 전체 잡음지수가 크게 좌우됨을 알수 있다. 최적의 성능을 얻기 위해서는 소자들

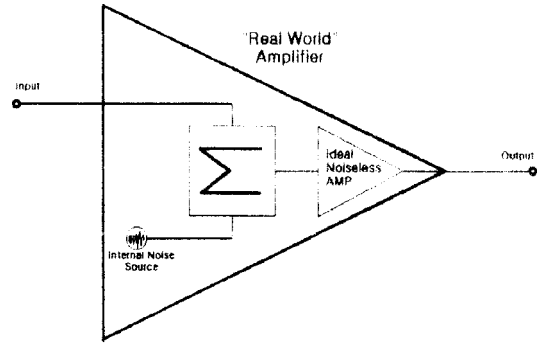


그림 2. 이상적인 증폭기
Fig. 2. Ideal amplifier

간의 연결 부위에서의 임피던스가 조정되어야한다. 디지털 링크의 척도로서 BER이 많이 사용되고 식(7)과 같이 표현된다.

$$BER = \frac{\text{Number of Bits Received in Error}}{\text{Total Number of Bits Received}} \quad (7)$$

일반적으로 디지털 통신 시스템에서 주어진 BER에 대해 신호대 잡음비를 정량적으로 나타내기 위해 E_b/N_o 를 많이 사용한다. E_b 는 한 비트에 들어 있는 전력을 나타내며 식(8)과 같이 주어진다.

$$E_b = ((e_s)^2 / Z) (1/R) \quad (8)$$

Z: 임피던스, e_s : rms 신호 전압, R: 비트율(Bit rate)

즉 E_b 는 하나의 데이터 주기 동안에 정규화된 신호안에 있는 전력을 의미한다. 유사하게 잡음 전력 스펙트럼 밀도는 식(9)와 같이 나타낼수 있다.

$$N_o = ((e_n)^2 / Z) (1/B_n) \quad (9)$$

결과적으로 신호대 잡음비 E_b/N_o 은 식(10)과 같이 주어진다.

$$\frac{E_b}{N_o} = \left(\frac{e_s^2 \cdot B_n}{e_n^2 \cdot R} \right)$$

$$\frac{E_b}{N_o} \text{ (dB)} = (20 \log \frac{e_s}{e_n} + 10 \log \frac{B_n}{R}) \quad (10)$$

여기서 $20 \log(e_s/e_n)$ 은 SNR을 의미하고 $10 \log(B_n/R)$ 은 전력 대역폭비를 나타낸다. 일반적인 Modem은 B_n 이 R보다 2배정도 크다. E_b/N_o 는 복조기의 특성을 결정하는데 사용되지만, 수신기의 잡음은 수신부 전단에서의 잡음지수(NF)에 의해서 결정된다.⁽⁷⁻¹⁰⁾ NF는 전치증폭기, 송수신기 또는 모델에 의해서 결정된다. 디지털 수신기에서 C/N과 BER간의 관계는 가장 중요한 성능 파라메타이다. 그리고 E_b/N_o 과 C/N은 식(11)과 같다.

$$\frac{C}{N} = \frac{RE_b}{B_n N_o} \tag{11}$$

C는 수신기로 입력된 신호전력이고, N은 잡음전력이다. R은 정보비트의 속도이고, B_n은 수신기의 등가잡음대역폭이다. 그리고 N_o는 잡음 전력밀도이다. 여기서 B_n/R을 G_p(Processing Gain)이라 한다. 예를 들면 CDMA 이동통신에서는 G_p = 21dB이 된다.

그리고 수신기 입력단의 등가 잡음전력은 식(12)와 같다.

$$N = KTB_n F \tag{12}$$

K는 볼츠만 상수, T는 절대온도, B_n는 등가 잡음대역폭, F는 잡음계수이다. 그러므로 식(11)과 (12)로부터 수신기의 잡음계수는 다음식으로 유도될 수 있다.

$$F = \frac{C}{KT B_n} \frac{N_o}{E_b} \frac{B_n}{R} \tag{13}$$

만약 E_b/N_o의 값이 주어지면, 식 (13)으로부터 수신기의 잡음계수를 구할 수 있다.

III. 시뮬레이션

1. 프레임 오류 및 비트오류

IS-98의 이동국 수신부 규격은 최소 규격으로 프레임 오류를 만족하기 위한 수신부의 각 파라메타를 규정하고 있다. 따라서 이동국 수신부의 성능은 비트오류 또는 프레임 오류로 나타낼 수 있다. 부가성 백색잡음하에서 길쌈 부호화된 코히어런트 BPSK 신호의 비트오류의 상한(Upper bound) P_b와 블록오류의 상한 P_F는 각각 식(14) 및 (15)와 같다.

$$P_b \leq \frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1, D=\exp(-E_b/N_o)} \tag{14}$$

$$P_F \leq B T(D, N) \Big|_{N=1, D=\exp(-E_b/N_o)} \tag{15}$$

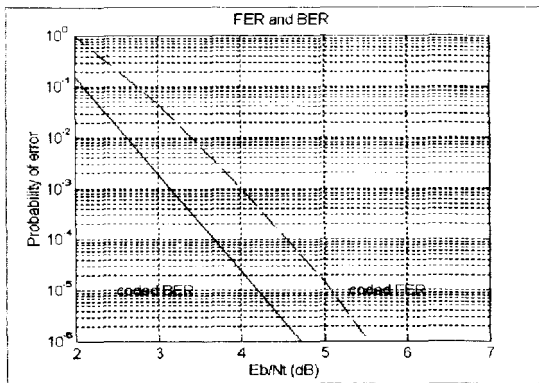


그림 3 프레임 오류 및 비트오류
Fig. 3. Frame Error Rate and Bit Error Rate

E_c/N_o는 rE_b/N_o이고, E_b/N_o는 정보비트 에너지대 잡음 전력밀도의 비이며, E_c/N_o는 채널 심볼에너지대 잡음 전력 밀도의 비이다.⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ r = k/n은 코드율이며, T(D, N)은 길쌈부호기의 전달함수, B는 프레임을 구성하고 있는 비트수이다. 식(14)와 식(15)에서 부가성 백색잡음만 존재하는 경우에는 E_b/N_o를 직접 대입하지만, 간섭이 존재하는 경우에는 E_b/N_o는 E_b/N_i를 대입하여 한다. 그림 3은 프레임 오류 및 비트오류를 나타내고 있다.

2. 수신감도

수신감도는 안테나로 입력된 신호전력이 어느정도 이상일 때 수신기가 규정된 오류이하로 동작할 수 있는 능력을 말하며 수신기의 잡음지수와 직접 관련이 있다.^(13, 14) 먼저 정보비트에너지 대 잡음전력밀도의 비 E_b/N_o와 신호대 잡음비는 식(11)과 같다. 한편, IS-98에서 규정하고 있는 수신감도의 시험 파라메타는 다음 표 1과 같다.

표 1. 수신기 감도와 동작범위와의 관계
Table 1. The relation of sensitivity and operating range

파라미터	단위	시험1	시험2
I _{or}	dBm/1.23MHz	-105	-25
$\frac{\text{Pilot } E_c}{I_{or}}$	dB	-7	
$\frac{\text{Traffic } E_c}{I_{or}}$	dB	-15.6	

여기서 수신전력(I_{or})은 안테나 입력단자로 들어가는 전력이며, (Pilot E_c)/I_{or}은 전체 송신전력 스펙트럼 밀도에 대한 파일럿 채널의 단위 칩당 평균 송신에너지의 비이다.

(Traffic E_c)/I_{or}은 전체 송신전력 스펙트럼 밀도에 대한 순방향 통화채널의 단위 칩당 평균 송신에너지의 비이다. 수신감도 최소규격은 위와 같은 시험 파라메타로 시험하여 프레임오류가 0.005를 넘지 않아야 한다. 이때 프레임오류를 측정하기 위하여 전송하는 채널은 통화채널로서 속도는 9,600bps이다. 표 1의 값으로 식(13)를 이용하여 시스템 잡음지수와 E_b/N_o의 관계를 시뮬레이션한 결과는 그림 4와 같다.

위의 그림 3에서 프레임 오류 0.005를 만족시키는 E_b/N_o의 값은 3.6dB이다. 그러므로 그림 4에서 E_b/N_o가 3.6dB일 때 시스템 잡음지수는 약 11dB이다. 실제로 시스템을 설계할 때에는 어느 정도의 여유를 고려하며, 이같은 쿨컴사에서 이동국 시스템 잡음지수로 잡고 있는 8dB 보다 약 3dB의 여유를 고려한 값이라는 것을 알 수 있다. 이 결과는 정보비트속도가 9,600bps인 경우로 셀룰러에 적용할 수 있지만 PCS에서는 데이터 속도가 14,400bps로 바뀌고 셀룰러와 같은 대역폭을 갖기 때문에 처리

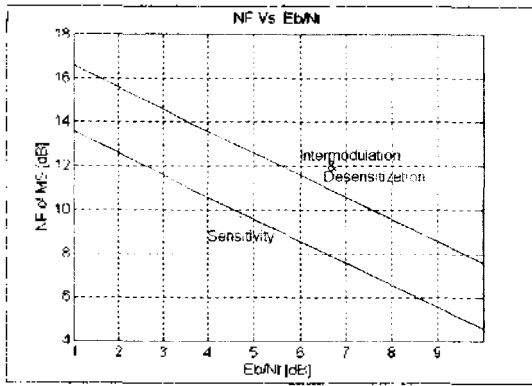


그림 4. AWGN하에서 이동국의 잡음지수와 E_b/N_t
Fig. 4. Relation of NF and E_b/N_t under AWGN

아득이 작아진다. 식(13)에서 알수 있듯이 처리이득이 작아지면 잡음계수도 작아진다. 따라서 데이터 속도에 따른 최적화된 시스템 잡음지수를 도출하기 위하여 FER과 E_b/N_o 와의 관계를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 알수 있듯이 데이터 속도가 빨라 질수록 규정된 FER을 만족시키기 위한 E_b/N_o 는 커지고, 이에 따른 잡음지수는 그림 8에서 구할 수 있다. 시뮬레이션 결과 데이터속도 14,400

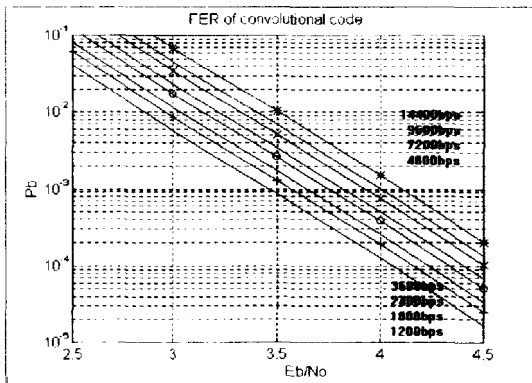


그림 5. FER과 E_b/N_o 의 관계
Fig. 5. The relation of FER and E_b/N_o

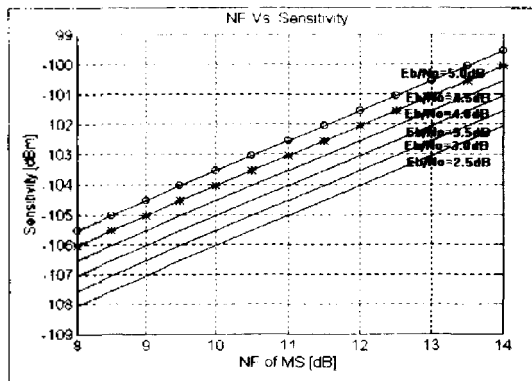


그림 6. 수신기 감도와 잡음지수와의 관계
Fig. 6. The relation of Sensitivity and NF

bps일 때 FER 0.05를 만족시키기 위한 시스템 잡음지수는 10.4dB이다. 시스템 잡음지수에 따른 수신기잡도를 그림 6에 나타내었다.

위의 결과에서 보는바와 같이 시스템 잡음지수는 수신 성능에 직접적으로 영향을 주며, 식(6)으로부터 수신기의 세 번째 소자까지가 시스템 잡음지수를 주로 결정한다. 따라서 수신기 주요소자의 잡음지수와 이득에 따른 전체 시스템 잡음지수와 수신성능을 식(6), 식(15), 식(13)으로부터 계산하면 표 2와 같다.

표 2. NF와 E_b/N_t 와 FER과의 관계
Table 2. The relation of NF, E_b/N_t and FER

ANT NF	LNA NF	Mix NF	Total NF	E_b/N_t	FER
3dB	1.5	8	8.2306	6.3376	0.138e-7
		9	8.3689	6.2083	0.297e-7
		10	8.533	6.0442	0.763e-7
		11	8.728	5.8492	0.224e-6
	2.0	8	8.9564	5.6208	0.749e-6
		9	9.3789	5.1983	0.606e-5
		10	9.6064	4.9708	0.174e-4
		11	9.7594	4.8178	0.345e-4
	2.5	8	10.2806	4.2966	0.758e-4
		9	10.3619	4.2153	0.433e-3
		10	10.4663	4.1109	0.667e-3
		11	10.5922	3.9850	0.107e-2
3.0	8	10.7423	3.8349	0.21e-2	
	9	11.0299	3.5503	0.57e-2	
	10	11.0954	3.4818	0.739e-2	
	11	11.1838	3.3934	0.103e-1	
3.5	8	11.2906	3.2864	0.155e-1	
	9	11.4189	3.1583	0.251e-1	
	10	11.5636	2.9136	0.642e-1	
	11	11.7228	2.8544	0.81e-1	
4.0	8	11.7994	2.7778	0.1087	
	9	11.8924	2.6848	0.1584	
	10	12.0041	2.5731	0.2430	
	11	12.041	2.5731	0.2430	
4.5	8	12.2187	2.3585	0.5716	
	9	12.2709	2.3063	0.7048	
	10	12.3385	2.2387	0.9250	
	11	12.4207	2.1565	1.0000	
5.0	8	12.5198	2.0674	1.0000	
	9	12.7109	1.8663	1.0000	
	10	12.7575	1.8197	1.0000	
	11	12.8179	1.7593	1.0000	
5.5	8	12.8917	1.6855	1.0000	
	9	12.9807	1.5965	1.0000	

IV. 단말기 시험 결과

시뮬레이션을 근거로 단말기를 제작한 다음 그림 7과 같이 시험 장치를 구성하였다. 수신 감도, 단일톤 둔감도, 상호변조 스푸리어스 응답감쇠, 그리고 각 부호율에 대하여 통화채널(Traffic)의 E_b/N_t 를 가변시키면서 프레임 오류를 측정하였다. 사용된 장비로는 이동국 시험장비인 HP8924C, 신호발생기(Signal Generator), 가변감쇠기(Attenuator), 결합기(Combiner) 등을 사용하였다. 측정시 시험장치상의 손실 즉, HP8924C-Attenuator-Combiner-Duplexer-Test phone 사이에는 14.5dB, Signal generator-Combiner-Duplexer-Test phone 사이에는 15.5dB로 경로

손실이 측정되었다. 상호 변조 왜곡(IMD)과 단일본 둔감도를 시험할 때는 HP8924C는 개방 루프 전력 제어만 지원하므로 출력을 -70dBm으로 그이하의 전력은 가변 감쇠기로 조절하였다. AWGN시험시에는 C/N=-1로 고정시키고, E_b/N_t 를 측정하였다. 그리고 단말기의 수신감도를 측정한 결과 -105dBm이었다.

1. 부가성 백색잡음(AWGN)하에서 순방향 통화채널 시험
 표 3~표 6 그리고 그림 8~그림 11은 각 부호율에 대하여 통화채널의 E_b/N_t 와 프레임오율과의 관계를 그림 7과 같이 구성하여 C/N을 고정시킨 상태에서 통화채널의 E_b/N_t 를 변화시키면서 시험한 결과이다. IS-98-A의 최소 규격은 측정치와 비교를 위해 나타내었다. 이 때 프레임 오율을 측정하기 위해 전송하는 통화채널의 속도는 각각 9600, 4800, 2400, 1200bps이다. 측정 결과에서 보듯이 현 단말기의 통화채널의 E_b/N_t 의 마진은 약 1dB이다. 그리고 두 개의 신호발생기는 500 정합을 하였고, AWGN은 시험 장비에서 지원이된다.

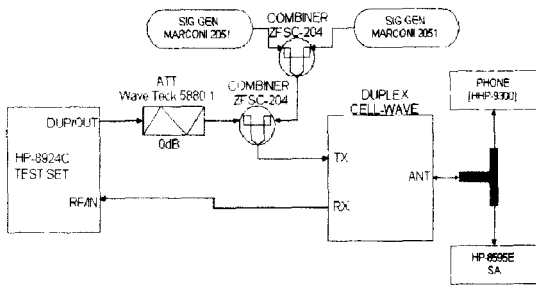


그림 7. 시험 구성도
 Fig. 7. Test configuration

1-1. 9600bps 순방향 통화채널

표 3. AWGN하에서 순방향 통화채널에 대한 시험변수
 Table 3. The test parameter of forward traffic channel under AWGN

파라미터	단 위	시 험
\hat{I}_α / I_{oc}	dB	-1
$\frac{Pilot E_c}{I_\alpha}$	dB	-7
$\frac{Traffic E_c}{I_\alpha}$	dB	가변
I_{oc}	dBm/1.23MHz	-74
Date Rate	bps	9600
Traffic E_b/N_t	dB	가변

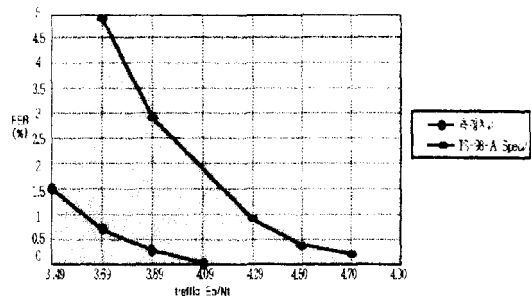


그림 8. 9600bps에서의 E_b/N_t 와 FER의 관계
 Fig. 8. Relation of E_b/N_t and FER in 9600bps

1-2. 4800bps 순방향 통화채널

표 4. AWGN하에서 순방향 통화채널에 대한 시험변수
 Table 4. The test parameter of forward traffic channel under AWGN

파라미터	단 위	시 험
\hat{I}_α / I_{oc}	dB	-1
$\frac{Pilot E_c}{I_\alpha}$	dB	-7
$\frac{Traffic E_c}{I_\alpha}$	dB	가변
I_{oc}	dBm/1.23MHz	-74
Date Rate	bps	4800
Traffic E_b/N_t	dB	가변

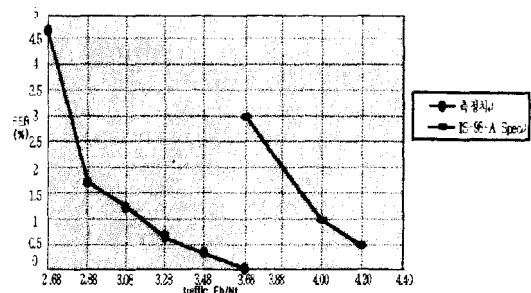


그림 9. 4800bps에서의 E_b/N_t 와 FER의 관계
 Fig. 9. Relation of E_b/N_t and FER in 4800bps

1-3. 2400bps 순방향 통화채널

표 5. AWGN하에서 순방향 통화채널에 대한 시험변수
 Table 5. The test parameter of forward traffic channel under AWGN

파라미터	단 위	시 험
\hat{I}_α / I_{oc}	dB	-1
$\frac{Pilot E_c}{I_\alpha}$	dB	-7
$\frac{Traffic E_c}{I_\alpha}$	dB	가변
I_{oc}	dBm/1.23MHz	74
Date Rate	bps	2400
Traffic E_b/N_t	dB	가변

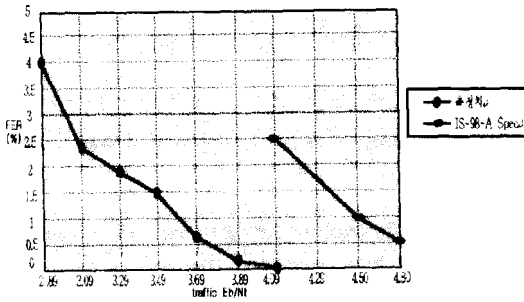


그림 10. 2400bps에서의 E_b/N_t 의 FER의 관계
Fig. 10. Relation of E_b/N_t and FER in 2400bps

1-4. 1200bps 순방향 통화채널

표 6. AWGN하에서 순방향 통화채널에 대한 시험변수
Table 6. The test parameter of forward traffic channel under AWGN

파라미터	단 위	시 험
$\hat{I}_{\alpha} / I_{\alpha}$	dB	-1
$\frac{Pilot E_c}{I_{\alpha}}$	dB	-7
$\frac{Traffic E_c}{I_{\alpha}}$	dB	가변
I_{α}	dBm/1.23MHz	-74
Date Rate	bps	1200
Traffic E_b/N_t	dB	가변

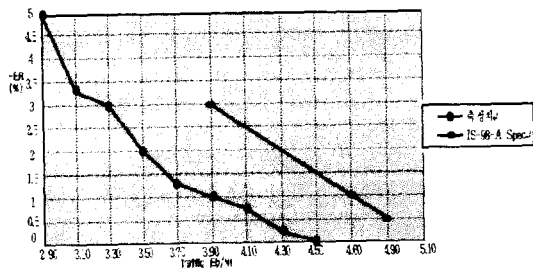


그림 11. 1200bps에서의 E_b/N_t 와 FER의 관계
Fig. 11. Relation of E_b/N_t and FER in 1200bps

2. 단일톤 둔감도에 대한 시험

수신기의 단일톤 간섭억제 최소 성능 시험을 위한 최소 규격은 프레임 오류율 1%로 규정하고 있다. 프레임 오류율 측정을 위해 9600bps의 통화채널을 전송하였다. 제밍 신호는 중심 주파수로부터 $\pm 900\text{kHz}$ 떨어진 간섭톤을 이용하였다. 이 시험에서는 Traffic E_b/N_t 를 3.4 dB로 고정하였다. 표 7에 시험 파라메타, 그림 12에 측정결과를 도시하였다.

3. 상호변조 스퓨리어스에 대한 시험

LNA에서 IMD가 가장 중요한 변수라는 사실을 검증

표 7. 단일톤 둔감도에 대한 파라메타
Table 7. Parameter of single tone desensivity

파라미터	단 위	시험 1	시험 2
Tone offset from Carrier	kHz	900	-900
Tone Power	dBm	가변	
\hat{I}_{α}	dBm/1.23MHz	가변	
$\frac{Pilot E_c}{I_{\alpha}}$	dB	-7	
$\frac{Traffic E_c}{I_{\alpha}}$	dB	-15.6	

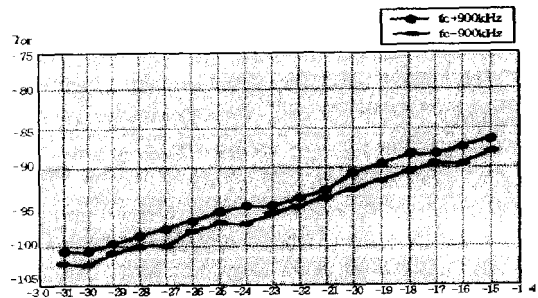


그림 12. 단일톤 둔감도 특성
Fig. 12. Characteristics of single tone desensivity

하기 위해 이 시험에서는 LNA를 항상 ON시킨 경우와 LNA를 ON/OFF시킨 경우 두 가지로 나누어 시험 하였다. 표 8은 상호변조에 의한 스퓨리어스 응답감쇠 시험에 대한 파라메타를 나타냈다.

표 8과 같이 시험 파라메타를 설정하면 제 3고조파는

표 8. 상호변조에 의한 스퓨리어스 응답감쇠 시험 파라메타
Table 8. Parameters of spurious response by intermodulation

		Mobile Station Class II and III	
파라미터	단 위	시험1	시험2
Tone1 offset from Carrier	kHz	+900	-900
Tone1 Power	dBm	가변	
Tone2 offset from Carrier	kHz	+1700	-1700
Tone2 Power	dBm	-43	
\hat{I}_{α}	dBm/1.23MHz	가변	
$\frac{Pilot E_c}{I_{\alpha}}$	dB	-7	
$\frac{Traffic E_c}{I_{\alpha}}$	dB	15.6	

중심주파수로부터 $\pm 100\text{kHz}$ 이격된 주파수에서 나타나고 제 5고조파는 중심주파수로부터 $\pm 700\text{kHz}$ 에 나타난다. CDMA 통과 대역 주파수가 $\pm 615\text{kHz}$ 이므로 통과 대역내에 존재하는 스퓨리어스항은 제 3고조파 뿐이다. 시험 결과를 최소규격과 함께 그림 13과 그림 14에 나타내었다.

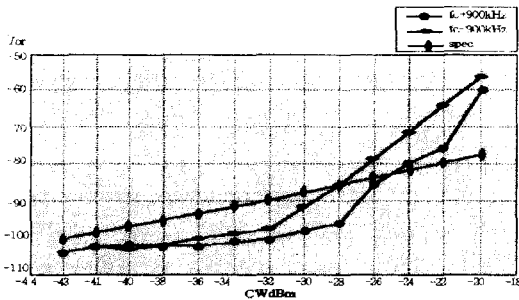


그림 13. IMD특성 (LNA ON)
Fig. 13. Characteristics of IMD (LNA is always ON)

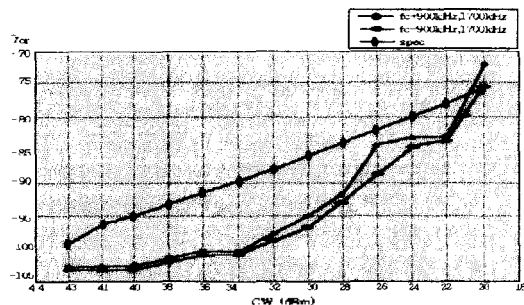


그림 14. IMD특성 (LNA ON/OFF)
Fig. 14. Characteristics of IMD (LNA is ON/OFF)

위 그림 13에 나타난 바와 같이 시험 결과 그래프는 CW가 -28dBm 보다 큰 부분에서 최소 규격과 많은 차이를 보이고 있는데, 이러한 원인은 CW가 1dB 증가시 3차 고조파는 3dB 씩 증가하기 때문이다.

LNA ON point는 -89dBm 이고, LNA OFF point는 -83dBm 이다. 이 결과에서 보듯이 CW가 크게 들어오는 부분에서는 단말기 성능이 크게 개선되었다.

V. 결 론

본 논문에서는 CDMA용 이동국 시스템의 고주파 수신부를 구현하기 위한 시스템 파라메타에 대하여 이동국 최소 규격인 IS-98-A를 기준으로 고찰하였으며, 이 규격을 만족시키기 위한 수신감도와 잡음지수, 프레임 오율과 비트 오율 관계를 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 이동국의 수신감도에 적합한 수신기의 최대 잡음지수는 월캄사에서 언급하는 규격보다 3dB 정도 여유를 갖는 약 11dB 를 나타내었으며, 이러한 결과

에 근거하여 전체 잡음 지수에 크게 영향을 미치는 저잡음 증폭기나 믹서의 잡음 지수를 표 2에서와 같이 구할 수 있었다. 개발된 단말기의 시험 데이터와 시뮬레이션 결과를 적용하여 각 부호율에 대한 통화채널의 Eb/Nt와 프레임 오율과의 관계를 통화 채널속도 9600, 4800, 2400, 1200bps로 가변하여 시험한 결과는 9600bps에서 통화 채널의 Eb/Nt가 3.89일 때 프레임 오율이 IS-98-A에서 정한 규격은 3%인 것에 비하여 약 2.8%가 낮은 0.2%로 나타났으며, 통화 채널속도 4800, 2400bps에서 Eb/Nt를 각각 3.68과 4.09로 주었을 때 최소 규격에 비하여 3% 낮은 프레임 오율을 나타내었다. 그리고 1200bps에서는 Eb/Nt가 3.90인 점에서 2%차를 보였으며, 통화 채널속도를 다르게 한 각각의 모든 경우에서 IS-98-A 표준 규격내에 측정된 프레임 오율이 나타남을 알 수 있었다. 단일톤 등감도에 대한 시험에서는 제밍 pwr에 대한 수신전력을, 중심 주파수로부터 $\pm 900\text{kHz}$ 떨어진 간섭톤을 이용하여 측정된 결과 두 주파수가 각각 비슷하게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 LNA에서 IMD가 가장 중요한 변수라는 사실을 검증하기 위한 상호변조 스퓨리어스에 대한 시험에서는 LNA를 항상 ON 시킨 경우와 LNA를 ON/OFF 시킨 경우 두 가지로 나누어 시험 하였다. 두 경우 모두 CW가 크게 들어오는 부분에서는 최소 규격보다 단말기 수신 성능이 크게 개선됨을 알 수 있었다. 이러한 시험 결과로 보아 PCS의 경우 데이터속도가 14,400bps까지 높아지므로 상대적으로 처리이득이 떨어질 것이다. 이를 보상하기 위해서는 대역폭을 넓혀 주어야 하지만 현재 PCS규격안은 셀룰라와 같은 대역폭을 사용하도록 되어 있으므로 셀룰라 단말기 보다 낮은 잡음지수로 설계하여 최적화 시켜야함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김남수, "DS/CDMA 이동국 RF 수신 시스템의 설계에 관한 연구", 한국통신학회지 제 20권 제 4호, pp. 1110-1120 Jan. 1995.
2. K. Gilhousen. et al. "On the Capacity of a Cellular CDMA System", IEEE Trans. on Veh. Tech. VT-40. pp. 301-312. May. 1991.
3. M. Heath. P. Newson. "On the capacity of spread spectrum CDMA for mobile radio", IEEE VTC'92. Denver. co. pp. 985-988, May. 1992.
4. 장익수외, "PCS기지국 RF송수신부의 설계 및 성능평가", TELECOMMUNICATIONS REVIEW. 1995. Vol., No. 6.
5. 박종안외, "CMS에서 전력제어를 위한 AGC의 성능개선에 관한 연구", 한국 통신학회 광주 전남 학술 발표회 논문집, pp. 8-15 June. 1996.
6. Chris Bowick. "RF Circuit Design", Howard. Sams & Co., Inc ISBN: 0-672-21868-2
7. Qualcomm. CDMA System Engineering Training Handbook. April, 1993.
8. Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers An-

alysis and Design, Prentice-Hall pp. 139-153. 1984.

- 9. Stephen A. Mass, Microwave Mixers, 2nd Ed. ARTECH HOUSE. pp. 97-119. 1993.
- 10. Gary A BReed. Low Noise Design Handbook. ARGUS. pp. 17-20 1994.
- 11. La Jolla, Recommended Minimum Performance Standards for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Mobile Stations, TIA/EIA/IS-98-A, Jan. 1996.
- 12. Dan Pleasant, "Practical Simulation of Bit Error Rates", Applied Microwave and Wireless, Winter 1994, pp. 65-76.
- 13. M. C Jeruchim. "Techniques for Estimating the Bit Error Rate in the Simulation of Digital Communication System". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Nov. 1973, pp. 1325-1328
- 14. R. C. Dixon, Spread Spectrum Systems with Commercial Applications, 2nd Ed. Wiley Inter Science. pp. 18-59, 1994.

▲박 종 안(Jongan Park)



1975년:조선대학교 공과대학 전자공학과, 공학사

1986년:조선대학교 대학원 전기공학과, 공학박사

1983년~1984년:미국 Massachusetts 주립대학교 전기&전자공학과 객원교수

1990년~1991년:영국 Surrey대학 전기 & 전자공학과 객원교수

1975년~현재:조선대학교 공과대학 전자공학과 교수

※주관심분야: 디지털신호처리, Vision 시스템, 패턴인식

▲천 종 훈(Jong Hun Chun) 1964년 7월 26일생



1988년 2월:조선대학교 전자공학과 (학사)

1990년 2월:조선대학교 대학원 전자공학과(석사)

1996년 2월:조선대학교 대학원 전기공학과(박사)

1991년 10월~1994년 10월:맥슨전자 기술연구소 연구원

1994년 11월~현재:현대전자 통신연구소 연구6실 PCS 이동국 H/W 팀장