

CDMA 이동국용 수신기의 상호변조 스퓨리어스에 의한 수신성능 저하와 제3고조파점의 설계에 관한 연구

正會員 金南秀*

A Study on the Receiver Performance Degradation due to the Intermodulation Spurious and the Design of the 3rd order Intercept Point

Nam-Soo Kim* Regular Member

이 논문은 '94~'95학년도 청주대학교 학술연구조성비(특별과제)에 의하여 연구되었음.

要 約

본 논문에서는 CDMA 시스템의 성능을 분석할 때 항상 이상적으로 가정하였던 고주파부의 비직선성에 의한 시스템 성능저하를 고려하였다. 이러한 비선형성으로 생기는 상호변조특성으로 말미암아 CDMA 통과 대역내에 스퓨리어스 항이 생기고, 이 스퓨리어스 항과 희망파 상호간의 간섭에 의한 시스템의 성능저하를 분석하였다. 시뮬레이션 결과 Eb/No의 값이 7dB인 경우를 비선형성이 없을때는 프레임 오류율이 1.90×10^{-10} 인데, 제3고조파 차단점이 -5dBm과 -10dBm으로 작아짐에 따라서 프레임 오류율이 각각 2.49×10^{-9} 과 5.74×10^{-4} 으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 그리고 CDMA 이동국의 최소규격(IS-98)을 만족시킬수 있는 비직선성 파라메타인 제3고조파 차단점을 유도하였다. 시뮬레이션 결과 수신기의 잡음지수가 8dB인 경우, 이동국 제1형은 제3고조파 차단점이 -9.4dBm, 제2.3형인 경우에는 -13.9dBm을 얻었다. 이 결과는 CDMA 이동국 고주파부의 설계시 직접 활용이 가능하다.

ABSTRACT

In this paper, the performance degradation because of the nonlinearity characteristics of the receiver RF part, which is usually considered ideal for the CDMA performance analysis was considered. This intermodulation due to the receiver nonlinearity causes spurious term in the CDMA passband. And the performance degradation caused by the interference between the intermodulation spurious term in the CDMA passband and the desired signal was analyzed. The FER(Frame Error Rate) is 1.90×10^{-10} without system nonlinearity under given Eb/No 7dB. But according to the decrease of the 3rd order intercept point from -5dBm to -10dBm, the FER are increased to 2.49×10^{-9} and 5.74×10^{-4} respectively. And the 3rd order intercept point, one of the nonlinear

* 청주대학교 정보통신공학과

論文番號 : 94325-1119

接受日字 : 1994年 11月 19日

parameters, to satisfy the minimum performance of a CDMA mobile station(IS-98) was derived. From the simulation the 3rd order intercept point was -9.4 dBm and -13.9 dBm with the receiver noise figure 8 dB for a mobile station type1 and type2&3 respectively. This simulated results are directly applicable to design a receiver for a CDMA mobile station.

I. 서 론

이동통신 가입자의 급증과 함께 애널리로그 시스템의 용량 한계는 새로운 디지털 이동통신 방식의 도입을 서두르게 되었다. 특히 북미에서는 TDMA(Time Division Multiple Access)방식뿐만 아니라 DS/CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access, 이하 CDMA로 표기)방식도 디지털 이동통신 방식의 잠정표준으로 등장하게 되었다⁽¹⁾.

제한된 스펙트럼 대역폭내에서 가입자 용량이 애널리로그 방식의 10 내지 20배^(2,3)에 달하는 장점을 갖는 CDMA 이동통신 방식은 미국의 켈컴사를 시작으로 모토로라, AT&T, Northern Telecom등의 회사들이 현재 개발에 박차를 가하고 있으며, 국내에서도 상용화를 서두르고 있다.

최근 CDMA 방식의 용량 시뮬레이션과 성능에 관한 이론적 분석이 매우 활발해지고 있다^(4,5). 그러나 지금까지 발표된 대부분의 논문들은 CDMA 시스템의 성능분석시 수신기의 고주파부에서 발생하는 성능 저하요소는 무시하고 기저대역의 신호처리부 및 채널에서 발생하는 통신 품질 저하등을 파라메타로 하여 수신 성능을 분석하고 있다. 그러나 실제 구현시에는 이상적으로 가정된 고주파부는 구현할 수 없을 뿐만아니라, 어느정도 이상적인 성능을 내기 위해서는 크기가 커지고, 소모전력이 매우 크며, 가격이 매우 높아진다. 이 점은 휴대형 이동통신 경우에는 매우 불리한 요소로 작용한다.

따라서 이 논문에서는 CDMA 수신기 고주파부의 비선형 특성에 의하여 발생하는 시스템 성능저하를 분석하였는데, 비선형성에 의하여 상호변조 현상이 일어나고 상호변조로 발생된 스퓨리어스 항들에 의한 성능저하를 시뮬레이션 하였다. 그리고 이 시뮬레이션 결과를 이용하여 이동통신 최소규격인 IS-98을 만족시키는 제3고조파 차단점(3rd order Intercept Point)을 유도하고자 한다.

본 논문은 제2장에서 CDMA 수신기의 일반적인 구

성도를 서술하고 수신성능을 계산하기 위한 이론적 수식을 이제까지 알려진 여러 수식들을 조합하여 유도하고, 제3장에서는 CDMA 시스템의 오율, 이동통신 잡음지수와 신호대 잡음비, 스퓨리어스로 발생하는 제3고조파항에 의한 잡음지수 변화, 그리고 고주파부의 이득과 제3고조파 차단점등을 시뮬레이션 하였다. 마지막으로 제4장에서는 시뮬레이션에 의한 결과를 검토하고 결론을 맺었다.

II. CDMA 수신기의 구성 및 상호변조 스퓨리어스

CDMA 직접 확산(DS/CDMA)방식에 사용하고있는 수신기의 구성은 수신된 신호를 기저대역으로 내리기 위한 고주파부와 기저대역으로 주파수를 내린후 디지털 신호처리하는 디지털부로 나눌 수있다. 디지털 신호처리부는 PN(Pseudo Noise)코드 복조회로와 디지털 복조부, 디인터리버, 길잡이 복호부, 음성복호부등으로 구성되어 있으며, 실제 수신기 구현시에는 디지털 신호처리부를 여러개 두어 페이딩에 의한 신호저하를 더욱 개선하는 레이크 수신기(Rake receiver)를 사용한다.

2.1 CDMA 수신기(Receiver) 구성도

CDMA 수신기는 애널리로그 수신기와 비교할때 고주파 신호를 기저대역으로 변환 시켜 주는 기능은 동일 하지만, 실제 원하는 시스템의 성능을 내기 위해서는 각 구성 디바이스의 규격이 애널리로그 시스템 구성 디바이스의 규격과 상이하⁽⁶⁾. 특히 CDMA 신호는 송신대역폭이 현재 사용중인 애널리로그 방식의 송신대역폭과 다르고 안테나로 수신되는 전력도 애널리로그와는 상이하며, 수신품질은 애널리로그가 수신왜율 SINAD(Signal+noise+distortion to noise+distortion ratio)로 측정하는데 비해 CDMA 방식에서는 프레임 오율 FER(Frame Error Rate)로 측정한다.

그림1은 CDMA 수신기의 블럭도를 간단하게 표현하

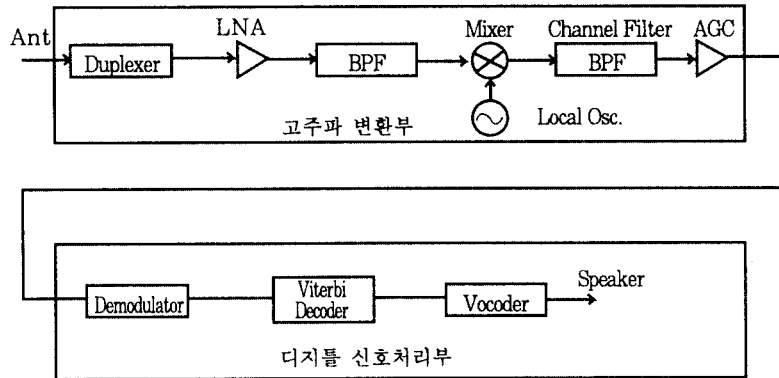


그림 1. CDMA 수신기 블록도
Fig. 1. Block Diagram for CDMA Receiver

였다. 실제 시스템을 구현할 때에는 중간주파수등 기타의 문제를 고려하여 2중 슈퍼헤테로다인 수신기로 구성하는 것이 일반적 이지만, 여기서는 수신기에 사용된 각 디바이스는 종속연결(Cascade)된 특성으로 볼 수 있으므로 시스템을 단순화하여 나타내었다.

CDMA 송신부에서 발생하는 신호는 BPSK로서 다음 식(1)과 같다⁽⁸⁾.

$$S_k(t) = \sqrt{2P} c(t) \cos(\omega_c t + \phi_k(t)) \quad (1)$$

여기서 P 는 신호전력이고, ω_c 는 송신 각주파수, $\phi_k(t)$ 는 입력 데이터에 따른 위상각으로서 데이터 '1' 및 '0'에 따라서 2가지의 위상각을 갖는다. 그리고 $c(t)$ 는 PN 코드로서 확산데이터이다.

수신기의 비선형성은 상호변조특성으로 나타나며, 상호변조특성은 무선채널에서 발생하는 다중파 및 페이딩의 영향이 없을때를 기준으로하여 측정하므로⁽⁷⁾, 안테나로 수신되는 신호는 다중파 및 페이딩의 영향을 무시하고 다음과 같이 표현할 수있다.

$$r_k(t) = n(t) + A_k \sqrt{2P} c(t - T_d) \cos(\omega_c t + \phi_k(t - T_d) + \varphi) \quad (2)$$

여기서 $n(t)$ 는 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)이고, A_k 는 채널에서 발생하는 감쇄이다. 그리고 $\phi_k(t - T_d)$ 는 T_d 만큼 시간지연된 신호위상이며, φ 는 잡음등에 의하여 발생하는 랜덤위상이다.

2.2 길쌈부호화와 시스템 오율

한편 CDMA 방식에서 사용하는 동기채널(Sync Channel), 호출채널(Paging Channel), 그리고 통화 채널(Traffic Channel)은 길쌈부호(Convolutional Code)화 되어 전송된다. 그런데 이동국에서 송신하는 역방향 채널(Reverse Channel)과 기지국에서 송신하는 순방향 채널(Forward Channel)인 경우 길쌈 부호화기가 각각 상이하다. 이 논문에서는 이동국의 상호변조특성에 의한 영향을 고려하고자 하므로 이동국이 수신하는 순방향 길쌈 부호화에 관하여 설명한다.

순방향 채널에서 길쌈 부호화는 부호율(r)이 1/2이고 구속장(k)이 9 이다. 길쌈부호의 생성함수(generator function)는 $g_0 = 753$ (8진수)와 $g_1 = 561$ (8진수)이다. 부호율 1/2가 의미하는 바는 각각 1개의 비트가 입력되어 비트당 2개의 코드심볼이 생성됨을 의미한다. 따라서 코드심볼은 생성 함수 g_0 에 의해 부호화된 코드심볼(c_0)이 먼저 전송되고, 생성함수 g_1 에 의해 부호화된 코드심볼 (c_1)이 다음에 전송된다. 초기의 길쌈부호기 상태는 모두 0 인상태이다. 초기화 후에 처음 전송되는 코드심볼은 생성함수 g_0 에 의해 부호화된 코드심볼이다.

데이터 시퀀스 지연길이는 $k-1$ 이 된다. 다음 그림2는 구속장이 9이고, 부호율이 1/2인 순방향 길쌈 부호기이다⁽¹⁾.

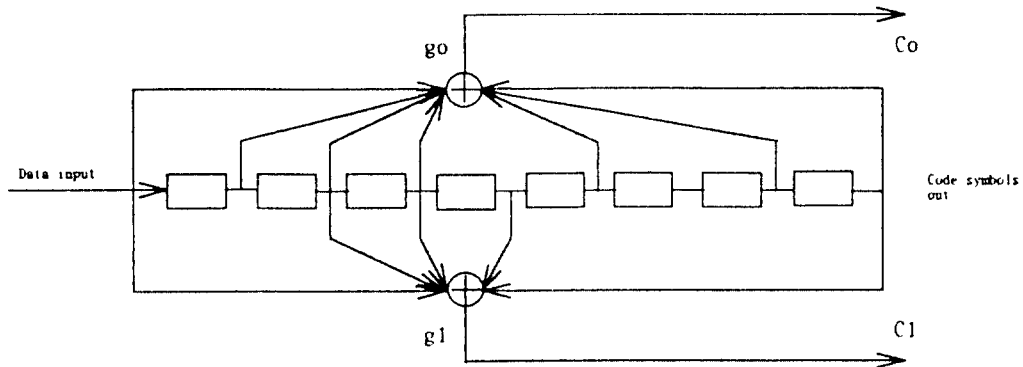


그림 2. 구속장 $k = 9$, 부호율 $r = 1/2$ 인 순방향 길쌈부호화기
 Fig. 2. Convolutional Encoder for forward Link ($k=9, r=1/2$)

CDMA 시스템에서 수신기의 상호변조특성은 외부의 재밍 신호 즉, 간섭신호가 존재할때 프레임 오율(FER : Frame Error Rate)로 정해진다. 다음 2.4절에서 자세히 언급하겠지만 상호변조특성을 측정하기 위해서 사용하는 채널 조건은 부가성 백색잡음 환경이므로 부가성 백색잡음하에서 프레임 오율을 고려하자. 이미 여러 문헌에서 길쌈부호화된 BPSK(Binary PSK)신호의 오율을 구해놓았으므로 이것을 이용하면 코우히어런트 시스템의 비트오율 P_b 와 블럭오율 P_E 의 상한(Upper Bound)는 각각 다음식과 같다^(9,10).

$$P_b < \frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1, \nu} = \exp(-E_c / N_0) \quad (3)$$

$$P_E < B T(D, N) \Big|_{N=1} \quad (4)$$

여기서 E_c / N_0 는 $r E_b / N_0$ 이고, E_b / N_0 는 정보 비트에너지 대 잡음전력밀도의 비이며, E_c / N_0 는 채널 심볼에너지 대 잡음전력밀도의 비이다. $r = k/n$ 으로서 코드율(Code rate)이다. 그리고 $T(D, N)$ 은 길쌈부호기의 전달함수(Transfer Function)이며, B는 프레임 을 구성하고있는 비트수이다.

2.3 신호대 잡음비와 시스템 잡음지수

정보비트에너지 대 잡음전력밀도의 비 E_b / N_0 와 신호대 잡음비와의 관계는 다음식으로 주어진다⁽¹¹⁾.

$$\frac{C}{N} = \frac{R E_b}{W N_0} \quad (5)$$

여기서 C는 신호전력이고, N는 잡음전력이다. R은 정보비트의 속도이고, W는 확산대역폭이다.

또한 C/N과의 관계는 다음식으로도 표현할 수있다⁽¹²⁾.

$$\frac{C}{N} = \frac{P}{K T W F} \quad (6)$$

여기서 P는 신호전력이고, K는 볼츠만 상수로서 $1.38 * 10^{-23} \text{ joules} / ^\circ K$, T는 절대온도로서 상온에서 $290^\circ K$, W는 잡음대역폭, F는 잡음계수(Noise Factor)이다. 물론 잡음계수 F와 잡음지수(Noise Figure) NF(dB)와는 다음 식(7)과 같은 관계가 있다.

$$NF (dB) = 10 \text{ Log}(F) \quad (7)$$

그러므로 위의 두식(5)와 (6)으로부터 잡음계수는 다음 식(8)과 같이 유도할 수 있다.

$$F = \frac{P}{K T W} \frac{N_0}{E_b} \frac{W}{R} \quad (8)$$

2.4 상호변조 스퓨리어스

(Intermodulation Spurious)

CDMA 시스템의 성능에 가장 영향을 많이 미치는 외부신호는 재밍 간섭신호이다. 특히 이 재밍신호가 통과

대역내에 있을때는 그 영향이 직접 미치게 된다. 그러나 재밍 간섭신호가 CDMA 통과대역외에 있어도 수신기의 비직선성에 의하여 그 간섭신호들이 상호변조되어 발생된 스퓨리어스 성분이 통과대역내에 존재하게 되면 역시 마찬가지로 CDMA 수신성능을 저하시킨다.

이 두개의 재밍 간섭신호에 의하여 발생하게 되는 상호변조 스퓨리어스 주파수들은 수신기의 비선형소자에 의한것이다. 만일 수신기에 비선형소자가 없다면 상호변조 스퓨리어스는 발생되지 않는다. 실제로 비선형성이 가장 많은 디바이스는 혼합기가 대표적이며, 그외에도 증폭기등의 디바이스가 있다.

생성된 스퓨리어스 항중에서 채널필터의 통과대역내에 발생된 스퓨리어스는 회망 신호에 직접적으로 간섭을 주어서 시스템의 성능에 영향을 미치게 되는데, 일반적으로 스퓨리어스항중 가장 크기가 큰 제3고조파가 회망 CDMA 대역내에 존재하게 되고 간섭을 일으키게 된다.

상호 변조에 의하여 발생된 스퓨리어스항의 크기는 수신기의 제3고조파 차단특성과 다음과 같은 관계가 있다⁽¹²⁾.

$$p_s = S - 2(IP3 - S) \tag{9}$$

여기서 $IP3$ 는 수신기의 제3고조파 출력 차단점(dBm)이고, S 는 간섭신호의 전력(dBm) 그리고 p_s 는 간섭신호에 의하여 발생하는 스퓨리어스 전력(dBm)이다.

이 스퓨리어스 신호는 CDMA 통과대역내에 들어왔을 때 외부의 재밍간섭에 의한 영향과 동일하다. 이때의 정보비트 에너지대 잡음전력밀도의 비 E_b / N_t 는 잡음 전력밀도가 부가성 백색 잡음에 의한 백색잡음전력밀도 N_0 와 통과대역내에 들어온 스퓨리어스 신호에 의한 스퓨리어스 잡음전력밀도 N_s 의 합이되어 다음과 같이 나타낼수있다.

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{E_b}{(N_0 + N_s)} \tag{10}$$

여기서 스퓨리어스에 의한 간섭잡음 전력밀도는 다음과 같이 쓸수있다⁽⁶⁾.

$$N_s = \frac{P_s}{W} \tag{11}$$

여기서 P_s 는 스퓨리어스전력(Watts)으로서,

$$p_s(dBm) = 10 \times \log(P_s(Watts) \times 10^3) \tag{12}$$

의 관계가 있고, W 는 확산대역폭(Hz)다. 그러므로 전체 잡음전력밀도는

$$\begin{aligned} N_t &= N_0 + N_s \\ &= K T F + \frac{P_s}{W} \\ &= K T F_s' \end{aligned} \tag{13}$$

여기서 F 는 수신기의 잡음계수이며, F_s' 는 통과대역내에 스퓨리어스 주파수가 존재할때 새로운 잡음계수이다. 식(13)으로부터 스퓨리어스신호가 있을때 새로운 잡음지수 NF_s' 는

$$NF_s' (dB) = 10 \log \left(F + \frac{P_s}{K T W} \right) \tag{14}$$

으로 나타낼 수있다. 여기서 P_s 는 식(9) 및 (12)에 나타낸 바와 같이 제3고조파 출력차단점의 함수가 되어 있으므로 수신기의 제3고조파 차단점이 변화하면, 발생하는 스퓨리어스 전력이 변화하고 결국 시스템 잡음지수가 변화한다. 그러므로 식(14)는 제3고조파 차단점의 함수가 된다.

Ⅲ. 수신성능 시뮬레이션 및 제3고조파 차단점 설계

이 장에서는 제2장에서 구한 수식을 이동국 수신부 설계에 직접 적용하여 이동국 수신부 최소규격을 만족시키기 위한 제3고조파 차단점을 설계하자. 이때 시뮬레이션에 적용한 시험 파라메타는 이동국 수신부 최소규격인 IS-98을 이용하고자 한다.

제3고조파 차단점을 설계하기위한 IS-98의 적용항목은 상호변조 스퓨리어스 응답감쇄항목으로서 여기서 일컫는 상호변조 응답감쇄 특성은 두개의 간섭 CW(Continuous Wave)톤이 존재할때 지정된 채널 주파수에서 CDMA 신호를 수신할 수있는 수신기의 성능을 나타낸다. 이 두개의 간섭톤은 지정된 채널 주파수로부터 얼마간 떨어져 있으며, 수신기의 비선형 소자를 통과하면서 제3고조파를 생성하고 생성된 제3고조파는 회망 CDMA 신호대역내에서 간섭을 일으킨다. 그러므로 최소한의 성능을 만족시키는 상호변조 응답감쇄 특성으로부터 제3고조파점을 유도하자. 먼저 CDMA 이동국 최소 권고 규격인 IS-98에서 규정하고있는 상호변조 스퓨리어스 응답감쇄 시험 파라메타는 표1 과 같다⁽⁷⁾.

표 1. 상호변조 스푸리어스 응답감쇄 시험파라메타
Table 1. Test parameters for intermodulation spurious response attenuation

파라메타	단위	이동국		이동국	
		1등급		2등급, 3등급	
		시험1	시험2	시험1	시험2
중심주파수로부터 톤1의 이격	KHz	+ 900	-900	+ 900	- 900
톤1의 전력	dBm	- 40		-43	
중심주파수로부터 톤2의 이격	KHz	+ 1700	- 1700	+ 1700	- 1700
톤2의 전력	dBm	- 40		- 43	
수신 전력 Ior	dBm/1.23MHz	- 102		- 102	
(Pilot Ec)/Ior	dB	- 7		- 7	
(traffic Ec)/Ior	dB	- 15.6		- 15.6	

여기서 수신전력 Ior은 간섭전력이 없을때 이동국 안테나 콘넥타에서 측정된 전력이고, (Pilot Ec)/Ior은 파일럿채널의 PN 칭당 평균 송신에너지와 전체 송신전력의 비이다. 그리고 (Traffic Ec)/Ior은 순방향 트래픽채널의 PN 칭당 평균 송신에너지와 전체 송신전력의 비이다. 이동국의 등급은 송신전력으로 나누는데 이동국 1등급은 1 dBW 부터 8 dBW, 2등급은 - 3 dBW 부터 4 dBW, 그리고 3등급은 - 7 dBW 부터 0 dBW 사이의 송신출력을 갖는다.

그리고 이 시험 파라메타로 프레임 오류를 측정하였을 때 권고하고있는 최소 규격은 프레임 오류가 0.01 이하이다. 여기서 프레임 오류는

$$FER = 1 - (\text{오류없이 수신한 프레임의 수} / \text{전송한 프레임의 수}) \quad (15)$$

로 정의한다. 이 표1에 나타낸 바 와 같이 외부 간섭톤은 중심주파수로부터 +900 KHz 및 +1700 KHz, 그리고 -900 KHz 및 -1700 KHz 이격되어 있으므로 이 두개의 간섭톤으로부터 제3고조파는

$2(F_c \pm 900 \text{ KHz}) - (F_c \pm 1700 \text{ KHz})$ 이므로 중심주파수로부터 각각 +100 KHz 및 - 100 KHz 이격된 주파수에서 나타난다. 그 외의 제5고조파는 중심주파수로부터 -700 KHz 및 +700 KHz에 나타난다.

CDMA 통과대역주파수는 중심주파수 $\pm 615 \text{ KHz}$

(대역폭 1.23 MHz) 이므로 통과대역내 스푸리어스항은 제3고조파 뿐이다. 프레임 오류를 측정하기 위한 시험 측정도는 그림3 과 같다.

이 그림3에서 Ior은 송신 전력밀도이고, I0는 이동국 안테나 입력단자에서 측정된 신호와 간섭전력을 더한 전체 수신 전력밀도이다. 이 측정을 위하여 송신하는 데이터의 속도는 9600 bps이다.

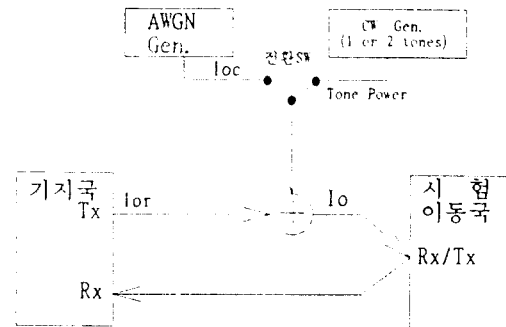


그림 3. 상호변조 스푸리어스 응답감쇄 측정도
Fig. 3. Functional set-up for the intermodulation spurious response attenuation test

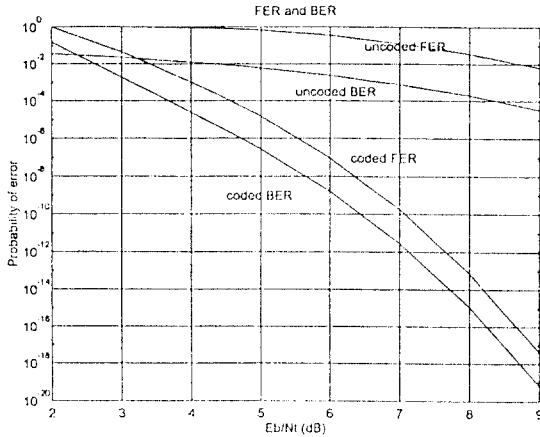


그림 4. CDMA 시스템의 오율특성 (프레임 192비트, 데이터속도 9600 bps인 경우)
 Fig. 4. Error performance of the CDMA system (1 Frame is 192bits., Date rate 9600 bps.)

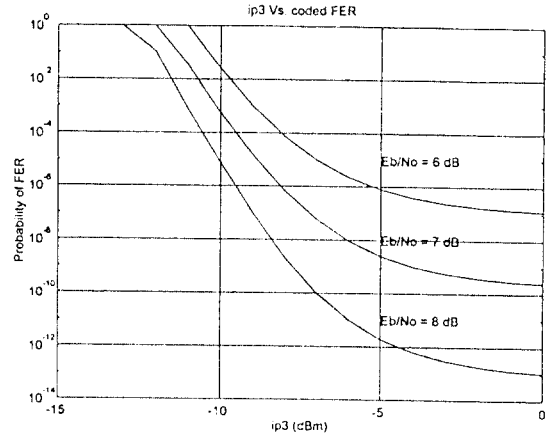


그림 5. 제3고조파 차단점에 의한 시스템 오율특성
 Fig. 5. The 3rd order intercept point and the system performance

CDMA 시스템의 1 프레임의 길이는 20 msec이며, 데이터 속도가 9600 bps인 경우 1 프레임은 192 비트로 구성되어있으므로¹¹⁾, 제2장의 식(3) 및 식(4)를 이용하여 시뮬레이션한 결과는 다음 그림4와 같다. 우리는 길쌈부호화한 프레임 오율의 상한에만 관심이 있지만 이 그림4에서는 길쌈부호화한 비트오율, 부호화하지 않은 비트오율, 그리고 프레임 오율의 상한을 참고적으로 나타내었다.

이 그림4로부터 프레임 오율 0.01을 유지하기위한 평균 비트에너지대 잡음전력밀도의 비 E_b/N_t 는 3.4 dB이다. 물론 여기서 N_t 는 부가성 백색잡음에의한 잡음전력밀도와 스푸리어스항에 의한 스푸리어스 잡음전력밀도의 합이다.

다음 그림5는 제3고조파 차단점에따른 프레임 오율의 변화를 시뮬레이션한 것인데 스푸리어스에 의한 스푸리어스 잡음전력밀도를 식(11)에 의하여 구한 후 프레임 오율(블럭오율)식인 식(4)를 이용하였다. 이때 식(13)의 이동국 잡음계수에 대수를 취한 값인 잡음지수는 일반적으로 가정하는 8 dB [13]로 가정하였다. 그림5에서 보는 바와 같이 E_b/N_o 의 값이 7 dB인 경우를 고찰하면 비선형성이 없는 경우 즉, 제3고조파 차단점이 무한대인 경우의 프레임 오율은 1.90×10^{-10} 인데, 제3고조파 차단점이 -5 dBm과 -10 dBm으로 작아질때 프레

임 오율이 각각 2.49×10^{-9} 과 5.74×10^{-4} 으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그러므로 제3고조파 차단점이 작으면 비선형성이 증가되므로 프레임 오율이 증가하고, 제3고조파 차단점이 커질수록 비선형성이 감소되므로 스푸리어스항의 영향이 없는 프레임 오율에 접근함을 알 수 있다.

그리고 식(8)은 부가성 백색 잡음만이 존재할때에 잡음계수와 E_b/N_o 의 관계를 나타낸 식이나, 스푸리어스항이 존재할때에는 식(10)에 나타낸 바와 같이 N_o 는 N_t 로 대체해야 하고 식(10)의 잡음 계수는 스푸리어스가 있는 경우의 새로운 시스템 잡음계수 F' 이 되므로 E_b/N_t 와 스푸리어스가 있을때의 새로운 잡음지수 NF' 는 식(10)으로부터 그림6과 같은 결과를 얻을 수 있다.

그림4로부터 프레임 오율 0.01인 점의 평균 비트에너지대 잡음전력밀도의 비 E_b/N_t 는 3.4 dB이다. 따라서 표1의 시험파라메타 조건에 따라서 식(8)의 E_b/N_o 대신에 스푸리어스에 의한 간섭이 존재할때의 조건인 $E_b/N_t = 3.4$ dB(식(10))를 대입하여 계산한 이동국의 새로운 잡음지수는 약 13.2 dB로 계산되었다(그림 6).

그림7은 이동국의 잡음지수가 변화할때 새로운 잡음지수와 스푸리어스 전력의 관계를 식(14)를 이용하여 계산한 결과이다. 이 그림7로부터 이동국의 잡음지수가

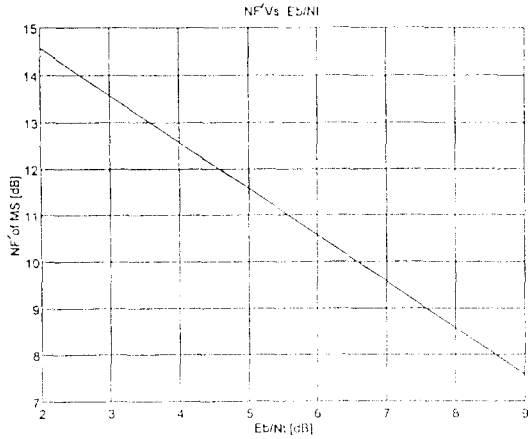


그림 6. 스푸리어스가 존재할때의 새로운 잡음지수 NF'와 E_b/N_t
 Fig. 6. New noise figure with spurious NF' and E_b/N_t

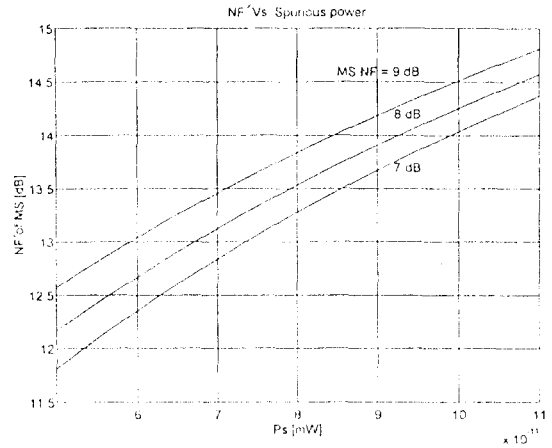


그림 7. 스푸리어스가 존재할때의 새로운 잡음지수 NF'와 스푸리어스 전력
 Fig. 7. New noise figure with spurious NF' and spurious power

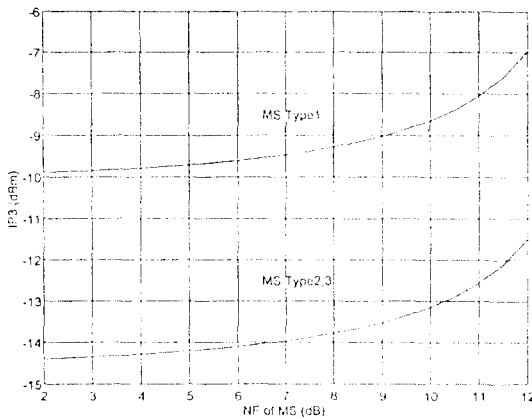


그림 8. 이동국 잡음지수 NF (dB)와 제3고조파 차단점(dBm)
 Fig. 8. Mobile station noise figure(dB) and 3rd order intercept point(dBm)

커지면 상대적으로 NF' 13.2 dB를 유지하기 위한 스푸리어스 전력은 작아지고, 이동국의 잡음지수가 작아지면 스푸리어스 전력은 커짐을 알 수 있다.

한편 간섭이 존재할때의 새로운 잡음지수 NF'와 간섭이 존재하지 않을때의 이동국 잡음계수(F)는 식(14)의 관계가 있다. 그러므로 간섭이 존재하지 않을 경우의

이동국 잡음지수와 제3고조파 차단점과의 관계는 식(9), 식(12) 및 식(14)을 이용하여 그림8에 계산 결과를 나타내었다. 이 그림에서 MS Type1은 제1형 이동국이고 MS Type2,3은 제2형 및 제3형 이동국이다.

IV. 결론 및 검토

이 논문에서는 지금까지 발표된 CDMA 성능분석 논문들에서 무시한 요소인 고주파부의 비선형성에 의한 성능저하를 분석하였다. 분석에 사용된 파라메타는 비선형성에 의하여 발생하는 요소인 상호변조특성을 사용하였으며, 상호변조로 나타나는 통과대역내의 제3고조파가 CDMA 회망파에 직접 영향을 주어서 성능을 저하시키는 것은 알 수 있었다. 실제 적용한 시스템 모델은 CDMA 이동국 수신부였으며 이동국의 최소규격인 IS-98을 만족시키는 제3고조파 차단점을 시뮬레이션 하였다.

비선형성에 의하여 발생하는 시스템의 성능저하는 E_b/N_0 의 값이 7 dB인 경우를 고찰하면 비선형성이 없는 경우 즉, 제3고조파 차단점이 무한대인 경우의 프레임 오류율은 1.90×10^{-10} 인데, 제3고조파 차단점이 -5 dBm과 -10 dBm으로 작아질때 프레임 오류율이 각각 2.49×10^{-9} 과 5.74×10^{-9} 으로 증가하는 것을 알 수 있었

다. 실제로 비선형성에 의해서 발생하는 시스템의 성능 저하를 방지하기 위해서는 제3고조파 차단점을 높여주면 되겠지만 이는 전력소모를 증대시키므로 휴대형 이동국에는 매우 불리한 조건이다.

한편 IS-98 이동국 최소 권고규격을 만족시키기 위한 제3고조파 차단점은 이동국 수신부의 잡음지수의 값에 따라 다르며, 예를들어 제1형 이동국인 경우 이동국 수신부의 잡음지수가 8dB라면, 이동국 최소규격을 만족하기 위한 제3고조파 차단점은 그림8의 결과로부터 이동국 제1형인 경우에는 -9.4dBm, 이동국 제2형 및 3형인 경우는 -13.9dBm이다. 그림8의 결과는 이동국 제1형과 제2, 3형의 제3고조파 차단점은 이동국의 잡음지수와 무관하게 약 4.5dB차이가 나는 것을 보여주고있다.

실제로 이동국의 잡음지수는 제조사마다, 제품마다 다르고 일반적으로 8dB보다도 훨씬작다. 이 경우에는 그림 8의 결과를 이용하여 각 잡음지수가 주어진 조건하에서 제3고조파 차단점을 결정하면 되겠다.

결론적으로 본 논문은 이동국 수신부를 구성할때 고주파부의 제3고조파 차단점을 결정하는데 직접 응용이 가능하다.

참고문헌

1. TIA/EIA, IS-95 Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System, Feb., 1993.
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. Simpson, F., et al, "Direct sequence CDMA power control, interleaving, and coding", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 11, no. 7, pp.1085-1095, Sept., 1993.
5. Higashi, et al, "Combined adaptive rake diversity(ARD) and coding for DPSK DS/CDMA mobile radio", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 11, no. 7, pp.1076-1084, Sept., 1993.
6. W.C.Y.Lee, Mobile communications design fundamentals, 2nd ed. John wiley&sons, ch. 9, 1993.
7. TIA/EIA, IS-98 Recommended Minimum Performance Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Mobile Station, Sept., 1993.
8. R. Ziemer, R. Reterson, Digital Communications and Spread Spectrum Systems, Macmillan Publishing Company, pp.332-333, 1985.
9. B. Skalar, Digital Communications, Prentice-Hall, 1988.
10. A. Viterbi, Principles of Spread Spectrum Multiple Access Communication, Qualcomm, ch. 5, pp.142-148, April, 1994.
11. K. Feher, Digital Communications, Prentice-Hall, 1983.
12. S. Erst, Receiving System Design, Artech House, ch. 4, p.79, 1984.
13. Qualcomm, CDMA System Engineering Training Handbook, Vol. 1 & 2, April, 1993.



金南秀(Nam-Soo Kim) 정회원

1957년 10월 16일생

1981년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 3월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1986년 7월~1994년 2월 : 한국전자통신연구소 무선기술 연구실 선임연구원, 실장역임

1994년 3월~현재 : 청주대학교 정보통신공학과 교수

*주관심 분야 : 디지털 이동통신, 무선시스템