

# AWGN 채널환경에서 AC-Coupling기법을 이용한 Direct-Conversion 수신기의 성능분석에 관한 연구

박성진\* · 김철성\* · 성태경\* · 조형래\*

\*한국해양대학교 전파공학과

## A Study on a Performance Analysis of Direct-Conversion Receiver Using AC-Coupling Method in Additive White Gaussian Noise Channel Environment

Sung-Jin Park\* · Chul-Sung Kim\* · Tae-Kyung Sung\* · Hyung-Rae Cho\*

Dept. Radio & Science in Korea Maritime University

E-mail : radio2629@hanmail.net

### 요 약

현재의 무선통신기기는 다양한 멀티미디어의 제공과 함께 저전력, 소형·경량화, 단말기 가격의 저렴화가 개발의 목표가 되고 있다. 그러나, 기존의 무선통신시스템인 헤테로다윈 방식으로는 사용 부품의 다양성 때문에 소형·경량화 및 부품의 On-Chip 작업에 어려움이 있어 미래형무선통신의 시스템으로는 적합하지 못하다. 이에 현재 연구개발이 진행되고 있는 방식 직접변환(Direct-Conversion)방식이다. 직접변환방식은 무선주파수 대역을 바로 기저대역을 하향변환 하므로써, 부가적인 부품의 사용과 소비전력의 감소에 상당한 이점이 있다. 이에 직접변환방식에 대한 이론적 설명과 함께 현재 무선통신 시스템으로 사용하기 위해 해결해야될 과제인 DC-Offset의 설명과 그 제거방법중의 하나인 AC-Coupling 기법의 시스템 적용으로 인한 시스템의 성능향상을 예측하고자 한다.

### ABSTRACT

Modern wireless communication equipments provides various multimedia and aims at the development of low-power, minimum size and weight, and low-cost implementations. Because of the heterodyne architecture which was invented many decades ago in the wireless communication system using too many components, it was difficult to make it small, compact and On-Chip so it does not proper for future communication. That gives rise a new developing architecture, so called, Direct Conversion. Because The Direct Conversion down-converts the wireless frequency band to baseband directly, it does not need using additive components and has a merit of reduction in power dissipation. We describes the Direct Conversion architecture and DC-Offset, which must be solved, theoretically and predicts system performance enhancement when adopt the AC-Coupling method.

### 1. 서 론

최근의 무선통신기기의 개발추세는 저렴한 가격, 저전력화, 그리고, 사용부품의 간소화로 인한 경량화를 목적으로 한다<sup>[1]</sup>. 기존의 무선통신기기는 헤테로다윈 구조를 채택하여 2개의 믹서와 그에 따른 두 개의 주파수 합성기를 필요로하여 2차 하향변환 구조를 가지고 있었다. 주파수의 하향변환에 따른 소비전력의 손실로 인한 시스템의 저전력화문제와 각 단의 임피던스 정합에 따른 여러 가지 주변소자의 사용으로 소형화에 문제점이

있었다. 그러나, 현재 연구가 진행중인 Direct-Conversion Receiver(DCR)구조는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 받아지고 있다. DCR은 RF(Radio Frequency)주파수를 BaseBand대역으로 한번 하향변환 시키는 구조이다. 그러나, 이러한 구조에서는 현재 사용중인 헤테로다윈 구조에서는 발생하지 않는 LO(Local Osillator)-Leakage에 의해 발생하는 DC(Direct Current)-Offset으로 인하여 믹서의 뒷단을 포화시켜버린다. 따라서, BaseBand신호에서 발생하는 DC-Offset은 원하는 신호의 충분한 증폭을 방해

하여 시스템의 BER에 막대한 영향을 미친다<sup>[1][2]</sup>. 따라서 본 논문은 이러한 DC-Offset의 시스템에 미치는 영향에 대해서 분석해 보고, 현재 제안되고 있는 AC-Coupling 기법을 적용하였을때의 성능을 비교하여 IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000)에서의 적용여부를 확인하고자 한다. II장에서는 DCR 구조와 Heterodyne 구조에 대해서 설명하고, III장에서는 DC-Offset의 개념과 해석을 한다. IV에서는 DC-Offset의 제거방법 중의 하나인 AC-Coupling 기법을 적용한 시스템의 성능을 HP-ADS 시뮬레이션 Tool을 사용하여 분석하였으며, V장의 결론으로 본 논문을 끝맺는다.

## II. 본 론

### 2.1 Direct-Conversion Receiver의 구조

Direct-Conversion Receiver(DCR)이 미래의 무선통신기기의 구조로서, 주목받고 있는 이유는 다음과 같다.

- ① RF주파수 대역에서 직접 IF대역을 거치지 않고, BaseBand대역으로 주파수 하향변환을 하는 방식
- ② 사용소자의 간소화(40%이상 감소)
- ③ 사용소자의 간소화로 인한, 단말기의 소형화 및 저전력화 실현
- ④ RF단의 On-Chip화로 인하여 여러 가지 부가서비스 제공

DCR구조는 다음과 같다.

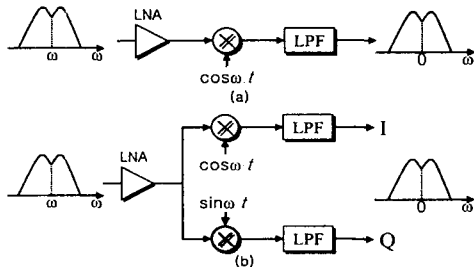


그림 1. 직접변환 구조 (a) 단순 (b) 직교

본 논문에서는 변·복조 방식을 채널의 상태변화에 비교적 강한 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)방식을 채택하였기 때문에 직교변환구조를 채택하였다.

위의 그림1처럼 DCR구조는 RF주파수를 바로 BaseBand주파수로 변환하기 때문에 헤테로다윈의 구조 보다 매우 간단하다.

### 2.2 Heterodyne Receiver

그림2에는 기존의 헤테로다윈 방식을 나타내고 있다.

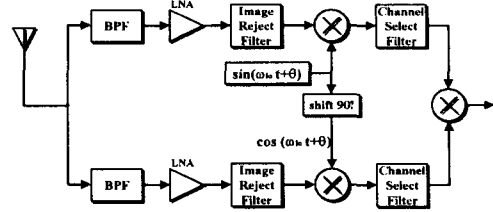


그림 2. Quadrature heterodyne 수신기의 구조

헤테로다윈 구조는 2차 하향변환 구조이기 때문에 DCR에는 없는 이미지 제거 필터와 IF(Intermediate Frequency)단의 추가적인 요소가 들어가게 된다.

## III. DC-Offset의 개념과 이론적 해석

DCR구조는 1차 하향변환으로 BaseBand대역으로 떨어뜨리므로, 헤테로다윈구조에서는 발생하지 않는 DC-Offset이 시스템에 미치는 영향이 매우 크다. III장에서는 이러한 DC-Offset의 이론적 분석을 하고자 한다.

DCR구조에서 발생하는 DC-Offset은 시변 DC-Offset과 시불변 DC-Offset의 두가지 경우로 나눌 수 있다.

### 3.1 시불변 DC-Offset

시불변 DC-Offset은 LO 신호의 누설에 의해서 발생하는데, 이러한 누설 신호가 기판에 의해서 커플링이 되고, RF단과 LO단의 완벽한 Isolation이 이루어지지 않으므로써 발생한다.

그림 3은 이러한 발생을 설명하고 있다.

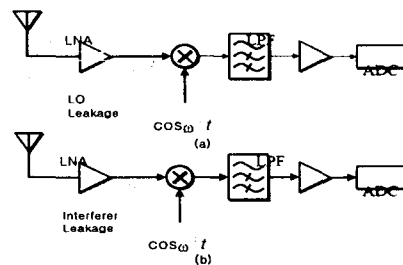


그림 3. Self-mixing (a) 간섭자 (b) LO

RF주파수와 LO주파수가 동일하여 BaseBand의 스펙트럼상에는 DC에서 강한 간섭원이 발생하게 된다. 이러한 현상을 Self-Mixing이라고 한다. 이러한 시불변 DC-Offset은 믹서 다음단의 증폭자

용을 포화시키므로써, Decision을 위한 신호의 레벨까지의 증폭을 하지 못하게 한다. 따라서 시스템 성능에 미치는 영향이 매우 크다.

### 3.2 시변 DC-Offset

시변 DC-Offset의 경우는 위의 시불변 DC-Offset의 경우보다 더욱 심각하다. 그림4는 이러한 시불변 DC-Offset의 발생에 대해서 설명하고 있다.

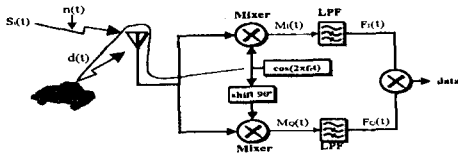


그림 4. 시변 DC-Offset 발생 환경

이러한 시변 DC-Offset은 LO신호의 누설이 안테나를 통해 방사되어지고, 이에 이동체에 반사되어 다시 안테나로 들어오게 된다. 이동체의 속도에 따른 Doppler 효과가 나타나, 반사되어 돌아오는 신호의 주파수는 변이된다. 따라서, 이러한 신호에 의해 발생된 DC-Offset을 시변 DC-Offset이라고 한다.

### 3.3 DC-Offset에 따른 이론적 BER

지금까지 살펴보았듯이 DC-Offset 중에서 가장 심각하게 고려되어야 할 것은 Doppler Shift에 의한 시불변 DC-Offset이다. 이 절에서는 Doppler Shift에 의한 시변 DC-Offset에 AWGN 채널환경을 적용하여 수학적 BER을 구해보고자 한다.

그림에서 송신기로부터 전송되는 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \sin(\omega_c t + \theta_i) \quad (1)$$

여기서  $\omega_c = 2\pi f_c$ ,  $\theta_i = \pi i/2$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ )이다.

따라서 수신되는 신호  $r(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=-N}^N \{s_k(t) + d_k(t) + n(t)\} \quad (2)$$

$(1-k)T_s$ 에서  $kT_s$ 까지를 적분한 상관기를 통과한 각각의 I, Q channel의 신호는 다음과 같게 된다.

$$z_I = \frac{\sqrt{2E_s}}{2\sqrt{T_s}} + \frac{\sqrt{(2E_s - 2\cos(\Delta\omega T_s))}}{\Delta\omega T_s} \cos(\Delta\phi - \theta_i) + N \quad (3)$$

$$z_Q = \frac{\sqrt{2E_s}}{2\sqrt{T_s}} + \frac{\sqrt{(2E_s - 2\sin(\Delta\omega T_s))}}{\Delta\omega T_s} \sin(\Delta\phi - \theta_i) + N \quad (4)$$

여기서  $\Delta\omega$ 는 Doppler shift에 의해 발생된 주파수( $f_d$ )에 의해 나타내어지며  $\Delta\phi$ 는

$$\Delta\phi = \tan^{-1} \left[ \frac{1 - \cos(\Delta\omega T_s)}{\sin(\Delta\omega T_s)} \right] \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다.

시변 DC-Offset에서 BER을 변화시키는 가장 중요한 요소는 Doppler shift에 의해 발생된 신호이다. 여기서, Doppler shift에 의해 변화된 BER을 구해보기로 하겠다. Doppler shift에 의한 QPSK의 BER을 수식적으로 아래와 같이 구해질 수 있다.<sup>[3][4]</sup>

$$P_b(e) = \frac{3}{4} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[ \frac{C}{\sqrt{N_0}} \sin \left( \frac{\pi}{M} + \Delta\phi \right) \right] - \int_0^{\frac{C \sin(\frac{\pi}{4} + \Delta\phi)}{\sqrt{N_0}}} \left[ \frac{\exp(-y^2)}{\sqrt{\pi}} \operatorname{erf} \left( y \cot \left( \frac{\pi}{4} + \Delta\phi \right) \right) dy \right] \quad (6)$$

위 식에서

$$C = \frac{\sqrt{E_s(2 - 2\cos(\Delta\omega T_s))}}{\Delta\omega T_s} \quad (7)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (8)$$

이다.

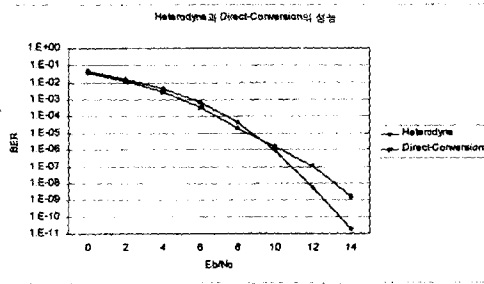


그림 5 Heterodyne과 Direct-Conversion의 BER

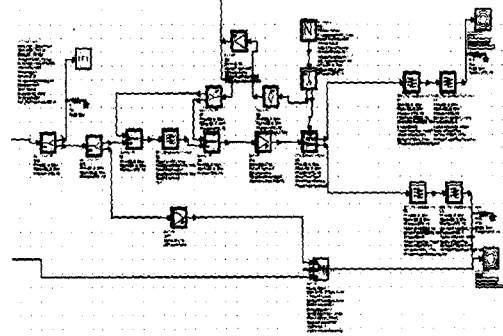


그림 6 DCR의 설계

IV. DC-Offset의 제거를 위한 AC-Coupling 기법의 성능분석

III장에서 보여진 것과 같이 DCR에서 DC-Offset의 제거는 반드시 필요하다. 최근까지 많은 연구가 계속되어지고 있다. 현재까지 제안된 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다.

- ① 대용량 Capacitor을 사용하여 제거
- ② AC-Coupling 기법
- ③ 무통화 시간대역 설정
- ④ DC-Free Coding

본 논문에서는 이러한 DC-Offset의 제거를 위한 AC-Coupling 기법에 대해서 분석하였다.

AC-Coupling 기법이란 간단히 설명하면, 믹서의 다음단에 저역통과필터 대신에 고역통과필터를 사용하여 시변·시불변 DC-Offset을 제거하는 방법이다. 다른 DC-Offset을 제거하는 방법으로 제안되어진 것은 사용면적의 증가, 그리고, 부가적인 시스템이 추가되어지므로 인해서 발생하는 복잡성으로 인하여 특별히 추가되어지는 소자가 없이 간단히 제거할 수 있는 방법인 AC-Coupling 기법을 채택하였다<sup>[5]</sup>.

그러나, AC-Coupling 기법은 효과적인 DC-Offset을 제거할 수는 있지만, DC 근처에 정보를 대부분 손실하므로 인해서 BER의 성능저하에 영향을 미친다. 본 논문에서는 이러한 기존의 저역통과 필터를 사용한 DCR의 구조와 고역통과필터를 함께 사용한 DCR구조를 시뮬레이션하여 그 결과를 비교하였다.

본 논문은 현재 여러분야에서 사용되어지고 있는 HP-ADS라는 시뮬레이션 Tool을 사용하였다. 설계 Spec은 아래와 같다.

표 1 설계 Spec.

항 목	내 용
Data rate	32kbps
변·복조 방식	QPSK
듀플렉스	FDD
송·수신 주파수	915-928MHz
송신 출력 level	10mW이하
채널 간격	50kHz
주파수 허용 오차	20×10 <sup>-6</sup> 이하

설계 Spec은 현재 상용화가 되어있는 디지털 음성 송수신의 설계 Spec를 참고로 하였다.

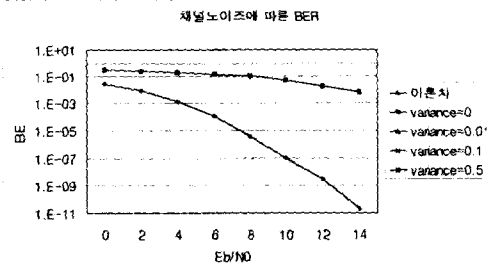


그림 7 채널 노이즈에 따른 BER

참고문헌

[1] Behzad Razavi, "Design Considerations for Direct-Conversion Receivers", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS-II, VOL 44. 428-435, JUNE 1997

[2] Bing Wang, Hyuck M. Kwon, Jim Mittel, "Simple DC Removers for Digital FM Direct-Conversion Receiver", Proceedings of the 49th Vehicular Technology Conference - Volume 2, 1222-1226, May 1999

[3] Young Sun Kim, Seung-Geun Kim and Kiseon Kim, "BER Performance of Frequency Estimators in Burst-mode QPSK Transmissions", Proceedings of ITC-OSCC, 1290-1293, 1999

[4] Bernard Skalar, "Digital Communications Fundamentals and Applications" Prentice Hall, 399-402. 1988

[5] J.H.Mikkelsen, T.E.Kolding, T.Larsen, "Feasibility Study of DC-Offset Filtering for UTRA-FDD/WCDMA Direct-Conversion Receiver",

경로손실에 따른 BER(AWGN=0.5)

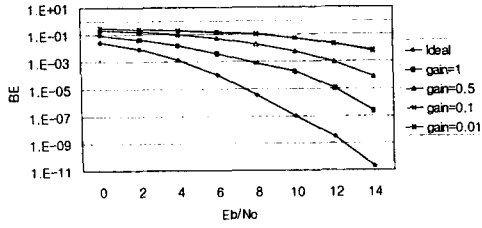


그림 8 경로손실에 따른 BER

DC-Offset에 의한 BER 특성

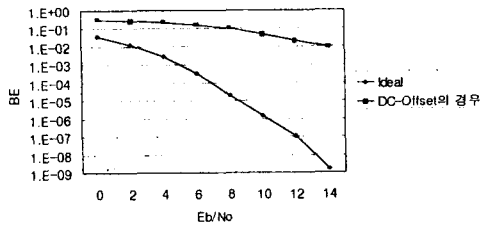


그림 9 DC-Offset에 의한 BER

AC-Coupling기법에 의한 BER

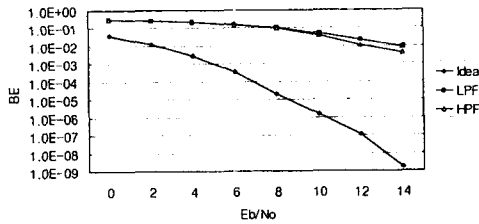


그림 10 AC-Coupling기법에 의한 BER

V. 결 론

위의 시뮬레이션 결과에서처럼 단순히 저역통과필터를 사용함으로써, 시스템의 성능이 저하됨을 알 수 있다. AC-Coupling기법을 사용한 DCR에서도 약간의 성능의 개선을 가지고 있지만, 시변 DC-Offset을 제거하기 위한 고역통과필터의 차단주파수가 증가되므로써, 데이터의 손실이 매우 크다는 것을 확인하였다. AC-Coupling 기법은 일반적인 디지털 통신에서 사용하기에는 단점이 너무 많고, 따라서, 효과적인 DC-Offset의 제거를 위한 방법적 접근을 다시 연구해야한다.