

위상 잡음의 거리 상관 효과에 따른 UHF RFID 리더의 성능 분석

Performance Analysis of the UHF RFID Reader with the Range Correlation Effects of the Phase Noise

장 병 준 · 강 민 수* · 임 재 봉

Byung-Jun Jang · Min-Soo Kang* · Jae-Bong Lim

요 약

본 논문에서는 위상 잡음의 거리 상관 효과에 따른 직접 변환 방식의 UHF 대역 RFID 리더의 성능을 분석한다. UHF RFID 시스템은 일반적인 무선 통신 방식과는 다르게 송신 캐리어를 발생하는 LO 신호가 동시에 수신기의 극부 발진기로 사용되며, 이에 따라 태그 신호와 LO 신호 간의 거리 상관 효과에 의한 주기적인 신호 간섭 및 위상 잡음 감소 효과가 발생한다. 주기적인 신호 간섭 효과는 이론 및 시뮬레이션을 통해 I 와 Q 신호를 I/Q 다이버시티 개념으로 전력 결합함으로써 제거할 수 있음을 확인하였다. 위상 잡음 감소 효과는 전형적인 UHF 대역에서 동작하는 LO의 위상 잡음에 대한 전력 밀도 스펙트럼이 태그-리더 거리 및 오프셋 주파수에 따라 변화됨을 확인하였고, 이를 이용하여 심볼 에러 성능을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과, 심볼 에러에서 위상 잡음의 영향은 태그 변조 방식 중 PSK에서 특히, 변조 각도가 작을 때 크게 나타나지만, 거리 상관 효과에 의해 실제 위상 잡음이 감소되어 그 영향이 미비해짐을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we analyze the performance of a direct-conversion UHF RFID reader with the range correlation effects of the phase noise. Since a UHF RFID system uses the same oscillator to generate the transmitted carrier and the local oscillation, the periodic interference and phase noise reduction effects occur due to time delay between two signals. Through exact theory and simulation, we verify how to cancel the periodic interference phenomena using I/Q diversity combining technique. And, we analyze phase noise reduction effects due to range correlation as a function of the tag-reader distance and the offset frequency. Using these results, we simulate the symbol-error-rate performance with respect to phase noise with and without range correlation effects. We show that the phase noise of the local oscillator has little effect on the symbol-error-rate performance because of phase noise reduction by range correlation.

Key words : UHF RFID, Reader, Tag, Local Oscillator, Phase Noise, Range Correlation Effect, SER, I/Q Diversity, Direct-Conversion

I. 서 론

최근에 전세계적으로 UHF(Ultra-High-Frequency) 대역의 RFID(Radio Frequency Identification) 기술에

대한 관심이 증가하고 있다. UHF RFID 시스템은 기존의 저주파 RFID 시스템에 비하여 긴 인식 거리와 tag 제작 가격에 있어서 유리하여, 전세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 가장 적합하다고 평가되고 있

국민대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Kookmin University)

*한양사이버대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Hanyang Cyber University)

· 논문 번호 : 20071130-09S

· 수정완료일자 : 2008년 1월 22일

다. 특히 Wal-Mart와 Tesco와 같은 대형 유통회사에서는 2005년부터 RFID 보급을 가시화하고 있고, 또한 같은 해에 Gen. 2 규격이 ISO 1800-6 Type C로 규격화되면서 RFID 서비스의 확대가 가속화되고 있다 [1],[2].

UHF RFID 시스템은 기존의 통신 방식과는 다른 고유한 특성을 가지고 있는데, 대표적인 특성이 태그가 역산란 변조(backscatter modulation) 신호를 만들기 위해 사용하는 정현파(CW: Continuous Wave) 신호가 이 태그 신호를 기저 대역으로 주파수 변환하는데 사용되는 국부 발진기(LO: Local Oscillator) 신호와 같다는 것이다. 특히 직접 변환(direct conversion) 방식의 수신기를 사용하는 경우 두 신호간의 시간 지연에 의해 주기적인 신호 간섭 현상과 위상 잡음 감소 효과가 발생한다.

주기적인 신호 간섭 현상은 일반적인 무선 통신 방식에서 I 채널과 Q 채널 각각에 독립적인 정보가 포함되어 있는 것과는 다르게 동일한 정보가 I 채널과 Q 채널에 실린다는 것을 활용하여 I/Q 다이버시티(diversity) 개념으로 제거할 수 있다. 위상 잡음 감소 효과는 과거 CW 레이더 시스템에서는 range correlation 효과^{[3],[4]}라고 불리고 있었으며, 최근 이 이론을 이용하여 RFID 시스템에서의 range correlation 효과를 인식 거리 및 SNR 측면에서 분석한 연구가 저자에 의해 이루어졌다^{[5],[6]}. 하지만, range correlation 효과가 역방향 링크에서 리더 수신부의 SER(Symbol Error Rate) 성능에 미치는 영향에 대한 분석은 아직까지 체계적으로 이루어지고 있지 않다. 단지 참고문헌 [4]에서 태그의 입력 임피던스를 에러율의 함수로 표현하였을 뿐이며, 리더의 수신기 측면에서 SER에 대한 분석은 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 직접 변환 수신기에서 I/Q diversity 개념에 대한 이론적인 근거를 제시함과 아울러 range correlation 효과의 발생 원인을 분석하여 위상 잡음 감소 효과를 식으로 유도하고, 이를 전력 밀도 스펙트럼(PSD: Power Spectral Density) 측면에서 분석하고자 한다. 또한, 전력 밀도 스펙트럼의 감소 효과를 태그의 역산란 변조 방식 및 변조 지수에 따른 리더 수신부의 SER 성능에 적용하여 range correlation 효과를 정량적으로 분석하고자 한다. 따라서 먼저, 태그 변조 방식 및 변조 지수에 따른 SER 성능을 이

론적으로 유도하고, 각각의 경우 위상 잡음 효과를 시뮬레이션 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UHF RFID 시스템의 주요 특성을 설명하고, 이를 통해 range correlation에 의한 신호 간섭 및 위상 잡음 감소 효과를 식으로 유도하고, 전형적인 위상 잡음 특성을 갖는 LO 신호에 적용하여 감소 정도를 분석한다. 3장에서는 태그 변조 방식 및 변조 지수에 따른 리더 수신부의 SER 성능을 식으로 유도하고, 2장에서 설명한 range correlation에 의한 위상 잡음 감소 효과가 있는 경우와 없는 경우를 시뮬레이션하고 결과를 분석하여 본 논문의 타당성을 확인하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

II. UHF RFID 시스템의 신호 특성 및 위상 잡음

UHF RFID 시스템은 원하는 정보를 얻기 위한 리더와 고유한 정보를 저장하고 있는 태그로 구성되고, 정보의 전송 방향에 따라 그림 1에 나타난 바와 같이 순방향과 역방향 링크로 구분된다. 순방향 링크는 리더가 태그로부터 원하는 정보를 얻기 위해 수행하는 모든 준비 과정이며, 주로 명령 신호가 전송된다. 역방향 링크는 태그의 전원을 공급하는 CW(Continuous Wave) 신호의 발생에서부터 태그의 역산란 변조 신호가 리더 수신부에서 복조되기까지의 모든 과정을 의미한다^[7].

그림 1에 나타난 UHF RFID 시스템에서 본 논문에서 관심이 있는 역방향 링크를 모델링 하기 위하여 먼저 하나의 리더와 하나의 태그로 구성된 시스템을 고려한다. 여기서 태그는 태그 칩과 안테나로

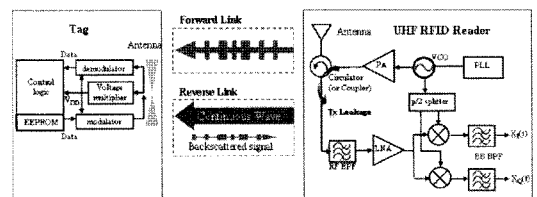


그림 1. UHF RFID 시스템에서의 구성 및 리더와 태그의 블록도

Fig. 1. Architecture of a UHF RFID system and block diagram of a reader and a tag.

구성되며, 태그 칩은 태그가 붙은 사물의 정보에 해당되는 고유한 코드를 저장하고 있으며, 별도의 전원 장치를 포함하고 있지 않다. 따라서 리더로부터 송신된 RF 신호의 일부를 DC 전력으로 변환하여 사용하게 되고, 일부는 역산란(backscattering)을 통하여 리더로 반사시킨다. 역산란되는 신호는 태그의 입력 임피던스를 변화시켜 발생되는데, 일반적으로 두 개의 상태 중 하나가 되며, 실수값을 가변시키는 경우 ASK(Amplitude Shift Keying), 허수값을 가변시키는 경우 PSK(Phase Shift Keying) 신호가 된다. Gen. 2 규격에 따르면, 태그의 경우 ASK 또는 PSK를 선택할 수 있으며, 리더의 경우 ASK와 PSK 모두를 복조할 수 있어야 한다^[8].

리더의 구성은 국부 발진기(LO), 송신기, 수신기와 송수신 안테나 및 circulator로 구성되어 있다. Circulator는 방향성 결합기(directional coupler)로 구성되기도 하는데, 주요 역할은 송신기로부터의 신호를 안테나로 전달하고 안테나로부터 수신된 전력은 수신기로 전달하는 역할을 한다. 국부 발진기는 정현파(CW) 신호를 송신기로 보내는 한편, 동일한 신호를 태그에서 역산란된 신호를 기저 대역 신호로 주파수 변환하는데도 사용한다. 또한, 송신과 수신을 분리하기 위한 circulator의 사용을 피하기 위하여 두 개의 안테나를 사용하는 경우도 있다. 수신 방식은 직접 변환 방식 또는 헤테로다인 방식을 사용하는데, 직접 변환 방식은 TX 누설 전력의 영향을 많이 받는 반면 시스템의 구성이 간단하며, 본 논문에서 제시한 I/Q 다이버시티 효과를 얻을 수 있어 일반적으로 많이 사용되고 있다^[9].

2-1 RFID 신호 및 위상 잡음 특성

본 절에서는 직접 변환 방식에서 range correlation에 의한 위상 잡음 감소 특성을 식으로 유도한다. 그림 1에서처럼 LO 신호는 송신기를 위해서 CW 신호를 발생하고, 수신기의 주파수 변환을 위해 사용된다. 진폭 잡음을 무시하면, UHF RFID 리더의 CW 신호 $X_{LO}(t)$ 는 다음과 같다.

$$X_{LO}(t) = \cos\{\omega t + \theta_{LO}(t)\} \quad (1)$$

여기서, ω 는 각주파수, $\theta_{LO}(t)$ 는 LO 신호의 위상

잡음이다. 태그에서 리더까지의 거리를 r 이라고 가정하자. 태그의 역산란 신호가 ASK 변조이고, 태그에서 돌아온 신호의 크기를 고려하지 않고 간략화하면 다음과 같이 리더 안테나 입력에서 역산란 신호 $X_{M,ASK}(t)$ 를 표현할 수 있다.

$$X_{M,ASK}(t) = s(t) \cos\left\{\omega t - \frac{4\pi r}{\lambda} + \theta_{LO}\left(t - \frac{2r}{c}\right)\right\} \quad (2)$$

여기서 $s(t)$ 는 태그의 변조 지수가 1인 경우에는 이진 데이터 "0"과 "1"에 해당하며, $2r/c$ 는 리더와 태그 사이의 전파 왕복 지연 시간을 의미하고, c 는 빛의 속도에 해당한다. 식 (2)의 태그 신호가 식 (1)의 LO 신호와 주파수 혼합되어 기저 대역으로 변환된다고 가정하면, I 채널의 기저 대역 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$X_{I,ASK}(t) = s(t) \cos\left\{\theta_0 + \frac{4\pi r}{\lambda} + \Delta\theta(t)\right\} + n_0(t) \quad (3)$$

여기서, $4\pi r/\lambda$ 는 리더와 태그 사이의 거리에 의해 발생하는 고정된 위상에 대한 항이며, θ_0 는 태그에서의 반사 시 안테나에 의한 위상 변화 및 LO와 주파수 혼합기(mixer) 간의 시간 지연에 해당하는 값이다. $n_0(t)$ 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 잡음에 해당하며, $\Delta\theta(t)$ 는 residual phase noise라고 불리는 항으로 다음 식 (4)와 같다.

$$\Delta\theta(t) = \theta_{LO}(t) - \theta_{LO}\left(t - \frac{2r}{c}\right) \quad (4)$$

식 (4)와 같이 동일한 LO 신호가 송신기와 수신기 모두에서 사용되므로 수신 신호의 위상 잡음은 LO 신호와 상관 특성을 갖게 되며, 상관 정도는 두 신호 사이의 위상차에 의해 결정된다. 예를 들어 식 (4)에서 r 이 영이라면 위상 잡음은 사라지게 된다. 따라서 시간 지연이 짧을수록, 기저 대역에서 잡음 스펙트럼은 크게 감소하게 되는데, 이를 range correlation 효과라고 부른다^[3]. 오프셋 주파수가 Δf_c 이고, 왕복 지연 시간이 Δt 인 경우 푸리에 변환을 통해 계산하면, 기저 대역 전력 밀도 스펙트럼(PSD: Power Spectral Density)는 다음과 같이 주어진다.

$$S_{\Delta\theta}(\Delta f_c) = S_{\theta_{LO}}(\Delta f_c) \left| 1 - \exp\left(-j\Delta\omega_c \frac{2r}{c}\right) \right|^2$$

$$= S_{\theta_{LO}}(\Delta f_c) \cdot 4 \sin^2 \left(2\pi \frac{r \Delta f_c}{c} \right) \quad (5)$$

여기서 $S_{\theta_{LO}}(\Delta f_c)$ 는 LO 위상 잡음의 PSD에 해당하며, 마지막 항은 시간 지연에 의한 위상 잡음 감소에 해당한다. 거리 r 및 옵셋 주파수 Δf_c 가 작은 경우, sine 함수의 괄호 안에 있는 항은 매우 작은 값에 해당하므로 위상 잡음이 크게 감소됨을 알 수 있다. 예를 들어, 리더와 태그 간에 거리가 8 m라 가정할 경우, Δf_c 가 100 kHz라면 -30 dB, 10 kHz라면 -50 dB의 위상 잡음 감소 효과가 나타난다.

이상의 개념을 태그가 PSK 변조하는 경우의 식을 포함하여 신호 흐름도로 나타내면 다음 그림 2와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 태그가 PSK를 사용하는 경우, 태그 변조 신호가 위상 변조 지수 $\theta_s(t)$ 에 의해 위상의 변화로 나타난다. 예를 들어 위상 변조 지수가 $\pi/4$ 인 경우 $\theta_s(t)$ 는 “+ $\pi/4$ ”와 “- $\pi/4$ ” 중의 하나의 값을 갖게 된다.

2.2 주기적 위상차에 의한 영향 및 I/Q Diversity

먼저 고정된 위상차 $4\pi r/\lambda$ 에 의한 수신 신호의 크기 변화를 보기 위해 그림 3(a)와 같이 리더는 높이 1 m에 위치해 있고, 태그가 리더 바로 밑에서부터 x 축 방향으로 원점에서 리더로부터 수직으로 이동하면서 데이터 “1”을 송신한다고 가정하면 다음 그림 3(b)와 같이 수신 레벨이 변하는 신호 간섭 특성을 얻을 수 있다. 즉, 식 (3)에서 위상 잡음 및 θ_0 가 영이라고 가정하면 $4\pi r/\lambda$ 이 π 의 정수배가 되면 $X_{I,ASK}(t)$ 가 최대가 되고, $4\pi r/\lambda$ 이 $\pi/2$ 의 홀수 배가 되면 $X_{I,ASK}(t)$ 가 최대가 된다. 이제 최소점과 최소점 사이의 거리를 계산하면 $\lambda/4$ 가 되며, 주

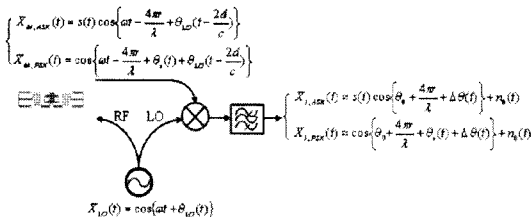
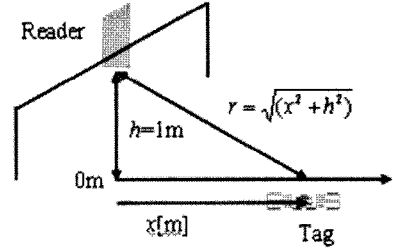
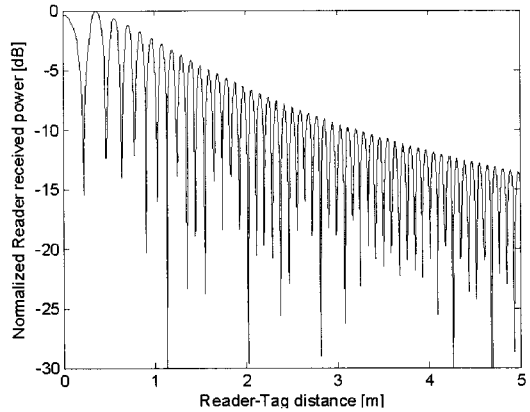


그림 2. RFID 시스템의 신호 흐름도
Fig. 2. RFID system diagram with signal flow.



(a) 태그-리더 구성도
(a) Tag-reader configuration



(b) 태그-리더 사이의 거리에 따른 주기적인 신호 간섭 특성
(b) Periodic signal fluctuation with respect to the distance between a reader and a tag

그림 3. 태그와 리더 사이의 거리에 따른 단일 채널 수신기의 신호 간섭 특성
Fig. 3. Signal interference characteristics of a single-channel UHF RFID receiver with respect to the distance between a reader and a tag.

파수를 910 MHz로 가정하면 6.8 cm가 된다. 따라서 리더가 단일 채널 수신기를 갖는 리더는 태그 신호를 제대로 복조할 수 없음을 알 수 있다.

본 절에서는 직교 변환 방식을 이용한 경우의 기저 대역 수신 신호의 특성을 살펴본다. 그림 2와 같은 직교 변환 수신기를 가정하고, 태그 신호가 ASK 변조라고 가정하면, I 채널과 Q 채널의 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$X_{I,ASK}(t) = s(t) \cos \left\{ \frac{4\pi r}{\lambda} + \Delta\theta(t) \right\} + n_0(t) \quad (6a)$$

$$X_{Q,ASK}(t) = s(t) \sin \left\{ \frac{4\pi r}{\lambda} + \Delta\theta(t) \right\} + n_0(t) \quad (6b)$$

이제 I 채널 신호와 Q 채널 신호의 전력의 평균을 취하고, 열잡음 및 range correlation 효과에 의해 위상 잡음 효과를 무시하면 최종 복조될 신호는 리더와 태그 사이의 위상차에 의한 신호 간섭 특성을 극복할 수 있다.

$$X_{ASK}(t) = \sqrt{(X_{I,ASK}(t)^2 + X_{Q,ASK}(t)^2)} \approx s(t) \quad (7)$$

식 (7)로부터 RFID 리더기에서 I/Q 복조기를 사용하는 이유가 분명해진다. 이상의 결과를 이용하여 고정된 위상차에 의해 리더 수신기에서 복조되는 I 채널과 Q 채널의 크기를 그림 4에 나타내었다. 고정된 위상값이 $\pi/4$ 인 경우 I 채널과 Q 채널의 크기는 감소하지만 동일하고, 고정된 위상값이 $\pi/2$ 인 경우 I 채널은 사라지지만 Q 채널은 최대가 되고, 두 경우 모두 전력의 평균을 취하면 열잡음을 제외하고는 동일한 크기가 나옴을 확인할 수 있다.

반면, 태그가 PSK 변조하는 경우 위상에 정보가 있으므로, 식 (7)과 같이 결합하면 위상에 의한 정보가 사라지므로 보통 I 채널 혹은 Q 채널을 선택하거나, 부가적인 위상 복원 회로를 사용하여야 한다.

2-3 Range Correlation에 의한 위상 잡음 감소 특성

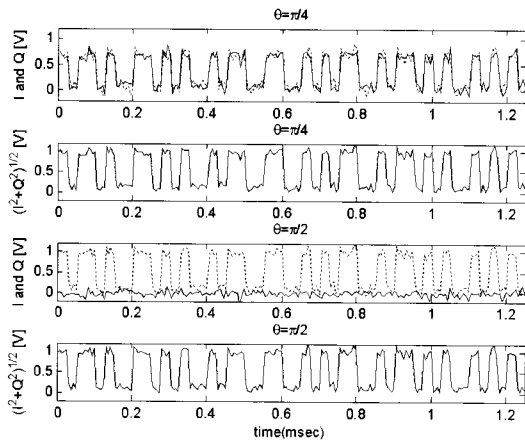


그림 4. ASK 변조의 경우 I, Q 신호의 시간과형 및 I/Q 결합에 의한 신호 복조(실선: I 채널, 점선: Q 채널 신호)

Fig. 4. I and Q time domain waveform in case of ASK modulation and demodulated waveform using I/Q power combining(solid line: I channel signal, dotted line: Q channel signal).

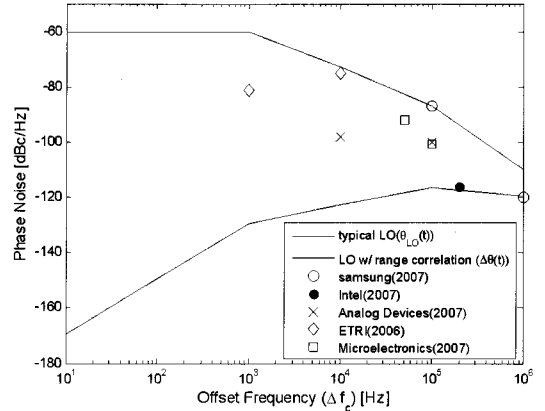


그림 5. 일반적인 LO의 PSD와 range correlation에 의한 위상 잡음 감소 효과

Fig. 5. PSD of typical LO and phase noise reduction effect due to range correlation.

LO 신호의 위상 잡음을 나타내는 가장 일반적인 방법이 PSD를 사용하는 것이다. PSD는 중심 주파수에서 Δf_c 만큼 떨어진 ω 셋 주파수에서 반송파 전력에 대한 상대적인 크기를 1 Hz 대역폭에 대해 그린 것으로 단위는 dBc/Hz가 된다. 먼저 식 (5)에 의한 위상 잡음 스펙트럼의 감소 효과를 실제 UHF 대역에서 사용하는 LO의 경우에 적용하기 위하여 그림 5와 같은 위상 잡음 특성을 갖는 LO를 가정한다^[10]. 그림 5에 표시한 바와 같이 기준에 발표된 UHF RFID 리더용 LO의 위상 잡음 특성을 보면 본 논문에서 가정한 위상 잡음 특성보다 우수하므로 본 논문에서 제시한 위상 잡음 값은 최악의 경우를 가정한 경우이며, 일반적으로 UHF 대역에서 내장된 LC 공진기를 사용한 RFIC로 용이하게 구현 가능한 값이다.

식 (5)를 통해 위상 잡음의 감소 효과를 그리면, range correlation 특성은 고역 통과 필터와 같이 동작하여 저주파 대역에서 위상 잡음이 대폭 감소하는 것을 알 수 있다. 이 때 지연 시간은 태그와 리더 사이의 경로 차이가 8 m인 경우를 가정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 range correlation 효과는 offset 주파수가 작을수록 효과가 크게 나타난다. 예를 들어 10 Hz offset 주파수에서는 110 dB의 효과를 갖는 것이 100 kHz offset 주파수에서는 30 dB의 위상 잡음 개선 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 기본적으로 태그

의 역산란 신호의 대역폭이 작을수록, 즉 데이터 전송속도가 작을수록 range correlation 효과는 크게 나타나며, 대역폭이 클수록 효과는 감소한다. 또한, range correlation 효과는 거리가 가까울수록 더욱 크게 나타나므로 이상의 특성을 이용하여 RFID 리더에서 요구하는 위상 잡음의 특성을 예측할 수 있다. 이제 식 (5)를 수신기의 통과 대역에 따라 수직 적분하게 되면 위상 잡음에 의한 잡음 전력의 분산 특성을 계산할 수 있으며, 이를 통해 위상 잡음에 의한 SER 특성을 시뮬레이션 할 수 있다. 실제 위상 잡음 특성은 PLL(Phase Locked Loop) 회로에 의해 더 작아지므로 이 결과는 최악의 경우에 해당한다.

III. 위상 잡음에 따른 심볼 에러(SER) 성능

본 장에서는 2장에서 유도한 RFID 시스템에서 위상 잡음 특성이 리더 수신부의 SER 성능에 어떻게 영향을 주는 지 분석하기 위하여 먼저 태그 변조 방식 및 변조 지수에 따른 리더 수신부의 SER 성능을 분석하고, 여기에 range correlation이 있는 경우와 없는 경우의 위상 잡음 특성을 포함시켜 다양한 경우에 위상 잡음이 SER 성능에 미치는 영향을 계산한다.

3-1 태그 변조 방식에 따른 SER 성능

태그 신호는 코딩의 경우, FM0 혹은 Miller 방식을 사용한다. 먼저 FM0 코딩을 가정하고, ASK와 PSK 변조 방식을 사용하는 경우 SER 특성을 구하면 다음과 같다. 먼저 두 심볼 사이의 위상 차이를 $2\Delta\theta$ 로 갖는 BPSK의 에러 확률은 식 (8)과 같다^[11].

$$P_{e,BPSK} = Q\left(\sqrt{2\sin^2(\Delta\theta)\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (8)$$

여기서, $\Delta\theta$ 는 BPSK 심볼의 위상 차이를 1/2로 나눈 값이고, E_b/N_0 는 수신기의 평균 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도의 비를 의미한다.

각 FM0 심볼은 2개의 BPSK 심볼로 구성되기 때문에 FM0 심볼이 정확히 복조될 확률은 2개의 BPSK 심볼이 모두 복원되었을 경우이다. 따라서 FM0 심볼이 정확히 복원될 확률은 식 (9)와 같이 표현된다.

$$P_{e,FM0} = (1 - P_{e,BPSK})^2 \quad (9)$$

결과적으로 FM0의 SER은 식 (10)과 같다.

$$P_{FM0-BPSK} = 1 - P_{e,FM0} \\ = 2Q\left(\sqrt{2\sin^2(\Delta\theta)\frac{E_b}{N_0}}\right) \times \left[1 - \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{2\sin^2(\Delta\theta)\frac{E_b}{N_0}}\right)\right] \quad (10)$$

동일한 유도 과정을 통해 BASK(Binary Amplitude Shift Keying) 변조 방식과 변조 계수 m 에 따른 SER 수식은 식 (11)과 같이 유도된다.

$$P_{FM0-BASK} = 2Q\left(\sqrt{2\kappa\frac{E_b}{N_0}}\right) \times \left[1 - \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{\kappa\frac{E_b}{N_0}}\right)\right] \quad (11)$$

여기서 κ 는 $m^2 / \{1 + (1 - m)^2\}$ 이고, FM0-BPSK 및 FM0-BASK의 SER 결과는 그림 6과 같다. 그림과 같이 ASK인 경우 변조 지수가 1에 가까울수록 특성이 SER 특성이 우수함을 알 수 있다. 하지만 변조 지수가 1에 가까울수록 태그에 공급되는 전력은 작아지므로 적절한 값을 선택하여야 한다^[4]. 그림에서 변조 지수가 1인 FM0-BASK와 변조 지수가 $\pm\pi/4$ 인 FM0-BPSK는 SER 특성이 동일하다.

3-2 위상 잡음에 의한 SER 특성 변화

본 절에서는 앞에서 유도한 위상 잡음 특성이

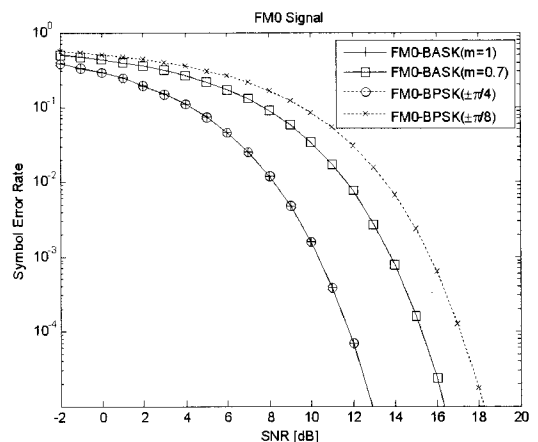


그림 6. FM0 신호의 심볼 에러 확률 특성
Fig. 6. Symbol error probability of FM0 signal.

SER 성능에 미치는 영향을 분석한다. 먼저, 위상 잡음을 고려한 경우 이론적인 SER 식을 유도하기 위하여, 신호대 잡음비의 감소 정도($degr_{SNR}$)를 계산하여야 한다. 위상 잡음에 의한 분산이 작을 경우 ($\sigma^2 \ll 1$), 신호대 잡음비의 감소 정도는 다음 식 (11)과 같다 [10].

$$degr_{SNR} = 10 \cdot \log \left(1 + \sigma^2 \frac{E_b}{N_0} \right) \quad (12)$$

위상 잡음의 분산은 그림 5의 위상 잡음을 수신 대역만큼 적분하면 위상 잡음 신호의 분산 특성을 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= 2 \int_{f_L}^{f_H} S_{\Delta\theta}(\Delta f_c) d\Delta f_c \\ &= 8 \int_{f_L}^{f_H} S_{\theta_{LO}}(\Delta f_c) \cdot \sin^2 \left(2\pi \frac{r\Delta f_c}{c} \right) d\Delta f_c \end{aligned} \quad (13)$$

이제 식 (12)와 식 (13)을 이용하여 구한 SNR 값을 식 (10)에 대입하면, 위상 잡음이 존재하는 경우의 SER을 이론적으로 계산할 수 있다.

다음으로 SER을 시뮬레이션하기 위한 블록도는 그림 7과 같다. 시뮬레이션 파라미터는 Gen. 2 규격을 기본으로 하였고, 태그 변조는 ASK와 PSK 두 경우에 대해 변조 지수를 가변시켜가면서 시뮬레이션 하였다. 태그 데이터는 160 kbps라고 가정하였고, 기저 대역 수신 필터의 저주파 차단 주파수와 고주파 차단 주파수를 f_L 와 f_H 로 각각 정의하고, DC offset을 제거하기 위하여 f_L 은 10 kHz로 f_H 는 PSD의 주엽만을 통과시키기 위하여 320 kHz로 설정하였다. 위상 잡음의 경우 진폭이 1이고, 위상 특성은 랜덤 변수를 갖는 잡음으로 모델링하였다.

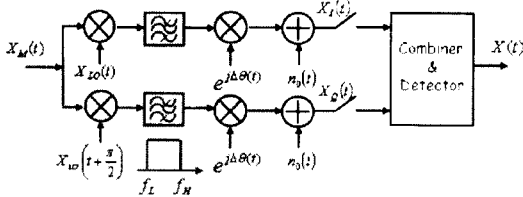


그림 7. SER 시뮬레이션을 위한 블록도
Fig. 7. Block diagram for the SER simulation.

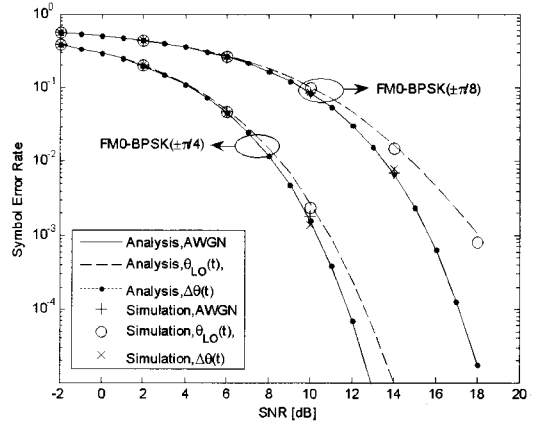


그림 8. 위상 잡음 및 range correlation 효과에 의한 FM0-BPSK 신호의 SER 성능

Fig. 8. SER performance of FM0-BPSK signal as a function of phase noise and range correlation effect.

이 분산값을 갖는 위상 잡음 및 AWGN 잡음을 포함하는 경우 SER 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다. 먼저 FM0-BASK 신호의 경우는 위상에 정보가 없으므로 SER 특성에 위상 잡음의 영향은 차이가 없음을 확인하여 그림에 포함시키지 않았다. 위상 잡음의 영향은 주로 FM0-BPSK 신호에 영향을 주는데, 그림 8에서처럼 변조 위상 지수가 작을수록 위상 잡음의 영향이 커짐을 직관적으로 알 수 있다. 먼저 일반 통신 시스템에서와 같이 LO 신호와 수신 신호 사이에 range correlation이 없다면, AWGN 환경에서 구한 그림 6의 결과보다 SER 특성이 나빠지게 된다. 하지만 RFID 시스템에서는 range correlation 효과에 의해 위상 잡음이 줄어들게 되므로 위상 잡음의 영향이 AWGN 환경과 동일하게 됨을 알 수 있다. 실제 위상 잡음은 PLL을 가정하면 loop 필터 특성에 의해 더 작아지므로 리더 수신기에서 위상 잡음의 영향은 range correlation에 의해 없어짐을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UHF RFID 리더 수신기의 IQ 다이버시티 효과를 이론적으로 분석하고 위상 잡음 특성을 PSD와 역방향 링크에서의 SER 측면에서 분석하였다. UHF RFID 시스템이 기존의 무선 통신 시스템과는 달리 LO 신호가 태그의 변조 신호 생성 및 주

파수 변환에 동시에 사용됨을 확인하였고, 이를 통해 두 신호 사이의 위상차에 의한 주기적인 신호 간섭 특성과 range correlation 효과가 있음을 확인하였다. 주기적인 신호 간섭 특성은 I/Q 다이버시티 개념을 도입할 필요성이 있음을 제시하였고, range correlation 효과는 위상 잡음의 감소를 나타내므로 옵셋 주파수 및 태그-리더 사이의 거리에 따라 결정됨을 확인하였다. 또한 태그 변조 방식 및 변조 지수에 따라 리더 수신부의 SER 특성의 이론값을 예측하고, 여기에 위상 잡음 및 range correlation 효과에 따른 SER 특성의 변화를 확인하였다. 시뮬레이션 결과 RFID 시스템의 경우 range correlation 효과에 의해 위상 잡음의 특성이 나빠도 SER에 영향을 주지 않음을 확인하였다. 따라서 본 논문은 UHF RFID 리더를 설계하기 위한 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술 개발 동향", 정보과학회지, 23(2), pp. 83-87, 2005년 2월.
- [2] 장병준, 박준석, 성영락, 오하령, "RFID dense 모드 지원을 위한 medium access 기술", 한국통신학회지, 23(12), pp. 17-28, 2006년 11월.
- [3] A. D. Droitcour, O. Boric-Lubecke, V. M. Lubecke, J. Lin, and G. T. A. Kovac, "Range correlation and I/Q performance benefits in single-chip silicon doppler radars for non-contact cardiopulmonary monitoring", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, pp. 838-848, Mar. 2004.
- [4] G. De Vita, G. Iannaccone, "Design criteria for the RF section of UHF and microwave passive RFID transponders", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 9, pp. 2978-2990, Sep. 2005.
- [5] J. H. Bae, J. C. Kim, B. W. Jeon, J. W. Jung, J. S. Park, B. J. Jang, H. R. Oh, Y. J. Moon, and Y. R. Seong, "Analysis of phase noise requirements on local oscillator for RFID system considering range correlation", *2007 European Microwave Conference*, pp. 385-388, Oct. 2007.
- [6] 장병준, 박준석, 조홍구, 임재봉, "UHF RFID 시스템의 순방향 및 역방향 인식 거리에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 18(11), pp. 1243-1253, 2007년 11월.
- [7] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, Second Edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [8] EPCglobal Inc., "EPC™ radio-frequency identity protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860~960 MHz", Version 1.0.9, Jan. 2005.
- [9] M. Kossel, H. R. Benedickter, R. Peter, and W. Bachtold, "Microwave backscatter modulation systems", in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp.1427-1430, Jun. 2000.
- [10] A. G. Armada, "Understanding the effects of phase noise in orthogonal frequency division multiplexing(OFDM)", *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 47, no. 2, pp. 153-159, Jun. 2001.
- [11] John G. Prokis, *Digital Communications*, Fourth Edition, McGraw-Hill, 2001.
- [12] Z. G. Fan, S. Qiao, J. T. Huangfu, and L. X. Ran, "Signal descriptions and formulations for long range UHF RFID readers", *Progress in Electromagnetics Research, PIER 71*, pp. 109-127, 2007.

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신시스템, RFID/USN

임 재 봉



1974년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1976년: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1987년: 서울대학교 전기공학과 (공학박사)

1975년~1981년: 충남대학교 전자공학과 조교수

1988년: 미국 텍사스 주립대학교 전기공학과 조교수

1990년: 한국통신학회 이사

1990년~2005년: SKT, 홍창, 삼성전자, Netel, A-telsys, SK-Telesys 기술고문

1996년: 제21회 산학협동대상 수상

1981년~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] GPS 시스템 Application, 셀룰라/IMT-200 용 광증계기 설계

강 민 수



1993년: 광운대학교 제어계측공학과 (공학사)

1995년: 광운대학교 제어계측공학과 (공학석사)

2003년: 광운대학교 제어계측공학과 (공학박사)

현재: 한양사이버대학교 정보통신

공학과 교수

[주 관심분야] RFID, USN, Fault Tolerant System