

UHF RFID 수신기의 위상 다이버시티 및 최적 I/Q 신호 결합 방법에 관한 연구

A Study on the Phase Diversity and Optimal I/Q Signal Combining Methods on a UHF RFID Receiver

장 병 준 · 송 호 준

Byung-Jun Jang · Ho-Jun Song

요 약

본 논문에서는 직접 변환 방식의 UHF RFID 수신기에서 사용되는 위상 다이버시티의 특성을 분석하고, 태그 변조 방식에 따른 최적의 I/Q 신호 결합 방법을 제시한다. 먼저 위상 다이버시티를 사용하지 않고 단일 채널 수신기를 구성했을 때 송신 신호와 국부발진기 신호 사이의 거리에 따른 위상차에 의해 발생하는 페이딩 특성을 분석하여 위상 다이버시티의 필요성을 보였다. 다음으로 이러한 페이딩 특성에 따른 수신 신호의 감쇄 특성을 극복하기 위한 최적의 I와 Q 채널의 결합 방법을 제안하였다. ASK의 경우, AWGN 환경에서 I와 Q 채널의 전력 평균값이 최적 신호 결합 방법임을 확인하였고, PSK의 경우는 최적 신호 결합 방법으로 arctangent 방법 및 principal component 결합 방법을 제안하였다. 제시된 결합 방법의 성능 비교를 위해 시간 파형 및 심볼 에러 확률 성능을 I와 Q 채널 중 최적의 SNR 값을 갖는 채널을 선택하는 선택 다이버시티와 비교하여 분석하였다. 이론 분석 및 시뮬레이션 결과, 제시된 방법이 선택 다이버시티에 비해 최대 3 dB의 SNR 개선 효과를 가짐을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the phase diversity in a direct-conversion receiver for a UHF RFID reader is analyzed and the optimal I/Q signal combining methods is presented with respect to tag modulation. At first, fading characteristics of a single channel receiver is shown to prove the importance of phase diversity due to the phase relationship between the backscattered signal and the local oscillator. And the optimal signal combining methods are presented in order to overcome the signal power reduction due to phase diversity. In case of ASK, the power combining method is presented for the optimal I/Q combining. And the arctangent and principal component combining methods using covariance matrix of I and Q channels are presented for the optimal I/Q combining in case of PSK. In order to analyze the performance of suggested methods, the selection diversity and the optimal combining methods are compared. According to analysis and simulation results, the optimal combining methods have a maximum 3 dB SNR enhancement than selection diversity.

Key words : UHF RFID, Reader, Receiver, Phase Diversity, Quadrature Receiver, Principal Combining

I. 서 론

최근에 전세계적으로 UHF 대역의 RFID 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. UHF RFID 시스템은 기

국민대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Kookmin University)

· 논문 번호 : 20080108-002

· 수정완료일자 : 2008년 2월 19일

존의 저주파 RFID 시스템에 비하여 긴 인식 거리와 tag 제작 가격에 있어서 유리하여, 전세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 가장 적합하다고 평가되고 있다. 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 통신방식과는 다른 고유한 특성을 가지고 있는데, 대표적인 특성이 태그가 역산란 변조(backscatter modulation) 신호를 만들기 위해 사용하는 정현파(CW: Continuous Wave) 신호가 이 태그 신호를 가져 대역으로 주파수 변환하는데 사용되는 국부 발진기(LO: Local Oscillator) 신호와 같다는 것이다. 따라서 직접 변환(Direct Conversion) 방식의 수신기를 사용하는 경우, 송신 신호와 LO 신호 간의 위상차에 의해 복조 시 거리에 따른 페이딩 현상과 위상 잡음 감소 효과가 발생한다.

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 인식거리, SNR 해석 및 리더 수신부의 SER(Symbol Error Rate) 측면에서 분석한 연구가 저자에 의해 이루어졌다^{[5]~[7]}.

위상차에 의한 페이딩 현상은 일반적인 무선통신 방식에서 I 채널과 Q 채널 각각에 독립적인 정보가 포함되어 있는 것과는 다르게 동일한 정보가 I 채널과 Q 채널에 실린다는 것을 활용하여 위상 다이버시티(diversity) 개념으로 제거할 수 있다^{[7],[8]}. 하지만 다이버시티 기법 및 태그 변조 방식에 따른 정량적인 성능 분석은 현재까지 이루어지지 않았다. 참고 문헌 [8]에서는 위상 다이버시티의 개념만을 제시하였고, 참고 문헌 [9]에서는 Quadruple 다이버시티를 이용한 하드웨어적인 성능 개선이 가능함을 제시했으며, 참고 문헌 [10]에서 I/Q 경로를 선택하는 선택 다이버시티 방법에 대한서만 논의가 이루어졌을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 직접 변환 수신기에서 위상 다이버시티 개념에 대한 이론적인 근거를 제시함과 아울러 태그 변조 방식인 ASK(Amplitude Shift Keying)와 PSK(Phase Shift Keying) 각각에 대하여 다

양한 다이버시티 방식에 따른 성능을 분석하고자 한다. 먼저 위상 다이버시티를 사용하지 않고 단일 채널 수신기를 구성했을 때 발생하는 수신 신호의 페이딩 특성을 분석하여 위상 다이버시티의 필요성을 보인다. 다음으로 태그 변조 방식에 따른 최적의 I/Q 신호 결합 방법을 제시한다. 특히 PSK의 경우, arc-tangent 결합 방법과 두 신호의 분산 행렬을 이용한 principal component 결합 방법을 새롭게 제안하고, 이를 일반적으로 사용되는 선택 다이버시티의 성능과 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UHF RFID 시스템의 주요 특성을 설명하고, 이를 통해 주기적인 페이딩 현상이 태그-리더 사이의 거리에 따라 나타남을 설명한다. 3장에서는 태그 변조 방식 및 변조지수에 따른 다이버시티 성능을 분석하고, 태그 변조 방식에 따른 최적의 I/Q 결합 방법을 제시한다. 또한, 이를 SER 성능 측면에서 다이버시티 방식에 따른 성능 변화를 시뮬레이션하고, 결과를 분석하여 본 논문의 타당성을 확인한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

II. UHF RFID 시스템의 수신 신호 특성

RFID 시스템의 구성은 다음 그림 1과 같다. 리더는 태그에 전력을 공급하기 위하여 지속적으로 CW 신호를 송신하고 있으며, 태그는 리더로부터 수신한 CW 신호의 일부를 역산란시키고, 리더는 이를 가져 대역으로 주파수 변환하고, 복조기를 거쳐 태그 신호를 추출한다.

태그는 태그 칩과 안테나로 구성되며, 태그 칩은 태그가 붙은 사물의 정보에 해당되는 고유한 코드를

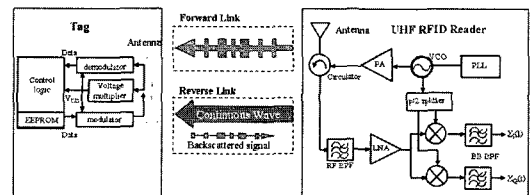


그림 1. UHF RFID 시스템에서의 구성 및 리더와 태그의 블록도

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

저장하고 있으며, 별도의 전원 장치를 포함하고 있지 않다. 따라서 칩 내에 내장된 전압 제배기를 통해 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 진폭이 변하는 ASK, 허수값을 가변시키는 경우 위상이 변하는 PSK 신호 된다. Gen. 2 규격에 따르면, 태그의 경우 ASK 또는 PSK를 선택할 수 있으며, 리더의 경우 ASK와 PSK 모두를 복조할 수 있어야 한다고 명시되어 있다^[11].

리더의 구성은 그림 1과 같이 국부 발진기(LO: Local Oscillator), 송신기, 수신기, 송수신 안테나 및 circulator로 구성되어 있다^{[7],[8]}. 리더의 수신 방식은 직접 변환 방식 또는 헤테로다인 방식을 사용하는 데, 직접 변환 방식은 TX 누설 전력의 영향을 많이 받는 반면 시스템의 구성이 간단하며, 본 논문에서 제시한 위상 다이버시티 효과를 얻을 수 있어 일반적으로 사용되고 있다^[11].

이제 I 채널과 Q채널을 신호 결합하지 않는 경우, 각 채널에서의 수신 신호의 특성을 분석한다. 먼저, 수신기에서 주파수 변환을 위해 사용되는 LO 신호의 크기를 1이라고 가정하면 다음과 같이 표현될 수 있다.

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

여기서, ω 는 각주파수, $\theta_{LO}(t)$ 는 LO의 위상 잡음에 해당된다. 이 LO 신호는 전력 증폭기 및 안테나를 통과하여 태그로 입사하게 되고, 태그는 이 신호를 역산란시킨다. 역산란되어 리더에 도달하는 신호 $X_{M,ASK}(t)$ 는 리더와 태그 사이의 거리를 d 라고 하면 태그가 ASK 변조를 하는 경우 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서 $s_{ASK}(t)$ 는 태그의 이진 데이터로 “0”가 “1”에 해당되며, d 는 거리에 따른 위상 변화, A_M 은

태그로부터 수신되는 신호의 크기에 해당한다. 마찬가지로 태그가 PSK 변조를 하는 경우는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$X_{M,PSK}(t) = A_M \cos\left\{\omega t - \frac{4\pi d}{\lambda} + \theta_s(t) + \theta_{LO}\left(t - \frac{2d}{c}\right)\right\} \quad (3)$$

여기서 $\theta_s(t)$ 는 tag의 위상 변조된 이진 데이터로 “0”가 “1”에 따라 변조 각도(modulation angle)만큼 변하게 된다. 예를 들어 변조 각도가 $\pi/4$ 라고 하면 “0”인 경우 $-\pi/4$ 값을 “1”인 경우 $\pi/4$ 값을 가지게 된다.

이제 신호 $X_M(t)$ 는 식 (1)의 국부 발진기와 혼합되어 기저 대역 신호로 주파수 변환되게 된다. 먼저 문제를 간단히 하기 위하여 기저 대역 수신부 필터가 저주파 차단 주파수 f_L 과 고주파 차단 주파수 f_H 사이에 평탄한 특성을 갖고, 그 외 대역에서는 영인 이상적인 필터라고 가정하고, 누설 전력이 없다고 가정하면, 직접 변환된 기저 대역 신호 $A_I(t)$ 및 $A_Q(t)$ 는 AWGN 잡음 신호를 포함하여 다음과 같이 표현된다.

$$X_{I,ASK}(t) = A_M s_{ASK}(t) \cos\left\{\theta_0 + \frac{4\pi d}{\lambda} + \Delta\theta(t)\right\} + n_0(t) \quad (4a)$$

$$X_{Q,ASK}(t) = A_M s_{ASK}(t) \sin\left\{\theta_0 + \frac{4\pi d}{\lambda} + \Delta\theta(t)\right\} + n_0(t) \quad (4b)$$

$$X_{I,PSK}(t) = A_M \cos\left\{\theta_0 + \frac{4\pi d}{\lambda} + \theta_s(t) + \Delta\theta(t)\right\} + n_0(t) \quad (4c)$$

$$X_{Q,PSK}(t) = A_M \sin\left\{\theta_0 + \frac{4\pi d}{\lambda} + \theta_s(t) + \Delta\theta(t)\right\} + n_0(t) \quad (4d)$$

여기서, θ_0 는 주파수 혼합기와 안테나 사이의 회로 지연에 따른 고정된 위상값에 해당하며, $\Delta\theta(t)$ 는 residual phase error로 다음과 같이 표현된다.

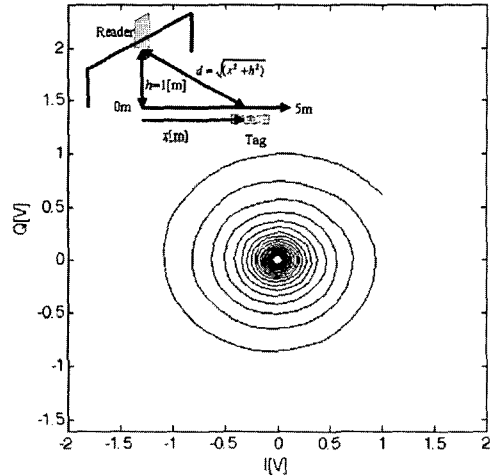
$$\Delta\theta(t) = \theta_{LO}(t) - \theta_{LO}\left(t - \frac{2d}{c}\right) \quad (5)$$

식 (4) 및 식 (5)에서 알 수 있듯이 UHF RFID 리더 수신기는 태그와 리더 사이의 거리에 의한 주기적인 위상차 $\theta_0 + 4\pi d/\lambda$ 와 두 개의 위상 잡음의 차 $\Delta\theta(t)$ 에 해당하는 새로운 위상 잡음에 의해 영향을 받음을 알 수 있다. 참고로 이 중 위상 잡음에 대한 영향은 저자의 이전 논문에서 자세히 분석되어 있다^{[9]-[7]}.

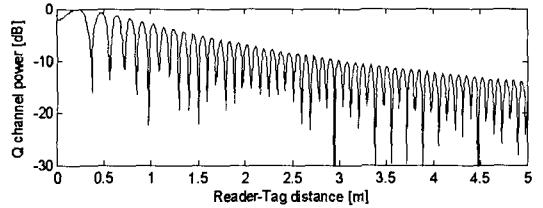
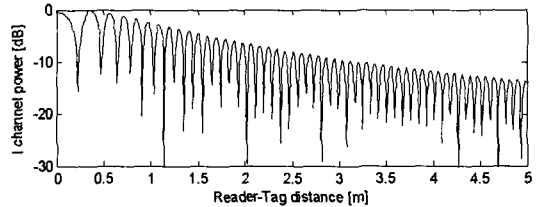
주기적인 위상차에 의한 효과를 보기 위해 다음 그림 2(a)와 같이 리더는 높이 1 m에 위치해 있고, 태그가 리더 바로 밑에서부터 x 축 방향으로 원점에서 리더로부터 수직으로 이동하면서 데이터 "1"을 송신한다고 가정하면 다음 그림 2(b)와 같이 수신 레벨이 변하는 페이딩 특성을 얻을 수 있다. 즉 식 (4a)에서 위상 잡음이 없다고 가정하면 $4\pi d/\lambda$ 가 π 의 정수배가 되면 $X_I(t)$ 가 최대가 되고, $4\pi d/\lambda$ 가 $\pi/2$ 의 홀수 배가 되면 $X_I(t)$ 가 최소가 된다. 이제 최소점과 최소점 사이의 거리를 계산하면 $\lambda/4$ 가 되며, 이는 주파수 910 MHz로 가정하면 6.8 cm가 된다. 따라서 리더가 단일 채널 수신기를 갖는 리더는 태그 신호를 제대로 복조할 수 없음을 알 수 있다. 다행히 $X_I(t)$ 가 최대가 될 때 $X_Q(t)$ 는 최소가 되며, $X_I(t)$ 가 최소가 될 때 $X_Q(t)$ 는 최대가 된다. 만약에 복조기가 $X_I(t)$ 와 $X_Q(t)$ 중에서 큰 값을 선택한다면, 다음 그림 3과 같이 최소점을 피할 수 있으나, 두 점이 $\pi/4$ 의 홀수 배가 되는 경우 최대 3 dB의 신호 크기의 감소가 발생한다.

III. I/Q 복조기의 다이버시티 결합 방식

본 장에서는 2장에서 유도한 RFID 시스템에서 수신 신호 특성을 분석하여 태그 변조 방식에 따른 최적의 신호 결합 방법을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션으로 제시한 결합 방법의 성능을 분석한다. 태그 변조 방식에 따른 I 채널과 Q 채널의 성상도를 그리면 그림 4와 같다. 성상도에서 DC offset은 없다고 가정하였으므로 원의 반경은 태그 신호의 크기에 해당하며, 신호 궤적을 나타내는 각도 $\theta_0 + 4\pi d/\lambda$ 는 태그와 리더 사이의 거리의 함수가 된다. PSK의 경우는 신호의 크기는 일정하며, 각도에만 정보가 있을 수 있다.



(a) 태그-리더 거리 변화에 따른 성상도의 변화
(a) Constellation diagram with respect to the reader-tag distance



(b) 태그-리더 사이의 거리에 따른 각 채널의 수신 신호 레벨 변화
(b) Received signal variations with respect to the reader-tag distance

그림 2. 태그와 리더 사이의 거리에 따른 UHF RFID 리더 수신기의 수신 신호 변화

Fig. 2. Received signal variation characteristics of a UHF RFID receiver with respect to the distance between a reader and a tag.

3-1 ASK 신호의 신호 결합 방법

본 절에서는 ASK 신호의 신호 결합 방법에 대해 살펴본다. 그림 1과 같은 직교 변환 수신기를 가정하고, 태그 신호가 ASK 변조라고 가정하면, I 채널과 Q 채널의 신호 그림 4(a)의 신호 궤적이 I축과 Q축에

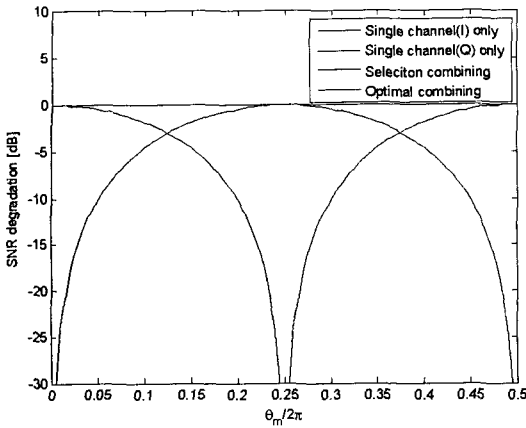


그림 3. I 채널, Q 채널 및 선택 다이버시티의 수신 신호 변화
 Fig. 3. Received signal variation of a UHF RFID receiver with respect to I, Q and selection diversity.

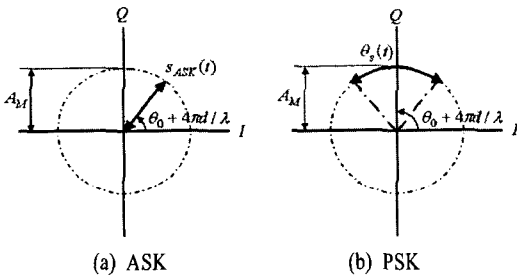


그림 4. ASK 및 PSK 변조의 성상도
 Fig. 4. ASK and PSK constellation diagram.

투영된 벡터의 크기와 같다. 따라서 I 채널 신호와 Q 채널 신호의 전력의 평균을 취하고, 열잡음 및 range correlation 효과^[7]에 의해 위상 잡음 효과를 무시하면 최종 복조될 신호는 리더와 태그 사이의 위상차에 의한 페이딩 효과를 극복할 수 있다.

$$X_{ASK}(t) = \sqrt{(X_{I,ASK}(t))^2 + X_{Q,ASK}(t)^2} \approx \sqrt{2} A_M A_{LO} s_{ASK}(t) \quad (6)$$

식 (6)으로부터 RFID 리더기에서 I/Q 복조기를 사용하는 이유가 분명해졌다. 이상의 결과를 이용하여 고정된 위상차에 의해 리더 수신기에서 복조되는 I 채널과 Q 채널의 크기를 그림 5에 나타내었다. 고정된 위상값이 $\pi/4$ 인 경우 I 채널과 Q채널의 크기는

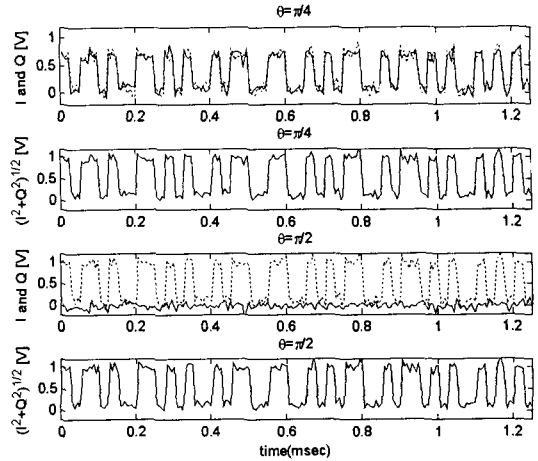


그림 5. ASK 변조의 경우, I, Q 신호의 시간 파형 및 I/Q 결합에 의한 신호 복조(실선: I 채널, 점선: Q 채널 신호)
 Fig. 5. I and Q time domain waveform in case of ASK modulation and demodulated waveform using I/Q power combining(solid line: I channel signal, dotted line: Q channel signal).

감소하지만 동일하고, 고정된 위상값이 $\pi/2$ 인 경우 I 채널은 사라지지만 Q 채널은 최대가 된다. 하지만 두 경우 모두 전력의 평균을 취하면 열잡음을 제외하고는 동일한 크기가 나옴을 확인할 수 있다.

3-2 Arctangent 결합 방식에 의한 PSK 신호의 결합

본 절에서는 PSK 신호의 신호 결합 방법에 대해 살펴본다. PSK 변조의 경우 정보가 위상에 들어 있으므로 ASK의 경우처럼 I 채널 신호와 Q 채널 신호의 기하 평균을 취하게 되면 위상 정보가 사라지므로 PSK 변조의 경우에는 두 신호 중 큰 신호를 선택하거나, 두 신호의 arctangent를 취함으로써 위상 정보를 복원할 수 있다. arctangent 방식을 사용하는 방식을 식으로 유도하면 다음 식 (7)과 같다.

$$X_{PSK}(t) = \arctan\left(\frac{X_{Q,PSK}(t)}{X_{I,PSK}(t)}\right) = \arctan\left(\frac{\sin(\theta_0 + 4\pi d / \lambda + \theta_s(t))}{\cos(\theta_0 + 4\pi d / \lambda + \theta_s(t))}\right) = \theta_0 + 4\pi d / \lambda + \theta_s(t) \quad (7)$$

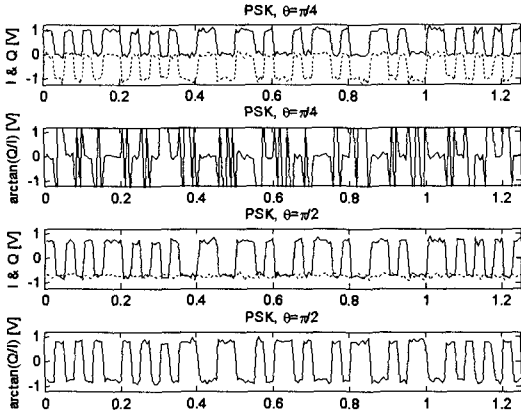


그림 6. PSK 변조의 경우 I, Q 신호의 시간 파형 및 I/Q 결합에 의한 신호 복조(실선: I 채널, 점선: Q 채널 신호)

Fig. 6. 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).

식 (7)로부터 Tag 변조 방식이 PSK인 경우, 리더와 태그 사이의 위상차에 의한 페이딩 효과를 극복하면서 복조할 수 있음을 확인할 수 있다. 하지만 arctangent 방식은 나눗셈 연산이 들어가므로 I 채널이 잡음에 의해 영 근방에 있을 때 오차가 커지는 단점이 있다. 이러한 예가 그림 6에 나타나 있다. 그림 6에서 위상차가 $\pi/2$ 이고 변조 각도가 $\pm\pi/4$ 일 때는 분모가 영이 될 수 없으므로 원 신호를 복조하는데 반하여 위상차가 $\pi/4$ 일 때는 분모가 영이 되는 경우가 발생하므로 식 (7)의 계산 시 데이터가 손상됨을 알 수 있다.

3-3 Principle Component 결합 방식에 의한 PSK 신호의 결합

따라서 본 논문에서는 arctangent 결합 기법의 단점을 극복하기 위해 분산 행렬의 고유벡터(eigenvector)를 이용한 principal component 결합 방법을 PSK 변조 시 최적의 결합 방법으로 제시한다. Principal component 결합(PCC) 방법은 입력 신호의 분산 행렬을 이용한 고유치-고유값 분해 방법으로 CDMA 방식에서 레이크 수신기에서 다중경로 성분으로부터 원하는 코드만을 결합하기 위해 사용되었다^[12].

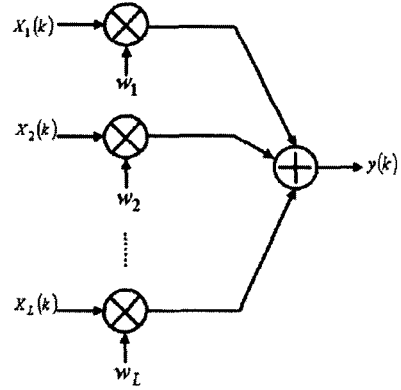


그림 7. Principal component combining 기법의 결합기 구조
Fig. 7. Combiner structure using principal component combining method.

PCC 방식을 설명하기 위하여 그림 7과 같은 결합기를 고려한다. 본 논문에서는 직교 복조기에 의해 I와 Q의 두 가지 채널만이 있지만, 참고문헌 [9]와 같이 여러 채널이 있는 경우까지 고려하기 위하여 L 개의 채널이 있는 경우로 일반화한다.

L 개의 다이버시티 채널 각각에 이산화된 PSK 수신 신호 $X_i(k)$ 를 복소수 형태로 쓰면 식 (8)과 같이 주어진다.

$$X_i(k) = A_M e^{j\theta_i(k)} e^{j\theta_s(k)} + n_i(k), \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (8)$$

여기서 $\theta_i(k)$ 는 각 채널의 위상 특성에 해당하고, $\theta_s(k)$ 는 PSK 변조의 이산 신호에 해당되며, $n_i(k)$ 는 AWGN 잡음 전력에 해당한다. 이제 $\mathbf{X}(k) = [X_1(k) X_2(k) \dots X_L(k)]^T$ 로 정의하고, $\boldsymbol{\theta} = [\theta_1(k) \theta_2(k) \dots \theta_L(k)]^T$ 와 $\mathbf{n}(k) = [n_1(k) n_2(k) \dots n_L(k)]^T$ 로 정의하면 식 (8)은 벡터 형식으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{X}(k) = A_M \boldsymbol{\theta} e^{j\theta_s(k)} + \mathbf{n}(k) \quad (9)$$

이제 $\mathbf{X}(k)$ 의 상관 행렬은 정의식 $\mathbf{R}_r = E\{\mathbf{X}(k) \mathbf{X}^H(k)\}$ 에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{R}_r = A_M^2 \boldsymbol{\theta} \boldsymbol{\theta}^H + N_0 \mathbf{I} \quad (10)$$

각 신호에서의 추정 구간 동안 채널의 변화가 느리다면 식 (12)에 대한 정확한 추정이 가능할 것이

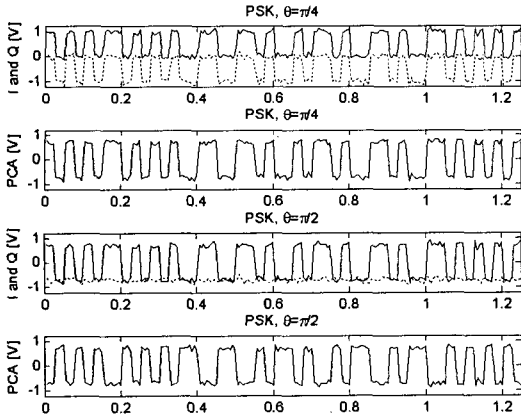


그림 8. PSK 변조의 경우, I, Q 신호의 시간 파형 및 principal component 결합에 의한 신호 복조 (실선: I 채널, 점선: Q 채널 신호)

Fig. 8. I and Q time domain waveform in case of PSK modulation and demodulated waveform using I/Q principal component combining (solid line: I channel signal, dotted line: Q channel signal).

며, 이제 상관 행렬로부터 결합기의 계수 $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_L]^T$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\mathbf{w} = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{E\{\|\mathbf{w}^H \mathbf{X}(k)\|^2\}}{\|\mathbf{w}\|^2} = \arg \max_{\mathbf{w}} \frac{\mathbf{w}^H \mathbf{R}_r \mathbf{w}}{\|\mathbf{w}\|^2} \quad (11)$$

식 (11)의 해는 \mathbf{R}_r 중 가장 큰 고유값과 관련된 정규화된 고유벡터가 되며, 이것은 \mathbf{R}_r 의 principal component라고 불리운다. 다음 그림 8은 PSK 변조 신호가 입력으로 들어왔을 때의 값에 상관없이 principal component 성분이 정확한 결과를 보여줌을 알 수 있다.

3-4 태그 변조 방식에 따른 SER 성능

태그 신호는 코딩의 경우, FM0 혹은 Miller 방식을 사용한다. 본 논문에서는 FM0 코딩을 가정하고, ASK와 PSK 변조 방식을 사용하는 경우 SER 특성을 구하면 식 (12) 및 식 (13)과 같이 주어진다^[7].

$$P_{FM0-BPSK} = 2Q\left(\sqrt{2\sin^2(\Delta\theta)\frac{E_b}{N_0}}\right) \times \left[1 - \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{2\sin^2(\Delta\theta)\frac{E_b}{N_0}}\right)\right] \quad (12)$$

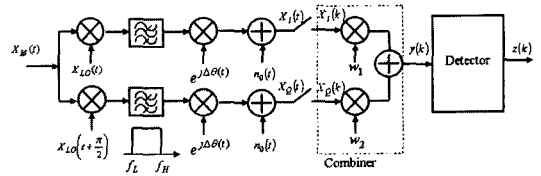


그림 9. SER 시뮬레이션을 위한 블록도
Fig. 9. Block diagram for SER simulation.

$$P_{FM0-BASK} = 2Q\left(\sqrt{2\kappa\frac{E_b}{N_0}}\right) \times \left[1 - \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{\kappa\frac{E_b}{N_0}}\right)\right] \quad (13)$$

여기서, κ 는 $m^2 / \{1 + (1 - m)^2\}$ 이고, $\Delta\theta$ 는 BPSK 심볼의 위상 차이를 1/2로 나눈 값이고, E_b/N_0 는 수신기의 평균 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 의미한다.

다음으로 SER을 시뮬레이션하기 위한 블록도는 그림 9와 같다. 시뮬레이션 파라미터는 Gen. 2 규격을 기본으로 하였고, 태그 변조는 ASK와 PSK 두 경우에 대해 변조지수를 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.

신호 결합 방법에 따른 FM0-BASK 및 FM0-BPSK의 SER 결과는 각각 그림 10과 같다. 그림과 같이 I 채널과 Q채널 모두에서 선택 다이버시티를 사용하는 경우 각도에 따라 최대 3 dB의 오차가 발생함을 알 수 있고, 최적 결합 방법으로 이를 극복할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 UHF RFID 시스템에서 태그와 리더 사이의 거리에 따른 위상차에 의한 주기적인 신호의 감쇄 현상을 페이딩 특성으로 설명하고, 이를 극복하기 위한 위상 다이버시티 방법을 기술하였다. 위상 다이버시티를 사용하지 않고 단일 채널 수신기를 구성했을 때 발생하는 수신 신호의 페이딩 특성을 분석하여 위상 다이버시티의 필요성을 보였다.

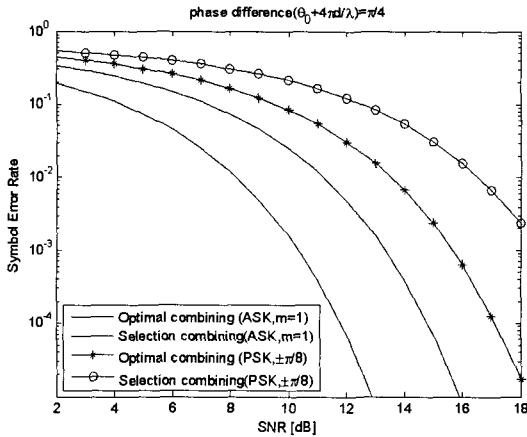


그림 10. 신호 결합 방식에 따른 FM0 신호의 심볼 에러 확률 특성

Fig. 10. Symbol Error Probability of FM0 signal with respect to signal combining method.

ASK의 경우, I와 Q채널의 전력 결합을 이용하고 PSK 변조의 경우 principle component 결합 방법을 이용하면, 선택 다이버시티에 의해 발생하는 최대 3 dB의 SNR 감소를 극복할 수 있음을 확인하였다. 이론 분석 및 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시한 최적 결합 방법이 선택 다이버시티에 비해 최대 3 dB의 SNR 개선 효과를 가짐을 확인하였다. 현재까지 UHF RFID 시스템 중에서 특히 PSK 방식의 수신기에 대한 정량적인 연구가 부족한 상태이므로 본 논문은 UHF RFID 리더를 설계하기 위한 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 장병준, 박준석, 성영락, 오하령, "RFID dense 모드 지원을 위한 medium access 기술", 한국통신학회지, 23(12), pp. 17-28, 2006년.
 [2] 장병준, 오하령, 성영락, 박준석, "UHF RFID Air Interface 기술 동향", 한국통신학회지(정보와 통신), 24(8), pp. 14-22, 2007년 8월.
 [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 인식거리에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 18(11), pp. 1243-1253, 2007년 11월.
 [7] 장병준, 조홍구, 임재봉, "위상 잡음의 거리상관 효과에 따른 UHF RFID 리더의 성능 분석", 한국전자과학회 종합학술발표회, 17(1), pp. 193-197, 2007년.
 [8] Daniel M. Dobkin, *The RF in RFID : Passive UHF RFID in Practice*, Elsevier, 2008.
 [9] Ki Yong Jeon, Chang Seok Yoon, and Sung Ho Cho, "A quadruple diversity receiver in the UHF RFID reader system", *RFID Eurasia, 2007 1st Annual*, pp. 1-4, Sep. 2007.
 [10] 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.
 [11] 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.
 [12] T. -H. Liu, "Principle component combining with differential detection for DPSK signals over Rayleigh fading channels", *IEE Proc. Commun.*, vol. 152, no. 6, pp. 1015-1020, Dec. 2005.
 [13] Byung-Jun Jang, "Phase diversity and optimal I/Q signal combining methods on an UHF RFID reader's receiver", *Microwave Journal(Web Exclusive)*, vol. 51, no. 4, pp. 1-14, Apr. 2008.

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), 무선통신시스템, RFID/USN

송 호 준



1985년 2월: 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)

1988년 2월: 학국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1992년 8월: 학국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1992년 9월~1995년 1월: 하이닉스

선임연구원

1995년 2월~2000년 1월: 충남대학교 조교수

2000년 2월~2005년 8월: 피델릭스 부사장

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 통신용 RFIC 설계, RFID/USN