

MATLAB simulink를 이용한 Near-Field Communication 송수신기의 behavioral simulation 플랫폼 설계

논 문
59-10-33

A Design of Behavioral Simulation Platform for Near Field Communication Transceiver using MATLAB Simulink

안 덕 기* · 배 상 근* · 황 인 철†
(Deok Ki Ahn · Sang Geun Bae · In Chul Hwang)

Abstract - Near-Field Communication (NFC) is a short-range wireless communication technology evolved from RFID especially for the exchange of data between active and passive devices. This paper presents the mathematical models for the signal path of a NFC transceiver system and a behavioral simulation platform using MATLAB simulink. The approximated mathematical models simplify the simulation complexity of a transceiver and provide a quick evaluation. With this calculation platform, we can evaluate the system performance caused by the noise and the non-linearity of the individual blocks, and caused by system variables such as Effective Number of Bits (ENOB) of ADC and filter cutoff frequency. This platform provides us with a rapid prototyping, a reliable system design, and an efficient risk management during development of the NFC transceiver ICs.

Key Words : Near field communication, NFC, Matlab, Simulink, Transceiver

1. 서 론

NFC는 모바일 RFID 기술을 기반으로 13.56MHz 대를 사용하는 비접촉식 무선통신 방식으로 ISO/IEC 18092, ECMA, ETSI 등의 국제 표준 기술이며, 수십 센티미터 거리에서 낮은 전력으로 단말기간의 데이터를 전송할 수 있는 기술을 말한다[1][2][3]. 기존의 RFID에서의 리더와 태그 간의 통신 뿐 아니라 리더와 리더 간의 통신도 가능하다. RFID의 기술은 현재 실생활의 많은 부분에서 이용되고 있으며 특히 NFC는 차세대 유비쿼터스(ubiquitous) 시대를 이끌 중요한 요소 중의 하나로 꼽히고 있다. 따라서 NFC 기능을 지원하는 솔루션 개발이 점점 중요해지게 될 것이다. 현재 통신시스템은 매우 복잡하며 각각의 표준을 준수해야 함에 있어서 많은 어려움을 가지게 된다. 이는 결국 시스템의 개발 단계에서 많은 시간과 돈을 소모하게 되며 결국 chip의 단가를 높리게 되는 원인이 될 수 있다. NFC 시스템의 경우 저가의 시스템 개발은 시장의 확대와 경쟁력을 위하여 필수 불가결한 문제이다. 이러한 차원에서 회로 설계 및 검증 전에 미리 시스템 성능을 평가할 수 있는 가상 플랫폼의 개발은 개발 기간을 단축하고 개발하려는 시스템의 신뢰도를 높일 수 있으며 저가의 시스템 개발에 있어서도 큰 장점을 가질 수 있다.

본 논문에서는 NFC 송수신기 개발을 위한 Matlab 플랫폼

를 제안한다. 본 논문은 2장에서 NFC 표준에 대한 설명과 그에 대한 송수신기 구조를 제안하고 3장에서는 Matlab을 통한 모델링을 통해 실제 송수신기의 behavioral 모델을 구현하였다. 4장에서는 구현된 모델을 통해 각 블록의 파라미터에 따른 BER의 시뮬레이션 결과를 제시한다.

2. Near field communication

NFC는 전자 장치들 간의 단거리 통신을 가능케 해주는 무선 접속 기술이다. NFC는 가전 장치들을 연결시켜 신속하고도 손쉬운 통신을 가능케 해준다. 이 통신 솔루션은 갈수록 복잡해지고 연결성이 높아지는 세계에서 데이터의 제어 목적을 하고 있다. 이 솔루션은 직감적으로 동작하기 때문에 소비자들이 사용하기 쉬우며, 보안 기능들 덕분에 지불 및 마케팅 어플리케이션에도 적합하다. NFC 기능을 갖춘 장치들은 능동(Active) 또는 수동(Passive) 모드로 데이터를 교환할 수 있다. 수동 모드에서는 NFC 리더(initiator)가 통신 세션 내내 RF 필드를 공급한다. 이 장치는 데이터를 NFC 태그(target)에 106Kbps나 212Kbps 혹은 424Kbps의 속도로 보낸다. NFC 태그는 필드를 생성해야 할 필요가 없지만, 부하 변조 기술을 이용하여 동일한 속도로 데이터를 리더로 다시 보낸다. 이러한 통신 메커니즘은 무접촉 스마트카드와 호환성을 가지므로 수동 모드의 NFC 리더는 동일한 연결 및 초기화 절차를 이용해 접속을 감지 및 확립 할 수 있다.

표 1은 RFID 와 NFC의 송수신기가 가져야 하는 특징을 보여준다[4]. 두 통신 방식은 13.56MHz의 carrier 주파수를 가지는 점은 공통점이지만 NFC의 경우에는 기존의 RFID와

* 준 회원 : 강원대 전기전자공학 석사과정
† 교신저자, 정회원 : 강원대 IT특성화학부 전기전자전공 조교수
E-mail : ihwang@kangwon.ac.kr
접수일자 : 2010년 6월 30일
최종완료 : 2010년 8월 20일

표 1 RFID와 NFC의 송신기 파라미터

Table 1 Transmitter parameters of RFID and NFC

Operating standard	RFID and NFC Passive Mode			NFC Active Mode	
	ISO 14443 Type A	ISO 14443 Type B	ISO 15683	Bit rate : 106kbps	Bit rate : 212 or 424kbps
Carrier frequency	13.56MHz				
Modulation depth (Reader → Tag, Target)	100% ASK	10% ASK	Reader selects 10 or 100% ASK	100% ASK	Initiator selects 8~30% ASK
Coding (Reader → tag, Target)	Modified miller	NRZ	Pulse position	Manchester	

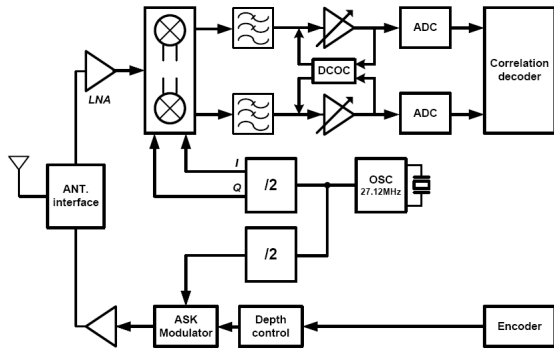


그림 1 NFC 송수신기의 블록도
Fig. 1 Block diagram of NFC transceiver

달리 변조 시에 depth를 8~30%의 값을 가지며 manchester coding 방식을 추가적으로 요구한다는 점에서 차이점을 가진다. 그에 따라 NFC 모드를 지원하기 위해서는 송수신기 구조 및 성능에서 기존의 시스템과의 차이를 가져온다.

그림 1은 기존의 RFID와 NFC를 통합하는 송수신기를 위해 제안하는 블록도이다. 송신부는 encoder를 통해 modified miller, manchester 코딩을 하고 depth 제어와 진폭 변조를 통해 안테나로 데이터를 송신한다. 수신부는 저잡음 증폭기를 거친 후 믹서를 통해 하향 변환시킨다. 기존의 RFID 수신기는 envelope 검파기를 사용하여 단순 threshold 값을 비교하는 binary detection 구조를 사용한다 [6]. 그러나 NFC 수신기는 낮은 Signal to Noise Ratio(SNR) 신호를 안정적으로 복구할 필요가 있기 때문에, correlation detection을 사용하고, 이를 위해 믹서(Mixer) 기반의 Analog Front-End(AFE)와 다중 비트 ADC의 적용이 필요하다. 하향 변환된 신호는 저대역 통과 필터(LPF, Low Pass Filter)를 통해 원하는 신호만 걸러내고 가변 이득 증폭기를 통해 ADC가 안정적으로 변환을 하기 위한 신호 크기로 맞춰준다. 직접 변환(direct conversion) 방식을 이용하고 있고 특히 RFID 송신 carrier의 누설에 의해 문제가 되는 DC-offset을 해결하기 위해 DC-Offset Cancellation(DCOC)를 이용한다. 동작 주파수 자체가 높지 않기 때문에 믹서에서 필요한 I, Q 주파수 신호는 크리스탈 발진기를 통해 발생시킨다.

이 경우 저잡음 증폭기, 믹서에서 생각할 수 있는 gain,

noise figure, 선형성 등과 필터의 차단 주파수, ADC의 bit 수 등의 시스템 budget을 어떻게 잡느냐에 따라 BER에 미치는 영향이 크다. Gain은 수신기 입력으로 들어오는 미약한 신호를 ADC가 안정적으로 디지털 신호로 변환할 수 있는 크기의 신호로 만들어 줄 수 있는지를 결정한다.

Noise figure나 선형성은 SNR을 열화 시키고, 차단 주파수는 신호를 얼마나 잘 걸러내고 ADC bits는 ADC의 입력까지 전달된 신호를 얼마나 높은 해상도로 디지털로 변환할 수 있는지를 결정한다. 송수신기의 결과 예측은 기존의 많은 해석 방법들을 통해 가능하지만 정확한 수학적 모델을 통해 유도된 신뢰도가 높은 플랫폼을 통해 각 블록에 대한 영향을 미리 예측할 수 있다면 개별 블록의 spec.을 도출하고 송수신기 개발 단계에서의 실수 방지에 유용하게 사용될 수 있다.

3. MATLAB을 이용한 송수신기 구현

3.1 데이터 인코더

NFC는 manchester와 modified miller code를 이용한 ASK 통신을 한다. Manchester code는 DC 성분에 데이터를 포함하고 있지 않으며 인코딩 정보로부터 clock 신호를 복원할 수 있다는 장점이 있다. modified miller code는 miller code에서 수정된 형태로써 하나의 비트의 정보를 전송하는 도중에 high에서 low로 내려가 있는 시간이 짧기 때문에 데이터 전송동안 연속적인 파워 공급이 안정적으로 가능하다는 장점이 존재한다. 그림 2는 MATLAB으로 구현된 데이터 인코더와 시뮬레이션 결과를 나타낸다. manchester code는 데이터 비트의 중간 또는 연속되는 데이터의 중간에서 각각 high에서 low, 또는 low에서 high로 변화한다. modified miller의 경우 데이터가 0일 경우 데이터 한주기 절반의 앞 영역에서, 1일 경우 데이터 한주기 절반의 뒤 영역에서 각각 high에서 low로 떨어졌다가 다시 high로 변화한다. 단 데이터가 1에서 0으로 바뀌는 경우에는 high 값을 계속 유지하게 된다.

그림 2의 (a)에서 제시된 바와 같이 manchester code는 간단한 XOR를 통해 구현이 가능하며 modified miller code의 경우에는 miller code를 먼저 구현한 후 edge 디텍터를 이용하여 구현하였다.

3.2 비선형과 noise 모델

RF 시스템은 기본적으로 비선형 특성을 가진다. 이러한 비선형 특성은 여러 고조파 성분들을 발생 시키며 이는 전체 시스템에 매우 큰 영향을 미치게 된다[5]. 그에 따라 이러한 비선형 모델링은 플랫폼의 신뢰성을 증가시킬 수 있다. 비선형성을 판단하는 대표적인 요소로써 IP3, P1dB 등으로 표현된다. 이외에도 noise figure와 phase noise 등의 noise 성분 또한 중요한 요소 중 하나이다. 어떠한 비선형 특성을 가지는 시스템에 w_1 과 w_2 의 주파수를 가지며 크기가 같은 두 신호를 넣어 주었을 때 출력으로 얻을 수 있는 값은 식 (1)과 같다.

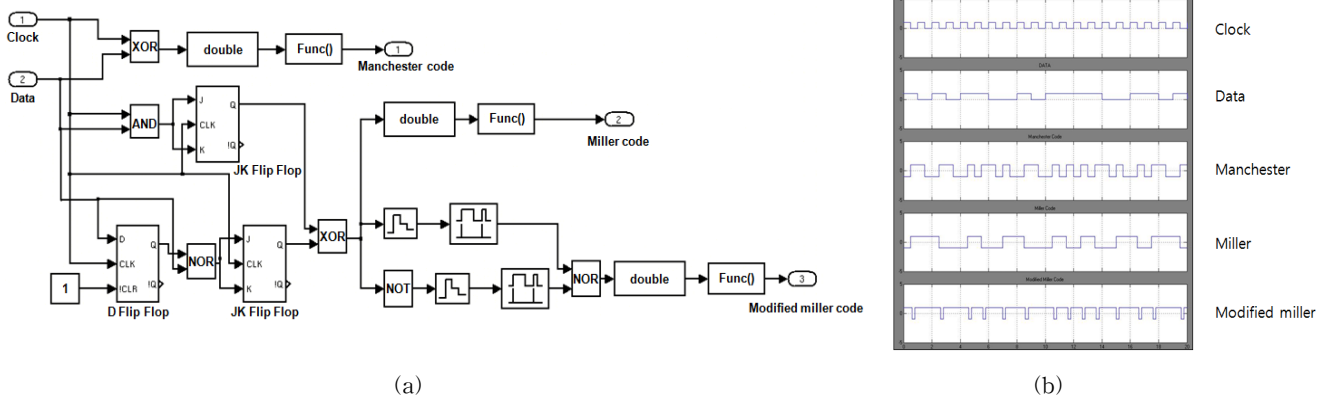


그림 2 (a) MATLAB으로 구현된 데이터 인코더, (b) 데이터 인코더의 시뮬레이션 결과
 Fig. 2 (a) Implemented data encoder in MATLAB, (b) Simulation results of data encoder

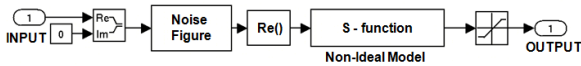


그림 3 증폭기의 비선형 모델링
 Fig. 3 Non-linearity of amplifier

$$out(t) = a_0 + a_1(Acos\omega_1t + Aacos\omega_2t) + a_2(Acos\omega_1t + Aacos\omega_2t)^2 + a_3(Acos\omega_1t + Aacos\omega_2t)^3 + \dots \quad (1)$$

식 (1)로부터 IP3와 P1dB 값을 유도 할 수 있으며 이는 식 (2)와 같다.

$$A_{IP3} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{a_1}{a_3}}, \quad A_{P1dB} = A_{IP3} - 9.6dB \quad (2)$$

이를 통해 역으로 IIP3와 P1dB 값을 알고 있으면 a_3 값을 유도할 수 있고 이는 곧 시스템의 비선형성을 나타낼 수 있다. 그림 3은 모델링 된 증폭기(Amplifier) 시스템을 보여 준다. 함수를 통하여 비선형성을 모델링하였고 noise figure와 증폭기에서의 saturation도 모델링 되어 시스템 변수로써 조절할 수 있도록 하였다. 증폭기와 마찬가지로 믹서 모델도 마찬가지로의 모델링이 가능하다.

그림 4는 국부 발진기(LO, Local oscillator)의 phase noise를 모델링 한 것이다. 국부 발진기의 phase noise는 데이터 신호의 송수신시 상향 또는 하향 변환이 될 때 본래의 신호 성분에 그대로 noise로 영향을 미치기 때문에 시스템의 특성을 열화 시킨다.

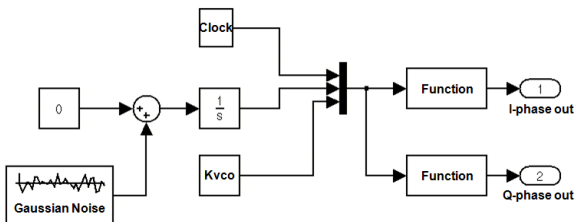


그림 4 국부 발진기의 phase noise 모델링
 Fig. 4 Phase noise modeling of local oscillator

3.3 리더 모델

그림 5는 NFC 리더의 signal path 모델과 각 블럭 단위에서 변경 가능한 시스템 파라미터를 나열하여 나타낸다. 리더의 송신기(Tx) 부분에는 데이터 인코더와 ASK의 depth를 제어할 수 있는 블록, 그리고 13.56MHz로의 상향 변환을 위한 국부 발진기와 믹서, 그리고 증폭기와 안테나 모델로 이루어진다. 수신기(Rx)는 반대로 첫 단계에 저잡음 증폭기를 거친 후 국부 발진기와 믹서를 통해 하향 변환 되고 RFID 시스템에서 문제가 되는 DC offset을 제거하기 위한 AC coupling block이 존재한다. 하향 변환된 데이터 신호는 anti aliasing 저대역 통과 필터를 거친 후 Analog to Digital Converter(ADC)를 통해 디지털로 변환된다.

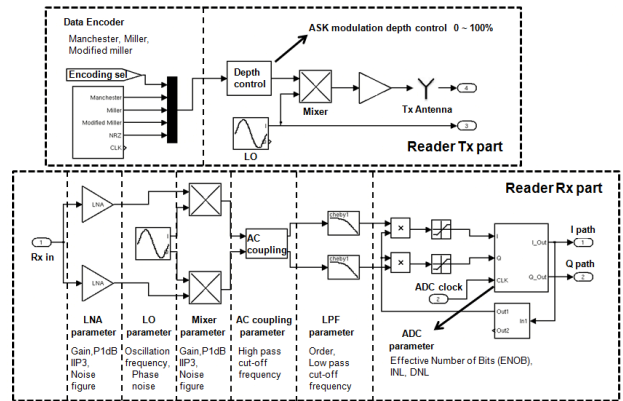


그림 5 NFC 리더 모델
 Fig. 5 NFC reader model

ADC의 출력은 수신 신호 강도 표시기(RSSI, Received Signal Strength Indicator)에 의해 수신 신호의 크기를 측정하고 그 값을 필터링 후의 값과 곱하여 ADC 입력 전의 신호 레벨을 일정 수준으로 유지하도록 한다. 저대역 통과 필터는 Chebyshev 필터를 사용하였으며 필터의 차수와 차단 주파수를 제어하면서 시스템 예측할 수 있도록 하였고 ADC는 Effective Number of Bits(ENOB)와 Integral Non-Linearity(INL)과

Differential Non-Linearity(DNL)의 영향을 고려할 수 있도록 하였다. 각각의 블록은 그림 5에 표시된 것과 같은 파라미터들을 가진다. 제시된 파라미터들은 송수신기 설계에 있어서 중요한 요소들이다.

3.4 태그 모델

태그는 리더로부터 Continuous Wave(CW)를 계속해서 공급받고 그 신호를 태그 안테나의 부하를 변조하여 리더로 재 송신하는 sub-carrier 부하 변조 방식을 이용한다.

태그는 리더로부터 공급받는 13.56MHz를 16, 32, 64, 128 분주하여 각 주기로 부하 변조를 발생시키며 그에 따라 13.56MHz를 중심으로 분주된 주파수 값만큼 떨어진 곳에서 태그의 송신 신호를 가진다. 그림 6은 태그의 시스템을 보여준다. 리더의 송신기로부터 받은 CW 신호를 분주하여 sub-carrier를 발생시키고 그에 따른 부하 변조 신호를 만들어 낸다.

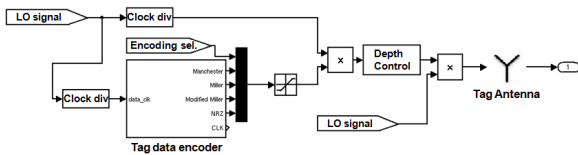


그림 6 태그 모델
Fig. 6 Tag model

3.5 자유 공간 손실 모델

무선 공간에서의 데이터 송신은 송신 시에 손실이 발생하며 외부의 noise의 영향을 받게 된다. 일반적으로 RFID 시스템에서 리더를 통해 태그를 거친 후 다시 리더로 돌아오는 신호의 크기는 대략 -70dBm 정도로써 매우 큰 손실을 발생시킨다[7]. 그에 따라 신호의 감쇄 및 noise를 추가하여 실제 환경에 맞는 모델이 필요하다.

3.6 Correlation 복조기

ASK 변조된 신호의 디지털 복원 시 가장 신뢰할 수 있는 방법 중의 하나가 정합 필터를 이용한 방법이다. 변조된 데이터의 형태를 이미 알고 있는 경우 입력 신호와 정합 필터의 전달함수와의 컨볼루션을 통해 필터링을 하게 되며 출력 값의 평균값을 계산하여 threshold 값을 판단하고 그에 따라 본래의 데이터로 복원된다. 그림 7은 구현된 정합 필터를 보여준다.

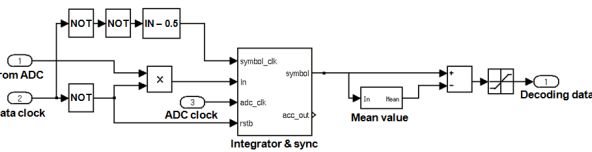


그림 7 정합 필터를 이용한 correlation 복조기
Fig. 7 Correlation demodulator by using matched filter

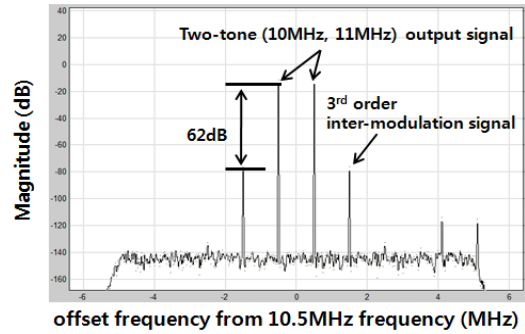


그림 8 비선형성으로 인한 inter-modulation
Fig. 8 Inter-modulation by non-linearity

4. 시뮬레이션 및 결과

앞에서 각각 설계된 block 들을 이용하여 NFC를 지원하는 송수신기 모델을 검증한다. 이 4장에서는 수신기단에서 BER 성능을 증가시키기 위해 요구되는 각 블록의 값들을 유도하기 위한 시뮬레이션 및 검증을 진행한다. 가변 가능한 파라미터들 중 중요한 요소인 저대역 통과 필터의 차단 주파수와 ADC의 bits 값에 따라 BER에 미치는 영향을 테스트 하였다. 구현된 송수신기의 각각의 블록의 파라미터들을 변경하면서 0.001 이하의 BER을 가지기 위한 시스템 budget을 결정한다.

그림 8은 증폭기의 비선형성을 보여준다. 증폭기의 파라미터로 gain 10dB, IIP3 = 0dBm, P1dB = -10dBm 값을 입력하여 10MHz와 11MHz의 주파수에 -30dBm의 크기를 가지는 두 개의 신호를 넣어주게 되면 그림 8의 (a)와 같이 9MHz와 12MHz에 각각 3차 inter-modulation 성분을 발생시키는 것을 볼 수 있다. -30dBm의 신호가 이득을 얻음으로써 증폭이 되고 이 증폭된 신호와 3차 inter-modulation 성분과의 크기 차는 62dB의 값을 가짐을 확인할 수 있다.

그림 9는 424kbps의 manchester 인코딩된 데이터가 847kHz의 sub-carrier에 10% depth로 ASK modulation 되어서 태그 모델로부터 리더 모델로 데이터가 전송되고 자유 공간으로부터 신호 감쇠와 잡음이 추가되는 현상과 정합 필터를 이용하여 데이터가 완전 복구 되는 것을 시뮬레이션 한 결과이다. NFC를 지원하는 모델간의 통신은 sub-carrier를 이용하지 않는다. 그림 10은 다른 파라미터들은 고정 시킨 상태에서의 수신기의 저대역 통과 필터의 차단 주파수에 따른 BER 특성과 ADC bit 수에 따른 BER 특성을 보여준다. 424kbps의 manchester 인코딩을 하였고 저대역 통과 필터의 차단 주파수가 인코딩 데이터의 bit rate을 충분히 만족하지 못하면 에러가 크게 상승하는 결과를 보여준다. ADC도 마찬가지로 bit 수가 커질수록 해상도가 좋아지므로 BER이 크게 영향을 받는 경향을 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있다. 이 시뮬레이션을 통해 우리는 0.001 이하의 BER을 얻기 위해서는 최소 900kHz의 차단 주파수와 3bit의 ADC를 가져야 한다는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션을 통해 그림 10에서 제시하고 있는 파라미터 뿐만 아니라 송수신기의 모든 파라미터와 BER 과의 연관 관계를 해석할 수 있다.

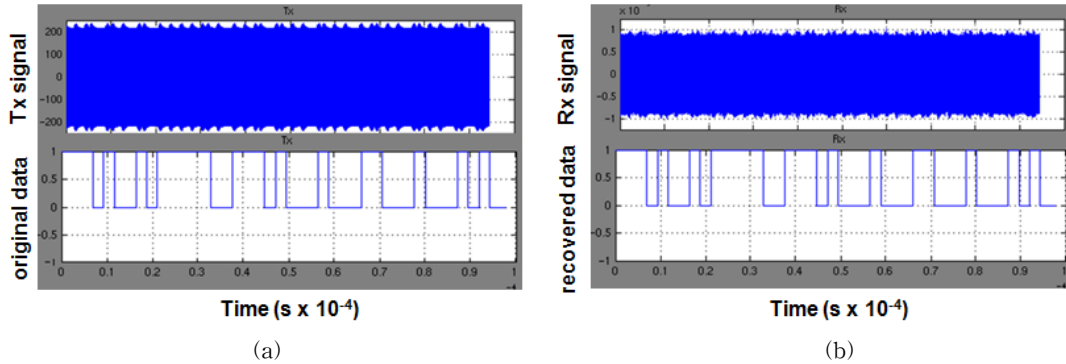


그림 9 424kbps manchester 인코딩, 847kHz sub-carrier, 10% depth ASK 변조 (a) 송신 신호(위)와 본래의 데이터(아래), (b) 수신 신호(위)와 복구된 데이터(아래)

Fig. 9 424kbps manchester encoding, 847kHz sub carrier, 10% depth ASK modulation (a) Transmitted signal(top) and original data(bottom), (b) received signal(top) and recovered data(bottom)

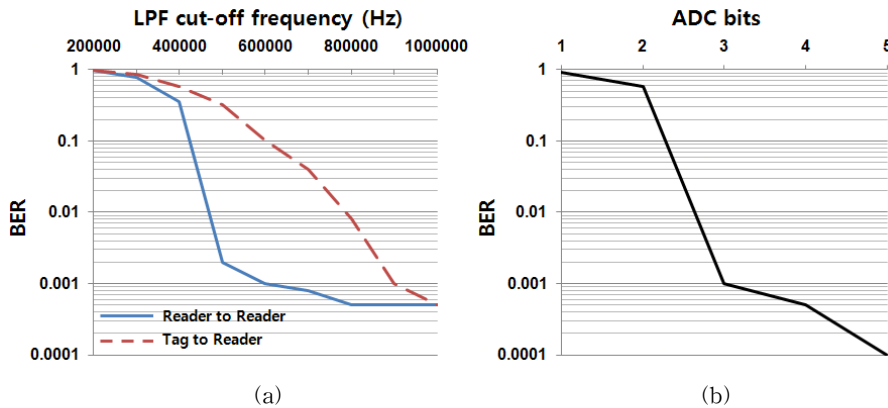


그림 10 주요 파라미터에 따른 BER 시뮬레이션 결과 (a) 저대역 통과 필터의 차단주파수, (b) ADC bits
 Fig. 10 Simulation results according to the parameter (a) cut-off frequency of low-pass filter, (b) ADC bits

5. 결 론

시스템 설계에 있어서 미리 그 시스템을 예측 할 수 있는 플랫폼은 개발 단계에서 소모되는 시간 및 비용을 줄일 수 있으며 앞으로 개발될 시스템에 대한 신뢰도를 증가시킨다. 이 논문에서는 NFC 기능을 지원하는 시스템의 새로운 송수신기 구조를 제안하며 그에 따른 Matlab 플랫폼을 제안한다. 데이터 인코딩에서부터 디코딩까지 전체 시스템을 플랫폼화 하였으며 송수신 데이터 간의 BER 수준을 측정하여 시스템의 신뢰도를 제시한다. 이 플랫폼을 통하여 개별 블록의 파라미터들을 변경하여 미리 동작을 예측할 수 있으며 좀 더 정확한 데이터 송수신을 위한 모델을 제안할 수 있다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “IT융합 스마트조명 고급인력양성사업”의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2010-C6150-1001-0016)

참 고 문 헌

- [1] International standard ISO/IEC 14443 -1, -2, -3, International Standardization Organization, April 2003.
- [2] ISO/IEC FDIS 18000-3: RFID for item management-Air interface, Part 3 - Parameters for air interface communications at 13.56MHz, April 2003.
- [3] ECMA-340 "Near field communication - Interface and protocol."
- [4] J. H. Cho, K. Min, S. H. Kim, "An ASK modulator and Antenna Driver for 13.56MHz RFID Reader and NFC Devices", IEICE Trans. On Communications, pp. 598-600, Feb, 2006.
- [5] Behzad Razavi, "RF Microelectronics", Prentice Hall, Inc. 1998.
- [6] M. W. Seo, Y. C. Choi, T. H. Kim, H. J. Yoo, "A 13.56MHz RFID Transceiver Soc for Multi-Standard Reader", IEEE Radio and Wireless Symposium, pp. 75-78, Jan 2009.

- [7] I. J. Kwon, Y. S. Eo, H. M. Bang, K. D. Choi, S. Y. Jeon, S. J. Jung, D. H. Lee, H. B. Lee, "A Single-Chip CMOS Transceiver for UHF Mobile RFID Reader", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 43, No. 3, pp. 729-739, Mar 2008.

저 자 소 개



안 덕 기 (安德基)

2009년 2월 강원대학교 전기전자전공 졸업. 2009년 2월 ~ 현재 강원대학교 전기전자공학과 (석사과정)

Tel : 010-7155-3501

E-mail : dkahn@kangwon.ac.kr



배 상 근 (裵祥根)

2009년 2월 강원대학교 전기전자전공 졸업. 2009년 2월 ~ 현재 강원대학교 전기전자공학과 (석사과정)

Tel : 010-7345-3389

E-mail : sgbae@kangwon.ac.kr



황 인 철 (黃仁哲)

1993년 고려대학교 전자공학 졸업. 1995년 고려대학교 공학석사 졸업. 2000년 고려대학교 공학박사 졸업. 2000년 ~ 2001년 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 에서 박사후 연구원. 2001년 ~ 2007년 삼성 Sys. LSI 선임 연구원. 2007년 ~ 현재 강원대학교 전기전자전공 조교수

Tel : +82-33-250-6299

E-mail : ihwang@kangwon.ac.kr