

통계적 모델링 기반의 임펄스 잡음 채널에서 수동형 UHF RFID 시스템의 성능

Performance of Passive UHF RFID System in Impulsive Noise Channel Based on Statistical Modeling

노재성
서일대학교 정보통신공학과

Jae-sung Roh

Department of Information & Communication Engineering, Seoil University, Seoil, 02192, Korea

[요약]

RFID(Radio Frequency Identification) 시스템은 응용 서비스의 비용과 에너지 효율성으로 인해 사물인터넷 기술의 핵심 구성 요소로 각광받고 있다. RFID 기술을 사물인터넷 응용 서비스 분야에서 사용하기 위해서는 RFID 시스템의 리더와 태그 사이의 단순한 인식뿐만 아니라 다양한 정보를 장기간 저장하고 관리할 수 있어야 한다. 그리고 정보를 태그에 읽고 쓰기 위하여 열악한 무선 채널에 강하고 신뢰성 있는 성능 향상 기술이 필요하다. 특히, UHF(Ultra High Frequency) RFID 시스템에서는 다수의 태그가 밀집 환경에서 수동적인 방법으로 통신하기 때문에 개별 태그의 인식률과 전송속도 향상이 필수적이다. 본 논문에서는 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능을 분석하기 위하여 Middleton의 A급 임펄스 잡음 모델을 선정하였고 태그에서는 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용하여 RFID 시스템의 오류 성능을 분석하였다. Middleton의 A급 임펄스 잡음 채널에서 RFID 시스템의 성능을 분석한 결과, 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 값과 임펄스 잡음 지수 값이 클수록 가우시안 잡음 채널과 유사함을 알 수 있었다.

[Abstract]

RFID(Radio Frequency Identification) systems are attracting attention as a key component of Internet of Things technology due to the cost and energy efficiency of application services. In order to use RFID technology in the IoT application service field, it is necessary to be able to store and manage various information for a long period of time as well as simple recognition between the reader and tag of the RFID system. And in order to read and write information to tags, a performance improvement technology that is strong and reliable in poor wireless channels is needed. In particular, in the UHF(Ultra High Frequency) RFID system, since multiple tags communicate passively in a crowded environment, it is essential to improve the recognition rate and transmission speed of individual tags. In this paper, Middleton's Class A impulsive noise model was selected to analyze the performance of the RFID system in an impulsive noise environment, and FM0 encoding and Miller encoding were applied to the tag to analyze the error rate performance of the RFID system. As a result of analyzing the performance of the RFID system in Middleton's Class A impulsive noise channel, it was found that the larger the Gaussian noise to impulsive noise power ratio and the impulsive noise index, the more similar the characteristics to the Gaussian noise channel.

Key word : BER performance, Impulsive noise channel, IoT wireless network, RFID system, UHF passive tag.

<https://doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.835>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 November 2023; Revised 14 December 2023
Accepted (Publication) 19 December 2023 (29 December 2023)

Corresponding Author; Jae-sung Roh

Tel: +82-02-490-7206

E-mail: jsroh@seoil.ac.kr

1. 서론

최근 RFID(Radio Frequency Identification) 기술은 사물인터넷의 기반 기술로 다양한 무선 응용 서비스의 개발과 함께 산업의 정보화에 크게 기여하고 있다[1]. 현재는 스마트 무선 디바이스의 수가 폭발적으로 증가하고 있으며 사물인터넷 응용 서비스에 따른 고유한 서비스 품질의 요구 사항이 제시되고 있다. 이에 따라 여러 기술표준 단체에서는 다양한 차세대 무선 기술이 개발되고 있다. 사물인터넷 기반 응용 서비스 개발 분야에서는 산업체가 요구하는 RFID 시스템의 리더와 태그의 요구사항이 단순한 인식뿐만 아니라 다양한 정보를 장기간 저장하고 관리할 목적으로 태그 메모리의 크기가 확장되고 있으며 해당 정보를 태그에 읽고 쓰기 위하여 열악한 무선 채널에 강하고 신뢰성 있는 성능 향상 기술이 연구되고 있다 [1]-[3].

RFID 기술은 물품과 팔레트 등에 부착되어 있는 태그로부터 부착물의 정보를 수집, 저장, 추적함으로써 사용자에게 물품에 대한 다양한 서비스를 제공한다. 이러한 기술은 상품 관리를 네트워크화하고 지능화함으로써 물품의 유통 및 관리, 보안 등에 사용되어 왔다. 또한 다양한 지능형 센서와 RFID 태그를 융합하여 센싱 데이터를 태그 메모리에 저장함으로써 주변 환경 정보를 모니터링 하는 등 RFID 응용 분야 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 또한 다량의 데이터를 고속으로 주고 받을 수 있는 RFID 통신기술이 필요하기 때문에 태그와 리더 사이의 통신 속도를 높이기 위해 기존 인코딩 기술보다 데이터 전송속도가 빠른 새로운 인코딩 기술이 요구되고 있다[3].

태그에서의 인코딩 기술은 리더와 태그 사이에 통신할 때 리더의 명령에 따른 태그 응답 신호의 정보를 표현하는 라인 코딩 기술이다. 기존 ISO/IEC(International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) 18000-63 표준을 따르는 태그는 FM0와 Miller 인코딩 기술을 사용한다. FM0 인코딩은 최대 640 kbps의 데이터 전송속도가 가능하며 전송 대역폭이 넓어져서 밀집 리더 환경에는 적합하지 않다. 그리고 RFID 리더에서 태그 데이터 복조 성능이 Miller 인코딩보다 떨어지는 단점이 있다. Miller 인코딩은 RF 간섭이 많은 환경에 적합하고 FM0 인코딩보다 안정된 통신이 가능하여 실제 RFID 시스템 적용 시에 FM0 인코딩보다 널리 사용되는 인코딩 방식이지만 FM0 인코딩보다 데이터 전송속도가 현저히 떨어지는 단점이 존재하고 있다 [4],[5].

RFID 시스템에서 태그와 리더 사이의 무선통신 환경이 복잡해짐에 따라 인식률, 정확도, 신뢰도의 저하 문제가 대두되고 있다. 따라서 RFID 인식률 향상을 위하여 태그의 인식률이 저하되는 주요 원인을 연구하는 것이 필요하다. 특히, 다량의 태그 밀집 환경에서 태그 간섭, 다중 리더와 태그 사이의 간섭, 리더 사이의 간섭, 다중경로 페이딩에 의한 수신 전력의 감소 문제와 같은 복잡한 무선 환경이 RFID 시스템의 인식률 저하 주요 원인으로 대두되고 있다. 태그의 후방 산란 신호의 크기가 작아져서 RFID 리더에서 수신되는 신호 대 잡음 전력비가 낮

은 경우와 사각 지대에 태그가 있는 경우 등으로 인하여 일부 태그가 인식이 되지 않는 문제가 발생하고 있다. 또한, RFID 시스템을 위한 무선통신 환경에서 발생할 수 있는 임펄스 잡음은 평균 전력에 비해 높은 전압 값을 가지는 펄스가 진폭이나 위상 혹은 발생 시간 면에서 불규칙하게 발생하여, RFID 통신시스템에 미치는 영향이 클 것으로 예상되고 있다. 따라서 본 논문에서는 Middleton의 A급 임펄스 잡음 채널에서 태그에서는 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용한 RFID 시스템의 오율 성능을 분석한다.

II. 수동형 UHF RFID 시스템

RFID 리더와 수동형 태그로 이루어진 전체 RFID 시스템의 구성은 그림 1과 같다. RFID 리더는 태그의 정보를 판독하거나 기록하는 일종의 무선 통신 시스템의 기능을 수행한다. 수동형 태그 시스템에서는 RFID 리더에서 태그로 RF 캐리어 신호를 송신하고 태그는 RF 신호가 들어오면 진폭 또는 위상 변조하여 태그에 저장된 데이터를 리더로 되돌려 준다. 되돌려 받은 변조 신호는 리더에서 복호화되어 태그 정보가 해독된다.

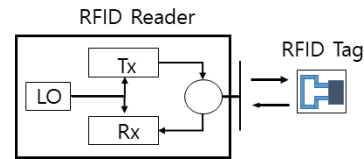


그림 1. RFID 시스템의 구성
Fig. 1. Configuration of the RFID system.

900 [MHz] 대역을 사용하는 수동형 RFID 리더는 수 미터의 거리에서 사물에 부착된 태그의 정보를 인식할 수 있으며 수집된 정보를 호스트에 제공하는 기능을 수행한다. RFID 리더는 안테나부, RF부, 변복조부, 신호처리부, 디지털 제어부로 구성된다. 수동형 RFID 시스템은 리더 및 태그의 RF 부의 성능과 주변 무선 환경에 의해 인식 거리와 인식률 등이 영향을 받는다. 현재는 인식 성능을 개선하기 위하여 하나의 리더에 다수개의 안테나를 연결하여 인식 영역을 넓히려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 주변 무선 환경에 적응하기 위한 RF 제어 기술 및 다중 대역 안테나의 개발이 필요하며 SoC(System on Chip) 소형화 기술로 모든 정보 기기에 내장되어 다양한 정보를 수집하고 여러 가지 통신 서비스와 연계되어 부가적인 서비스를 창출할 것으로 예상된다.

수동형 RFID 태그는 주로 칩과 안테나로 구성되며 태그 칩에는 사물의 유일 식별 코드나 정보를 저장하고 있다. 태그가 리더의 인식 범위에 놓이게 되면 리더는 태그에게 질문 쿼리를 보내고 태그는 이에 응답한다. RFID 리더의 요청 및 주변 상황에 따라 스스로 외부에 자신의 정보를 전송하는 기능을 수행한다. 수동형 태그의 데이터 전송 방식은 후방 산란 변조를 사용

하여 리더로 부터 송출된 전자파를 태그가 산란시켜 RFID 리더에게 되돌려 보내며 산란되는 전자파의 크기나 위상을 변화시켜서 태그의 정보를 보내는 방식을 사용한다. 수동형 태그는 별도의 배터리를 가지고 있지 않으며, 자신의 동작 전력을 얻기 위하여 RFID 리더로 부터 송출되는 전자파를 정류하여 자신의 전원으로 이용하고 있다.

III. 임펄스 잡음 채널에서 RFID 시스템의 성능

3-1 임펄스 잡음 채널 모델

가우스 잡음은 에르고딕 과정 이지만 임펄스 잡음은 비 에르고딕 과정이며 임펄스 잡음만을 모델로 세워 해석하는 방법과 가우스 잡음을 포함시켜 무한개의 가우스 분포가 혼합된 형태로 해석하는 방법으로 나눌 수 있다[1]-[3]. 임펄스성 잡음의 통계적 모델 중에서 Middleton이 제안한 모델은 가우스 잡음을 포함한 무한개의 가우스 분포가 혼합된 형태로 모델을 구성하며 무선 통신 시스템의 성능 평가에 실재적이므로 널리 이용되고 있으며 모든 종류의 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다.

Middleton의 임펄스 잡음 모델에서 임펄스 잡음의 등급은 임펄스 잡음의 방사 지속 시간과 수신기의 증폭단에 있어서 대역폭에 따라 A급, B급, C급으로 분류된다. 통신 시스템 수신기의 앞/뒤 대역폭보다 잡음의 대역폭이 좁은 것이 A급, 넓은 것이 B급, 양자를 포함한 것이 C급에 해당된다. 본 논문에서는 그 중에서 RFID 통신 시스템 수신기의 과도현상을 무시할 수 있는 A급 임펄스 잡음 모델을 도입하여 임펄스 잡음을 해석하며 Middleton의 A급 임펄스 잡음의 순시 포락선 성분 x_k 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같다 [6]-[8].

$$p(x_k) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m N(x_k; 0, \sigma_m^2) \quad (1)$$

여기서 $N(x_k; \mu, \sigma^2)$ 는 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 가우시안 확률밀도함수이며 Middleton의 A급 임펄스 모델에서 P_m, σ_m^2, Γ 은 다음과 같다.

$$P_m = \frac{e^{-A} A^m}{m!} \quad (2)$$

$$\sigma_m^2 = \sigma_I^2 \frac{A}{m} + \sigma_G^2 = \sigma_G^2 \left(\frac{m}{A\Gamma} + 1 \right) \quad (3)$$

$$\Gamma = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_I^2} \quad (4)$$

여기서 σ_G^2 와 σ_I^2 는 가우스 잡음과 임펄스 잡음의 분산 성분

이다. Γ 는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비를 나타내는 파라미터로 가우스 잡음과 비교하여 임펄스 잡음의 세기를 나타낸다. A 는 단위 시간당 임펄스가 차지하는 비율을 나타내는 임펄스 지수로 Middleton의 A급 임펄스 잡음의 특징을 규정하는 중요 파라미터이다. 임펄스 지수 A 의 값이 적은 경우는 임펄스성이 강한 잡음에 해당하며 반면 임펄스 지수 A 의 값이 큰 경우는 임펄스의 시간적 연속성이 강하여 임펄스성 잡음이 약한 경우로 변하여 가우스 잡음에 근사하게 된다.

Middleton의 A급 임펄스 잡음 모델을 단순화하여 처리하기 위해서는 Middleton의 A급 임펄스 잡음 모델의 확률밀도함수에서 합산 성분의 처음 몇 항에 의해서 근사화될 수 있으며 충분히 정확하다는 것을 알 수 있다. 따라서 Middleton의 A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수에서 합산 성분의 처음 몇 항을 제한하여 고려하면 근사화된 Middleton의 A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수를 얻을 수 있다.

그림 2와 그림 3은 $\Gamma=0.01$ 및 $\Gamma=1$ 인 경우에 Middleton A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수를 임펄스 지수 A 의 값에 따라서 나타난 것이다. 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 Γ 와 임펄스 지수 A 의 값이 작을수록 임펄스 성질이 강한 경우에 해당됨을 Middleton A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수를 통하여 알 수 있다.

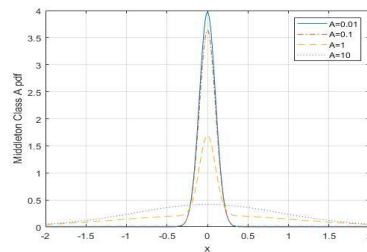


그림 2. Middleton A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수 ($\Gamma=0.01$)
Fig. 2. Probability density function of Middleton class A impulsive noise ($\Gamma=0.01$).

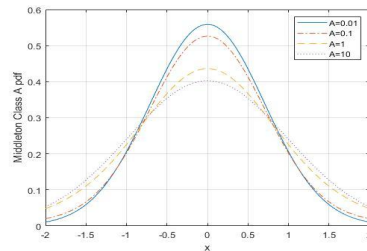


그림 3. Middleton A급 임펄스 잡음의 확률밀도함수 ($\Gamma=1$)
Fig. 3. Probability density function of Middleton class A impulsive noise ($\Gamma=1$).

3-2 RFID 시스템 성능 분석

RFID 시스템에서 리더는 업링크 주파수를 설정하고 4개의 업링크 인코딩 (FM0, Miller-2, Miller-4, Miller-8) 방식 중 하나

를 설정하며 태그는 FM0 인코딩 또는 Miller 인코딩을 사용하여 리더와 통신을 한다. FM0 인코딩 방식을 사용하는 경우 각 사이클마다 1비트가 전송되며 심볼 사이의 경계에서 위상 반전이 발생하는 반면 Data 0은 기호 중간 위상 반전이 발생한다. RFID 시스템에서 FM0 인코딩 방식은 잡음과 간섭에 매우 취약하므로 Miller 인코딩 방식을 적용하여 성능을 개선하고 있다. Miller 인코딩 방식에서 M 의 값이 2, 4, 8로 증가할수록 오류에 더욱 강력해지지만 인코딩에 따른 링크 전송속도는 2, 4, 8배 감소하게 된다. 가우스 잡음 채널에서 FM0 인코딩 및 Miller 인코딩에 대한 비트 오류율은 가우스 잡음 채널에서 얻어진 결과이며 심볼 검파를 적용한 경우 최적의 시스템 성능 결과는 얻지 못하지만 차동 검파 방식을 적용한 경우에 비해 구현이 용이하다는 장점이 있다[1],[5]. 본 연구에서는 기존 규격에서 적용한 수동형 RFID 태그에 적용된 방식과 동일하게 FM0 인코딩 및 Miller 인코딩을 적용하고 OOK(On-Off Keying) 기반의 주변 후방 산란 변조 방식을 사용하여 RFID 시스템의 성능을 분석한다. 가우스 잡음 채널에서 Miller 인코딩을 적용한 RFID 시스템 수신부에서의 비트 오류율은 다음과 같다.

$$P_{bj} = 2Q\left(\sqrt{\frac{ME_b}{N_o}}\right) \left[1 - Q\left(\sqrt{\frac{ME_b}{N_o}}\right)\right] \quad (5)$$

여기서 M 은 Miller 인코딩 파라미터이고 $Q(x)$ 는 Q 함수를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (6)$$

임펄스 잡음 채널에서 Miller 인코딩을 적용한 RFID 시스템 수신부에서의 비트 오류율은 임펄스 잡음 채널의 분산 σ_m^2 , 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 Γ , 임펄스 지수 A 를 적용하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P_{bi} &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2e^{-A} A^m}{m!} Q\left(\sqrt{\frac{ME_b}{N_T}}\right) \left[1 - Q\left(\sqrt{\frac{ME_b}{N_T}}\right)\right] \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \frac{e^{-A} A^m}{m!} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{ME_b}{2N_T}}\right) \left[1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{ME_b}{2N_T}}\right)\right] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 N_T 은 시스템의 전체 잡음으로 가우스 잡음과 임펄스 잡음의 합을 의미한다.

IV. 성능 분석

본 논문에서는 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능을 분석하기 위하여 Middleton의 A급 임펄스 잡음 모델을 대상

으로 선정하였고 RFID 시스템의 리더와 태그 사이의 오율 성능을 분석하였다. 먼저 RFID 시스템에 영향을 주는 임펄스 잡음을 모델링하고 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 Γ , 임펄스 지수 A 를 고려하였으며 태그에서는 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용하여 최종적인 RFID 시스템 성능을 비교 분석한다. 그림 3에서는 임펄스 잡음 지수 A 값의 변화에 따른 오율 성능 차이를 보이기 위해 $A=0.01, 0.1, 1$ 값을 선정하여 그 결과를 보여준다. 무선 채널에서 임펄스 잡음은 임펄스 잡음 지수 A 값이 클수록 가우시안 잡음과 유사한 특성을 가지며 임펄스 잡음 지수 A 값이 작을수록 임펄스 잡음의 특성을 가지게 된다. 결과적으로 임펄스 잡음 지수 A 값이 작아짐에 따라 RFID 시스템의 오율 성능이 감소함을 알 수 있다.

그림 4는 가우스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 오율 성능을 분석한 결과이다. 태그에서는 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용하였고 신호 대 잡음 전력비에 따른 오율 성능을 비교하고 있다. RFID 시스템에서 FM0 인코딩보다는 Miller 인코딩을 적용하였을 경우에 오율 성능이 개선되었고 Miller 인코딩 방식에서 M 의 값이 2, 4, 8로 증가할수록 오류에 더욱 강함을 확인할 수 있다.

그림 5~그림 7에서는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 $\Gamma=0.01$ 인 임펄스 잡음 환경에서 임펄스 지수 A 의 변화에 따른 RFID 시스템의 오율 성능을 분석한 결과이다. 그림 5에서는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 $\Gamma=0.01$, 임펄스 잡음 지수 $A=1$ 인 환경에서 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용한 RFID 시스템의 오율 성능을 비교하고 있다. 먼저 그림 4와 그림 5를 비교해보면 오율 성능 10^{-6} 을 달성하기 위해 Miller 인코딩 $M=8$ 을 적용한 경우, 가우스 잡음 환경 보다 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템에서 필요한 신호 대 잡음 전력비는 약 5[dB] 증가함을 알 수 있다. 그림 5~그림 7을 비교해보면 임펄스 지수 A 파라미터의 값이 1에서 0.01로 감소함에 따라서 임펄스 잡음의 영향은 강해지므로 RFID 시스템의 오율 성능은 열화됨을 확인할 수 있다. 그림 7에서는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 $\Gamma=0.01$, 임펄스 잡음 지수 $A=0.01$ 인 환경에서 RFID 시스템의 오율 성능 10^{-3} 을 달성하기 위해 Miller 인코딩 $M=8$ 을 적용한 경우 시스템에서 필요한 신호 대 잡음 전력비는 약 15[dB]임을 알 수 있다.

그림 8~그림 10에서는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 $\Gamma=1$ 인 임펄스 잡음 환경에서 임펄스 지수 A 파라미터의 변화에 따른 RFID 시스템의 오율 성능을 비교한 그림이다. 그림 8~그림 10에서 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비가 동일한 경우, 임펄스 지수 A 가 감소함에 따라서 RFID 시스템의 오율 성능은 열화됨을 확인할 수 있다. 그림 8에서는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 $\Gamma=1$, 임펄스 잡음 지수 $A=1$ 인 환경에서 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용한 RFID 시스템의 오율 성능을 비교하고 있다. RFID 시스템의 오율 성능 10^{-6} 을 달성하기 위해 Miller 인코딩 $M=8$ 을 적용한 경우 시스템에서 필요한 신호 대 잡음 전력비는 약 7.5[dB]임을 알 수 있다.

그림 10에서는 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 $\Gamma=1$, 임펄스 잡음 지수 $A=0.01$ 인 환경에서 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용한 RFID 시스템의 오율 성능을 비교하고 있다. RFID 시스템의 오율 성능 10^{-3} 을 달성하기 위해 Miller 인코딩 $M=8$ 을 적용한 경우 시스템에서 필요한 신호 대 잡음 전력비는 약 12[dB]이며 RFID 시스템의 오율 성능 10^{-6} 을 달성하기 위해 Miller 인코딩 $M=8$ 을 적용한 경우에는 필요한 신호 대 잡음 전력비가 약 20[dB]임을 알 수 있다.

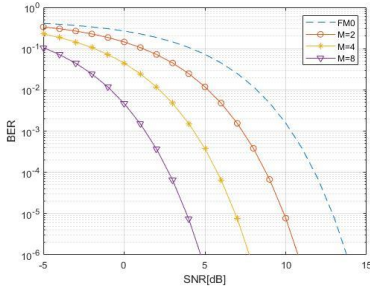


그림 4. 가우스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능
 Fig. 4. Performance of RFID system under Gaussian noise environment.

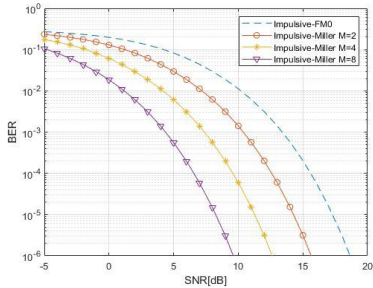


그림 5. 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능 ($A=1, \Gamma=0.01$)
 Fig. 5. Performance of RFID system under Impulsive noise environment ($A=1, \Gamma=0.01$).

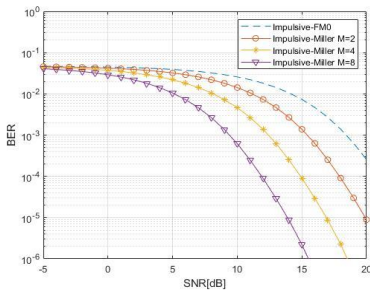


그림 6. 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능 ($A=0.1, \Gamma=0.01$)
 Fig. 6. Performance of RFID system under Impulsive noise environment ($A=0.1, \Gamma=0.01$).

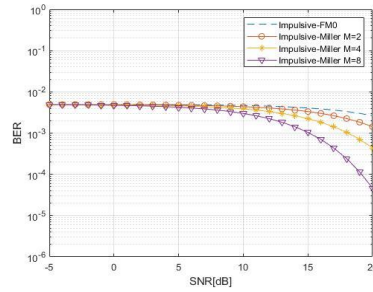


그림 7. 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능 ($A=0.01, \Gamma=0.01$)
 Fig. 7. Performance of RFID system under Impulsive noise environment ($A=0.01, \Gamma=0.01$).

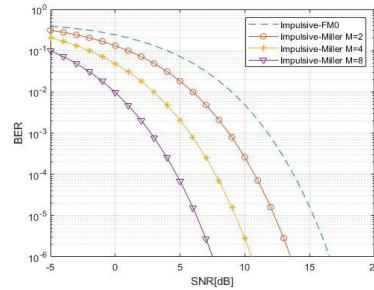


그림 8. 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능 ($A=1, \Gamma=1$)
 Fig. 8. Performance of RFID system under Impulsive noise environment ($A=1, \Gamma=1$).

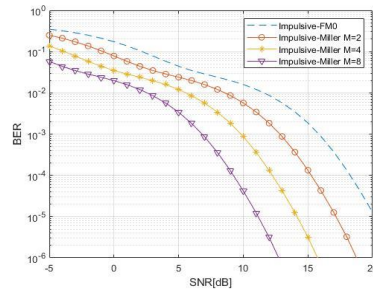


그림 9. 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능 ($A=0.1, \Gamma=1$)
 Fig. 9. Performance of RFID system under Impulsive noise environment ($A=0.1, \Gamma=1$).

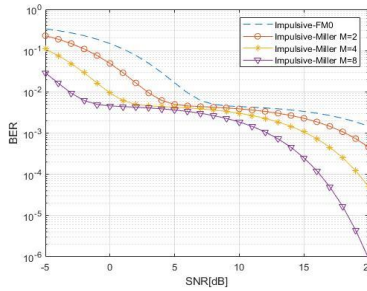


그림 10. 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능 ($A = 0.01, \Gamma = 1$)

Fig. 10. Performance of RFID system under Impulsive noise environment ($A = 0.01, \Gamma = 1$).

V. 결 론

RFID 시스템은 응용 서비스의 비용과 에너지 효율성으로 인해 사물인터넷 기술의 핵심 구성 요소로 각광받고 있다. 특히 UHF RFID 시스템에서는 다수의 태그가 밀집환경에서 수동적인 방법으로 통신하기 때문에 개별 태그의 인식률과 전송속도를 향상하는 과정이 필수적이다. 본 논문에서는 임펄스 잡음 환경에서 RFID 시스템의 성능을 분석하기 위하여 Middleton의 A급 임펄스 잡음 모델을 대상으로 선정하였고 태그에서는 FM0 인코딩과 Miller 인코딩을 적용하여 RFID 시스템의 오율 성능을 분석하였다.

가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비의 변화에 따른 RFID 시스템의 오율 성능을 비교한 결과, 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 값이 클수록 가우시안 잡음과 유사한 특성을 가지며 작을수록 임펄스 잡음의 특성을 가지게 된다. 결과적으로 가우스 잡음 대 임펄스 잡음의 전력비 값이 작아짐에 따라 오율 성능이 더욱 감소함을 알 수 있었다. 임펄스 잡음 채널에서 임펄스 잡음 지수 A 값이 클수록 가우시안 잡음과 유사한 특성을 가지며 임펄스 잡음 지수 A 값이 작을수록 임펄스 잡음의 특성을 가지게 된다. 따라서 임펄스 잡음 지수 A 값이 작아짐에 따라 RFID 시스템의 오율 성능이 더욱 감소함을 알 수 있었다. RFID 시스템에서 FM0 인코딩보다는 Miller 인코딩을 적용하였을 경우에 오율 성능이 개선되었고 Miller 인코딩 방식에서

M 의 값이 2, 4, 8로 증가할수록 채널 오류에 더욱 강함을 확인할 수 있었다.

Acknowledgments

본 논문은 2023년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

References

- [1] B. Sklar, *Digital Communications*, 2nd ed. New York, NY: Pearson, 2001.
- [2] B.K.Tripathy and J.Anuradha, *INTERNET OF THINGS (IoT) Technologies, Applications, Challenges, and Solutions*, CRC Press, 2018.
- [3] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, John Wiley, Chichester, 2003.
- [4] EPCglobal, "EPC radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz-960MHz version 1.0.9," *EPCglobal Standard Specification*, 2004.
- [5] M. Simon and D. Divsalar, "Some interesting observations for certain line codes with application to RFID," *IEEE Transactions on Communication*, Vol. 54, No. 4, pp.583-586, Apr. 2006.
- [6] D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 19, No. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.
- [7] S. Miyamoto, M. Katayama, and N. Morinaga, "Performance analysis of QAM systems under class A impulsive noise environment," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 37, No. 2, pp. 260-267, May 1995.
- [8] G. Ndo, F. Labeau, and M. Kassouf, "A Markov-Middleton model for bursty impulsive noise: Modeling and receiver design," *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 28, No. 4, pp. 2317-2325, Oct. 2013.



노재성 (Jae-Sung Roh)

2000년 8월 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 2000년 9월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 교수
 ※관심분야 : 무선통신 시스템, 사물인터넷 응용