RFID 태그의 고속 인식 기법

High Speed Identification Method of RFID Tag

이 광 재*
Kwang-Jae Lee

요 약

RFID 태그의 인식에서는 인식률과 인식 시간이 매우 중요하며, 대량의 경제적인 태그를 이용하기 위해서는 단순한 구조를 요구한다. 이러한 요인들로 인해 유무선 네트워크 환경의 MAC 프로토콜과는 다른 요구 사항을 갖게 된다.

본 논문에서는 복수의 태그를 충돌 없이 동시에 인식하기 위하여, 충돌이 발생하지 않도록 하는 통신방식으로서 월시함수에 의한 직교 채널을 이용하는 대역확산 기법의 적용 방법을 제안하고 이의 특성을 고찰한다. 제안 방식에서는 2 단계 인식방법을 이용하며, 제 1 단계에서는 태그에 내장된 고유 ID에 근거하여 특정 지연시간 후에 응답하도록 구성함으로써 충돌 문제를 해결하고, 제 2 단계에서는 기존의 폴링방식을 따르도록 하였다.

Abstract

Identification rate and time are very important in the identification of RFID tag, and the tag requires simple structure to use economically large quantity of tags. These factors make the MAC protocols of wired or wireless network environment result in different requirements. In the paper, we propose a method to apply spread spectrum scheme using orthogonal channel via Walsh function as the anti-collision communication system for the purpose of non-collision identification of multiple tags, and consider its property. The proposed system use two step identification: in the first step, collision is resolved via constructing to respond after specific delay time based on unique ID, and conventional polling scheme follows in the second step.

Key Words : RFID, MAC, MC-CDMA, Walsh, OOK

I. 서 론

비접촉(contactless) RFID(radio frequency identification) 태그(tag)의 자동 인식 기술을 이용한 ETC (electronic toll collect) 시스템 등을 비롯한 다양한 시스템이 실용화되고 있다. 그러나 대부분 단일 태그를 인식하는 경우이며, 복수 태그에 대한 인식 시스템의 경우에는 동시에 인식할 수 있는 태그의 수에 제한이 따르거나, 인식 시간이 과도하게 길어지는 문제점이 있다. 복수 태그의 인식을 위해서는 공간 분할(space division), 시 분할(time division), 주파수 분할(frequency division) 기법 등이 이용될 수 있으며, 인식 환경의 요구 조건에 따라 적절한 기법을 이용하게 된다[1].

공간 분할에 근거한 방법으로는 질문기(interrogator)에 지향 특성이 예리한 혼 안테나를 이용하거나 편파특성에 의존하여 인접 태그로부터의 간섭을 최소화시키는 방법을 이용하고 있다. 그러나 태그에서는 편파의 이용이 어렵고, 복수 태그 간의 간섭을 피하기 어려워서 인식성능을 높이는 데는 한계가 따르게 되며, ETC 시스템의 복수 차선을 구분하기 방법으로 주로 이용된다.

시분할 방식에 근거한 방법으로는 ALOHA를 근간으로 통계적(statistics) 알고리즘과 폴링(polling) 기법을 근간으로 하는 결정적(deterministic) 알고리즘으로 분류할 수 있다. 통계적 알고리즘에서는 랜덤 지연시간을 이용하여 충돌 문제를 해결하는 방법이 이용되고, 이러한 특성을 변형함으로써 성능을 개선한 다양한 변형 알고리즘이 알려져 있다. 이들 통계적 알고리즘은 잡음 및 채널특성의 영향을 고려하지 않은 상태에서도 최대 95 % 정도의 인식율을 나타내며, 인식 대상 태그의 수가 256개 이상인 경우 인식 오류 및 인식 시간이 급격히 증가하게 되는 문제점을 갖고 있다. 결정적 알고리즘은 인식 시간이 긴 단점으로 인해 일반적인 MAC 프로토콜로서 이용되는 경우는 흔치 않았지만 인식률이 100 % 라는 장점으로 인해 이의 성능을 개선하려는 꾸준한 연구가 이루어져 왔으며, 이진 트리 알고리즘을 이용하여 충돌을 해결하는 방법이 주류를 이루고 있다. 트리 알고리즘에서는 반드시 분할과정을 거쳐야 되므로 인식 대상인 태그의 수가 적은 경우에는 통계적 방법에 비해 오히려 불리하게 된다[2][3].

*한려대학교 멀티미디어 정보통신공학과
접수 일자 : 2003. 10. 20 수정 완료 : 2003. 12. 24
논문 번호 : 2003-4-20

상기의 접속 프로토콜들은 주로 유무선 네트워크 환경를 고려한 MAC 프로토콜이며, RFID 인식을 위해 이를 그대로 적용하거나 일부 변형하여 이용하고 있기 때문에 RFID 인식 환경을 충분히 반영하고 있지 못한 경우가 많다. 유무선 네트워크 환경과 RFID 인식 환경에는 다음과 같은 차이가 있다.

1. 스케일(scale) : 유무선 환경에 비해 기지국 당 훨씬 많은 노드를 갖는다.
   (특히, 창고 관리 또는 대형 매장의 경우 수천 개 이상의 노드가 필요하게 된다.)

2. 경제성(cost) : 대량의 노드를 경제적으로 이용할 수 있어야 한다.

3. 크기(size) : 매우 작은 크기를 요구되며, 신용카드 보다 작아야 한다.

4. 트래픽(traffic) : 짧고 간단한 메시지 교환에 의한 통신이 수행된다.

이러한 요인들로 인해 유무선 네트워크 환경의 MAC(medium access control) 프로토콜과는 다른 요구사항을 갖게 되며, 인식률과 인식 시간이 매우 중요한 요인이 된다.

본 논문에서는 복수의 RFID 인식에 요구되는 인식률과 인식시간에 대한 제약을 만족시킬 수 있는 통신방식으로서 대역확산(spread spectrum) 기법과 가변 타임 슬롯(variable time slot)을 이용하는 방법을 제안하고 특성을 고찰한다. 본 제안 방식에서는 2 단계 인식방법을 이용하며, 제 1 단계에서는 태그에 내장된 고유 ID에 근거하여 특정 지연시간 후에 응답하도록 구성함으로써 충돌문제를 해결하고, 제 2 단계에서는 기존의 폴링방식에 따르도록 하고 있다.

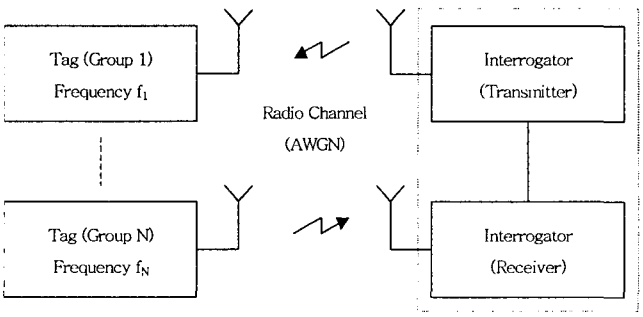

그림 1. RFID 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of RFID System

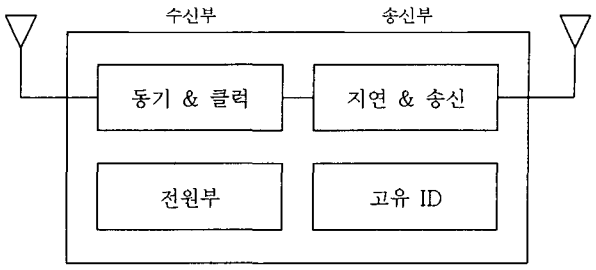

그림 2. RFID 태그의 블럭도
Fig. 2. Block Diagram of RFID Tag

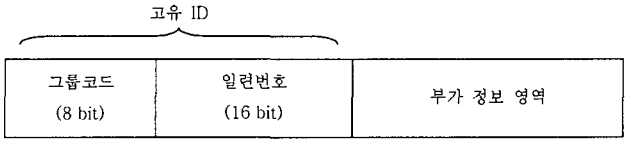

그림 3. 고유 ID 및 선택 정보 영역의 구성
Fig. 3. Configuration of Unique ID and Optional Data Area

II. 시스템의 구성

본 절에서는 가시거리에 위치하는 복수의 RFID 태그를 인식하는 문제를 고찰하며, 그림 1은 이의 구성을 나타낸다. 그림 2는 RFID 태그의 일반적인 구성을, 그림 3은 고유 ID 및 부가 정보 영역의 구성 예를 나타낸다. 24 bit으로 구성된 고유 ID부와 부가정보를 기록하기 위한 부가 정보영역으로 구성되며, 부가 정보영역의 길이는 제한되지 않는다. 24 bit 고유 ID는 다시 8 bit의 그룹코드와 16 bit의 일련번호로 구분되며, 이중 일련번호를 이용하여 태그의 고유지연을 결정하게 된다. 따라서 24 bit 고유 ID를 이용하여 식별 가능한 태그의 수는 $2^{24} = 16,777,216$이며, 일반적 응용분야에서 충분할 것으로 생각되지만, 인식에 소요되는 시간이 길어지는 문제점이 있다. PN(pseudo noise) 시컨스의 길이는 $L = 2^N - 1$로 주어지므로 4단 LFSR(linear feedback shift register)의 경우 L=15가 되며, 최악의 경우 연속된 일련번호를 가진 15개의 ID 태그가 1 칩 간격으로 연속적으로 PN 시컨스를 송출하게 된다(LFSR을 이용하는 대신 ROM에 저장된 PN 시컨스를 이용한다). 이때, 검출하고 하는 특정 신호 이외의 모든 신호는 잡음으로 간주되므로 인식성능에 영향을 미치게 된다. 지연시간을 늘림으로서 인식성능을 높일 수 있지만 전체 인식시간이 증가하게 된다.

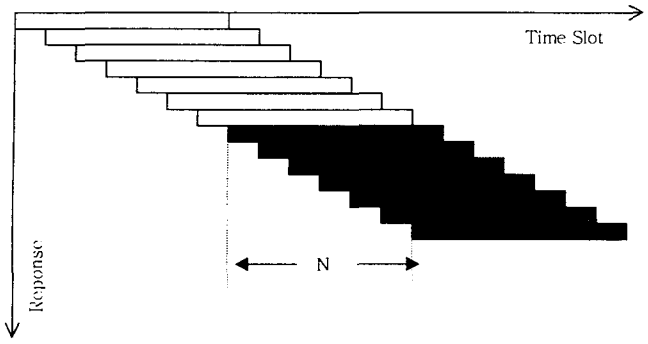

그림 4. 1칩 지연에 의한 응답파형
Fig. 4. Response Waveform by 1 Chip Delay

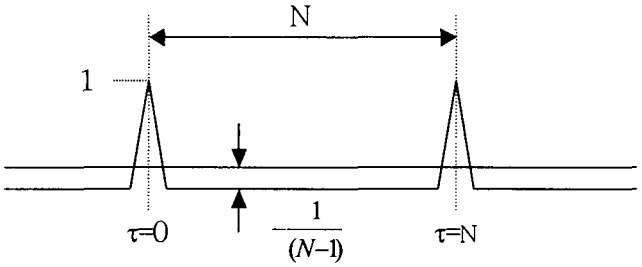

그림 5. PN 시컨스의 주기적 자기상관 특성
Fig. 5. Cyclic Correlation Property of PN Sequence

또한, 고속 인식을 위해 PN 시컨스의 칩 주기 단위로 식별하는 것으로 가정하면, 간섭은 더욱 커진다. 그림 4는 연속된 일련번호를 갖는 태그들이 존재하는 경우의 수신신호의 파형을 나타내며, 1칩 단위로 지연된 N개의 PN 시컨스가 연속적으로 수신되는 최악의 경우를 가정한 것이다. 여러 개의 PN 시컨스 중 원하는 신호 이외의 모든 신호는 잡음으로 나타나게 되어 최대 $\frac{1}{N-1}$ 만큼 신호 대 잡음비의 감소를 초래하게 된다. 주기가 N인 최장 부호시컨스(maximal-length sequence)에서 최대 상관값을 1로 정규화 할 경우 주기적 자기상관 값은 다음과 같은 주기함수가 되며, 이를 그림 5에 나타내었다..

$$R_c(K)=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}c_{i+k}c_i=\begin{cases}1 & ,\ k=0,N,2N,..\\ -\frac{1}{N} & ,\ other\end{cases} \quad (1)$$

$(N-1)$ 개의 간섭신호를 가산성 백색잡음으로 모델링하면, 결합된 PSD는 대략 $(N-1)P_sT_s/2$가 된다. 따라서 신호 대 잡음비는

$$E_c/N_0=P_sT_s/\{N+(N-1)P_sT_s\} \quad (2)$$

이 되며, 이는 동일 일련번호를 갖는 여러 그룹의 태그들이 동시에 응답함으로써 간섭이 증가하고, 결국 오류율의 증가로 나타나게 됨을 의미한다. 또한, PN 시컨스의 부분 상관 특성은 일정하지 않으며, 매우 큰 분산을 갖는다. 이는 하나의 타임 슬롯은 PN 시컨스의 주기보다 길어야 함을 의미하며, 일련번호 부분을 고유의 지연시간으로 활용하여 5 *Mcps* PN 시컨스의 상관특성을 이용하는 경우 PN 칩의 주기는 $1/(5\times10^{-6})=0.2\ uS$이 된다. PN 시컨스의 주기 N=7인 경우, PN 시컨스의 1 주기 단위의 지연시간을 갖는 2^{24} 개의 ID 태그를 인식하는데 소요되는 시간은 $2^{24}\times7\times0.2uS=$, $23Sec$가 되며, PN 시컨스의 주기 N=15인 경우, 50초 이상이 소요된다. 최근 활발히 연구되고 있는 UWB(ultra wide-band) 환경의 400 Mcps 칩율을 이용하는 경우를 고려하더라도 대략 3초가 소요되어 실용적이지 못하다. 따라서 인식 시간을 줄이기 위한 방법이 요구된다. 본 논문에서는 이를 위해 고유 ID를 그룹화함으로써 인식에 필요한 타임 슬롯의 수를 줄이고 하나의 슬롯에 직교채널을 형성하는 방법으로 다수의 태그를 동시에 인식하는 방법을 이용한다.

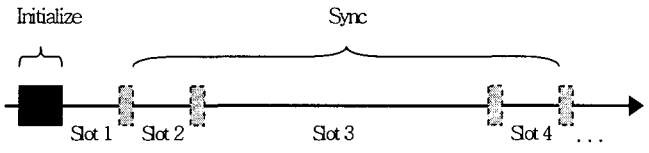

그림 6. 가변 타임 슬롯
Fig. 6. Variable Time Slot

제안 방식은 다음과 같은 2 단계 방법을 이용하여 각 태그의 고유 정보를 인식하게 된다.

단계 1 :
질문기에서 송출되는 동기(sync) 신호에 따라 모든 태그들은 질문기에 동기되어 동작하며, 태그의 고유 ID로 정해지는 특정 지연시간 후에 내장된 PN 시컨스를 송출하고, 질문기의 수신부에서는 이를 수신한 후 상관기를 이용하여 현재 접속을 원하는 태그들의 고유 ID를 수집한다.

단계 2 :
단계 1에서 수집한 고유 ID를 이용하여 현재 접속을 원하는 태그들만을 대상으로 폴링방식에 의해 접속(access)을 수행한다.

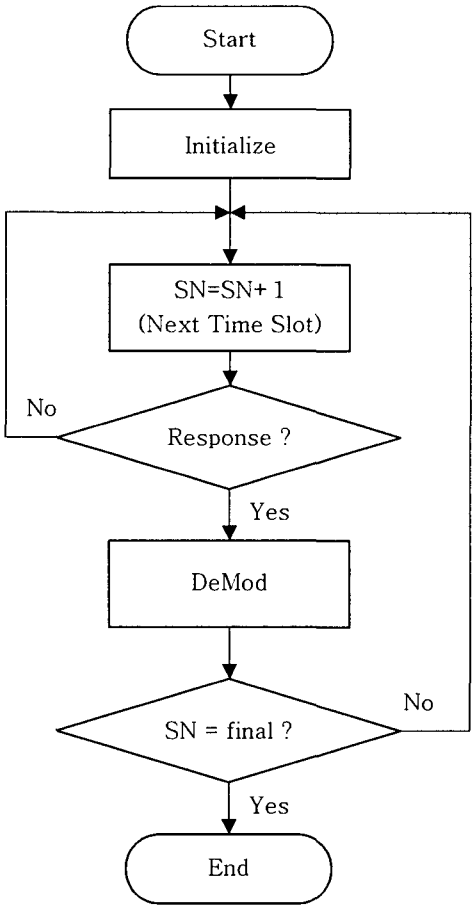

그림 7. 단계 1의 흐름도
Fig. 7. Flowchart of Step 1

제 1 단계에서는 그림 6과 같은 가변 타임 슬롯(variable time slot)에 동기되어 동작하며, 각 태그는 질문기의 슬롯을 카운트하여 자신의 고유번호 중 일련번호와 일치하는 타임 슬롯에서 그룹코드에 의해 정해지는 256 월시코드로 PN 시컨스를 변조하여 송출한다. 질문기의 수신부에서는 수신된 신호를 동일 PN 시컨스를 이용하여 역확산한 후 고속 하다마르 변환(FHT)를 이용하여 그룹코드를 추출한 후 일련번호와 조합하여 인식 대상 태그의 존재 유무를 파악하게 된다. 타임 슬롯에 할당된 일련번호를 갖는 태그가 존재하지 않는 경우 질문기의 수신부에서는 반송파가 나타나지 않으므로, 그림 7의 흐름도에 따라 다음 슬롯을 나타내는 동기신호를 송출하게 된다. 따라서 PN 시컨스 1주기에 해당하는 짧은 구간과 256 PN 시컨스 주기를 갖는 긴 구간으로 구성되는 가변 타임 슬롯 구조가 되며, 전체 슬롯 수에 비해 인식 대상 태그의 수는 극히 적기 때문에 인식에 소요되는 시간을 크게 줄일 수 있게 된다. 이러한 방법으로 2^{24} 개의 태그를 인식하는데 소요되는 표 1과 같으며, 최대값(max)은 2^{24} 개의 태그가 모두 존재하는 경우이며, 최소값(min)은 단 하나의 태그만 존재하는 경우에 해당한다.

표 1. 태그의 인식에 소요되는 시간
Tab. 1. Required Time for Tag Identification

Chip Rate / PN 주기	5 *Mcps*		400 *Mcps*	
	Max	Min	Max	Min
N = 7	23 Sec	0.1 Sec	0.3 Sec	0.01 Sec
N = 15	52 Sec	0.2 Sec	0.6 Sec	0.02 Sec
N = 31	104 Sec	0.4 Sec	1.2 Sec	0.05 Sec

제 2단계는 일반적인 폴링과정에 해당하며, 기존의 통신방식을 이용하여 접속이 이루어지므로, 본 논문에서는 더 이상 다루지 않으며, 제 1단계에서의 인식률에 영향을 미치는 요인에 대해서만 다루기로 한다.

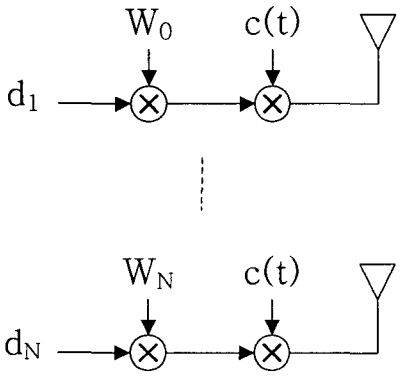

그림 8. 송신부의 구조
Fig. 8. Structure of Transmitter

III. 시스템 모델

그림 8은 각 태그의 응답에 따른 제안 방식의 등가적인 송신부 구조이며, MC(multi-code) CDMA의 송신부의 구조와 유사하다. 시스템의 동기가 완벽하게 유지되는 것으로 가정하고 월시 함수에 의한 영향을 무시하면, 태그가 존재하는 경우 전송 신호는 다음과 같다.

$$s(t) = d(t)p(t)\sqrt{2S}cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

여기서, $d(t)$는 이진 데이터, 즉 태그의 존재 유무를, $p(t)$는 확산코드, S는 신호전력을 나타내며, 월시 코드는 직교채널의 형성에만 기여하고, 처리이득과는 무관하

므로 이의 영향을 무시하면, p 개의 다중경로 페이딩을 거쳐 수신된 신호 $r(t)$는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{l=1}^{p} a_l d(t-\tau_l) cos(2\pi f_c(t-\tau_l) + \theta_l) + N(t) \quad (4)$$

α_l과 τ_l은 각각 i번째 다중경로의 감쇄와 시간지연, α_l은 독립적인 레일리(Rayleigh) 랜덤 변수, θ_l은 $(0 \sim 2\pi)$에서 균일한 분포를 갖는 위상 왜곡이며, $N(t)$는 평균 0, 분산 σ^2인 백색 가산성 잡음을 나타낸다. 동일 일련번호를 갖지만 서로 다른 그룹에 속하는 태그들로부터의 신호는 간섭으로 작용하기 때문에 태그의 수에 따라 SNR이 변화하게 되므로, 이의 영향을 백색 가산성 잡음으로 모델링하여 $N(t)$에 포함시킬 수 있다. 이는 기존 IS-95 CDMA 시스템의 순항향 링크(forward link)와 동일한 경우이며, 배경잡음과 다중경로에 의한 영향을 무시하면 근사적으로 다음과 같이 주어진다.

$$SNR = \frac{PG}{T-1} \quad (5)$$

여기서 T는 해당 타임 슬롯에서 응답하는 태그의 수, PG는 처리이득(processing gain)이며, 제안 방식에서는 256 월시함수를 이용하고 이는 PN 시컨스 256 주기에 해당하므로 $PG = 256 \times N$이 된다. 다중경로 환경에서 RAKE 수신기를 이용하는 경우의 근사치는 다음과 같이 주어진다[4].

$$SNR = \frac{(A_0 + A_1 + ... + A_{q-1})^2}{\frac{N}{PG}\left(q\sum_{k=1}^{p}(A_k{}^2 - (A^2{}_0 + A^2{}_1 + ... + A^2{}_{q-1}))\right)} \quad (6)$$

여기서 A는 신호의 크기, p는 경로의 수 그리고 q는 RAKE 수신기의 핑거(finger) 수이다. 각 지연 경로에 따른 수신 전력은 동일한 것으로 가정할 때, p=5, q=3 인 경우의 SNR은 다음과 같다.

$$SNR = \frac{9PG}{6N} \quad (7)$$

반면에 태그가 존재하지 않는 경우 신호는 전송될 수 없으므로 수신 신호는 단지 잡음만을 포함하게 되어,

$$r(t) = N(t) \quad (8)$$

이며, 여기서 $N(t)$는 백색잡음으로 근사시킬 수 있지만 다른 태그로부터의 응답에 따른 간섭의 영향을 포함하게 된다. 기존의 MC-CDMA와는 달리 OOK(on-off keying) 형태의 변조를 이용하고 있는 것으로 볼 수 있으며, OOK 방식에서는 마크(mark) 신호와 스페이스(space) 신호에 대한 오류 특성이 채널환경에 따라 상이하게 나타나게 되므로, 오류율을 최소화하기 위해서는 채널 환경을 고려한 최적의 결정 레벨(decision level), 즉 문턱치(threshold)를 결정할 필요가 있다.

RAKE 구조에 의해 다중경로의 영향이 완벽히 제거된 것으로 가정하면, AWGN 환경에서의 수신신호에 대한 확률분포는 다음과 같다.

$$f_0(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-r^2/2\sigma^2} \quad (9)$$

$$f_1(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(r-A)^2/2\sigma^2} \quad (10)$$

결정 변수(decision variable) d를 $\frac{A}{2}$로 하면, 스페이스와 마크 심벌에 대한 오류율은 다음과 같다.

$$P_{e0} = Prob(r > \frac{A}{2}) = \int_{A/2}^{\infty} f_0(r)dr \quad (11)$$

$$P_{e1} = Prob(r < \frac{A}{2}) = \int_{-\infty}^{A/2} f_1(r)dr \quad (12)$$

여기서, P_{e0}는 $P(1|0)$, P_{e1}은 $P(0|1)$을 의미한다. 식(11)과 식(12)로부터 평균 오류율은 다음과 같이 구해진다.

$$P_e = P_0 P_{e0} + P_1 P_{e1}$$
$$= P_0 \int_{\gamma}^{\infty} f_0(r)dr + P_1 \int_{-\infty}^{\gamma} f_1(r)dr \quad (13)$$

여기서 P_0는 "0"의 발생확률, P_1은 "1"의 발생확률을 나타내며, 일반적인 통신환경에서는 동일한 발생확률을 갖는 것으로 가정할 수 있지만, RFID 태그 인식의 경우 "1"의 발생확률은 매우 낮게 된다. 따라서 평균 오류율은 스페이스 심벌의 오류율에 의해 지배되며, 최적의 문턱치 γ을 설정하기 위한 기본적인 방법은 다음과 같다.

$$\frac{\partial P_e}{\partial \gamma} = 0 = -P_0 f_0(\gamma) + P_1 f_1(\gamma) \quad (14)$$

$$\therefore \frac{f_1(\gamma)}{f_0(\gamma)} = \frac{P_0}{P_1} \quad (15)$$

최소 오류율을 위한 최적 문턱치 γ는 사전확률(a priori probability) P_0와 P_1에 의존하며, $P_0 \neq P_1$인 경우 다음과 같이 주어진다[5][6].

$$\gamma_{opt} = \frac{E}{2} + \frac{N_o}{2} \ln \frac{P_0}{P_1} \quad (16)$$

여기서, E는 신호의 에너지를, $N_0/2$는 백색 가산성 잡음의 전력 스펙트럼 밀도를 나타내며, 500개 이하의 태그를 인식하는 경우를 고려하면 P_1이 0.01 이하의 적은 값을 갖게 되어, 최적 결정 변수는 $E/2$ 보다 큰 값을 갖게 된다.

상기 식(16)은 단지 AWGN 환경만을 고려한 경우이며, 레일리(Rayleigh), 라이시안(Rician) 등 다양한 채널 환경에 대해서는 문헌[7][8][9]에서 자세한 특성 분석 결과를 제시하고 있다.

IV. 성능분석

그림 9는 시뮬레이션 모델을 나타낸다. 질문기와 태그 간에는 완벽한 동기가 유지되고, 다중경로에 의한 영향이 완벽히 제거되어 직교 채널 간에는 간섭이 없는 것으로 가정하였으며, 다른 태그로 부터의 간섭 및 불완전한 직교 채널에 의한 영향 등은 모두 가산성 백색잡음으로 간주하였다. 그림 10은 E_b/N_0 및 각 심벌의 발생확률에 따른 최소 오류율을 얻기 위한 최적 결정 변수를 나타낸다. 그림 11은 E_b/N_0에 따른 평균 오류율을 나타내며, 실선은 $P_0 = P_1$인 경우의 이론치를, 점선은 $P_1 = 0.01$인 경우 SNR에 따른 최적 결정변수를 적용하여 구한 결과이다. 특히, P_1이 매우 적으며, SNR이 낮은 경우에 결정변수에 따라 오류율의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 일반적인 통신환경에서는 큰 의미를 갖지 못하지만 적은 수의 태그만을 인식 대상으로 하는 경우에 있어서는 매우 유용한 특성이며, 양극성 신호인 ASK(amplitude shift keying) 또는 FSK(frequency shift keying)에 근접하는 성능을 얻을 수 있음을 의미한다. 또한 제안 방식은 복수 태그의 동시 인식을 목적으로 하기 때문에 기존 유무선 네트워크의 다중 사용자 환경과 마찬가지로, 신호 전력이 증가에 따라 인식 거리는 증가되지만 SNR의 개선은 기대하기 어렵다. 신호 전력의 증가되면 곧바로 간섭의 증가로 나타나며, 결국 잡음이 증가하는 결과가 되어 SNR에 영향을 주지 못하기 때문이다. 적정한 오류율을 얻기 위해서는 적당한 처리이득을 갖도록 할 필요가 있으며, 제안 방식의 제 1단계에서는 오류제어 기법을 이용하지 않기 때문에 PN 주기는 20 이상 되어야 할 것으로 보이며, 이 경우 SNR은 20 dB 이상 확보되어 10^{-12} 정도의 오류율을 얻게 된다.

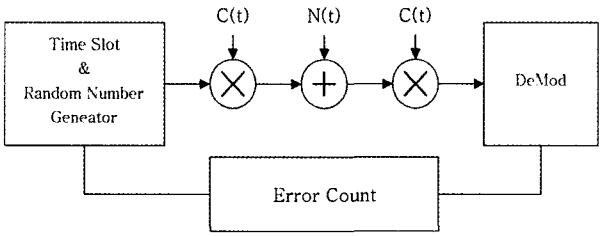

그림 9. 시뮬레이션 모델
Fig. 9. Simulation Model

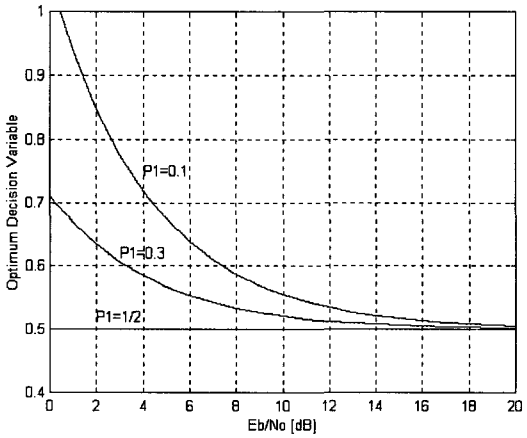

그림 10. 최적 결정 변수
Fig. 10. Optimum Decision Variable

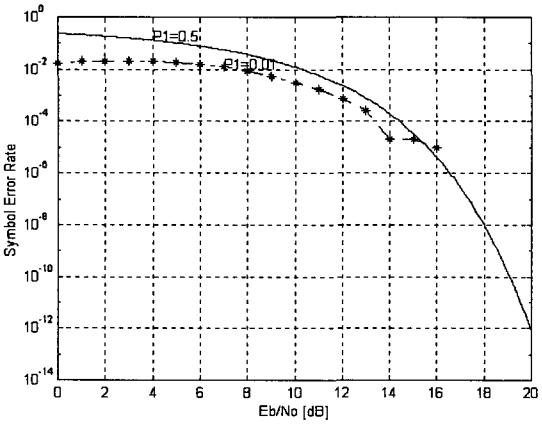

그림 11. E_b/N_0 vs. 평균 오류율
Fig. 11. E_b/N_0 vs. Average Error Rate

V. 결 론

본 논문에서는 확산 대역 기법과 월시 변조를 이용하여 충돌 없이 RFID 태그를 인식하는 방법과 인식 시간을 줄이기 위해 가변 타임 슬롯을 이용하는 방법을 제시하였다. 기존 통계적 비충돌 MAC 알고리즘의 인식률이 통신 채널의 오류율을 고려 하지 않은 상태에서 최대 95 % 정도이고, 동시에 인식할 수 있는 고유 ID의 수가 256개를 넘기 어려울 뿐만 아니라 인식에 소요되는 시간이 급격히 증가하게 되며, 결정적 방식의 경우 100 %의 인식률을 갖지만 과도한 지연 특성을 갖는 등의 문제점 고려할 때, 제안방식은 두 방식이 갖는 장점을 적당히 취하고 있는 것으로 볼 수 있다. 또한 RFID 분야 이외의 다양한 시스템 환경에서 응용도 고려해 볼 수 있으며, 최근 활발히 연구되고 있는 UWB 방식을 이용하면 효율적인 구현이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Vern A. Dubendorf, Wireless Data Technologies, Chapter 9, John Wiley & Sons, Ltd., 2003

[2] Harald Vogt, "Efficient Object Identification With Passive RFID Tags", Proc. International Conference on Pervasive Computing, Pervasive2002, Springer-Verlag, pp. 98-113, 2002.

[3] Harald Vogt, "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags", AutoID invited session at SMC '02 conference, June 2002.

[4] Fukasawa, A.; Sato, T.; Takizawa, Y.; Kato, T.; Kawabe, N.; Fisher, R.E., "Wideband CDMA system for personal radio communications", IEEE Communications Magazine, Vol. 34, No. 10, pp.116 -123, Oct. 1996.

[5] Peyton Z. Peebles, Digital Communication Systems, Prentice-Hall, 1987.

[6] Mischa Schwartz, Information Transmission, Modulation, and Noise, Fourth Edition, McGraw-Haill, 1990.

[7] Annamalai, A. Bhargava, V.K, "Asymptotic error-rate behavior for noncoherent on-off keying in the presence of fading", Vol. 47, No. 9, pp.1293-1296, Sep. 1999.

[8] Chi Ming LO Wong-Hing LAM, "Asymptotic Error Rate Behaviour for Noncoherent On-Off Keying in Nakagami-m Fading Channel", IEICE, Tarns. on Comm., Vol..E84-B, No.2, pp.341-343, Feb. 2001.

[9] Seung Ho Kim and Sang Wu Kim, "Frequency-Hopped Multiple-Access Communications with Multicarrier On.Off Keying in Rayleigh Fading Channels", IEEE Trans. on COMM., Vol.48, No.10, pp.1692-1701, October 2000.

이 광 재 (Kwang-Jae Lee)
正會員
1986년 전북대학교 전자공학과(공학사)
1991년 전북대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 전북대학교 전기공학과 (박사수료)
1995-현재 한려대학교 멀티미디어 정보통신공학과 전임강사
관심분야 : 이동통신, 오류정정부호, RFID, 전력선통신