

RFID 시스템을 위한 저전력 Hybrid ARQ 방식

최성혜⁰ 조인휘

한양대학교 정보통신대학원

⁰cshno1@ihanyang.ac.kr, iwjoe@hanyang.ac.kr

A Low-Power Hybrid ARQ Scheme for RFID System

SungHye Choi⁰ InWhee Joe

The Graduate School of Information and Communication, Hanyang University

요 약

RFID 시스템에서 소형화 추세 및 배터리 사용에 따라 태그 및 리더의 전송 전력을 최소화할 수 있는 저전력 설계가 반드시 필요하다. 또한 리더와 Tag는 무선으로 통신을 수행하며, 동시에 Tag는 이동성을 가지므로 에러율이 유선방식에 비해 상당히 높다. 그러나 현재 ISO표준에서는 에러발생시 MAC계층에서 단지 CRC체크 후 재전송을 하는 방식으로 에너지 효율성 및 전송효율이 떨어진다. 본 논문에서는 이 같은 문제를 해결하기 위해서 유동·물류 등에 사용되는 900MHz대역의 RFID시스템에서 에너지 소모 최소화화 신뢰성을 보장할 수 있는 방법으로 Hybrid ARQ를 제안한다. 기존의 Hybrid ARQ를 개선시켜 에너지 효율성을 고려한 최적패킷 길이를 사용하고, 에너지 소모가 적은 BCH Code를 채택한다. 성능 분석 및 시뮬레이션 결과, 제안하는 Hybrid ARQ 방식이 기존의 전송방식보다 에너지 효율성 및 신뢰성을 향상시킴을 보여준다.

1. 서 론

전자태그(RFID: Radio Frequency Identification)란 자동인식(AIDC)기술의 한 종류로 Micro-chip을 내장한 Tag, Label, Card등에 저장된 데이터를 무선 주파수를 이용하여 비접촉으로 읽는 기술이다. RFID기술은 2000년대 들어서 무선 인식 기술의 중요성이 부각되면서 최근 유비쿼터스 진입을 위한 핵심기술로 부상되고 있다. RFID기술은 국제 표준화 기구(ISO)에서 표준화가 논의되었으며, 유통·물류 분야에 사용 중인 바코드를 대체할 기술로 주목 받고 있다.

이 같은 분야에서 활용되는 Tag들은 초소형, 초전력을 요구하는 디바이스이므로 에너지 효율성에 따라 송신거리에 영향7을 준다. 송신 전력이 약해질 경우 리더 간섭 문제가 발생하게 되며, 태그 및 리더의 전송 전력을 유지할 수 있는 저전력 설계가 반드시 필요하다. 또한, Tag와 리더는 무선으로 통신하며, Tag는 이동성을 가지므로 유선망에 비해 에러율이 높다. 그러나 현재 ISO표준에서는 에러발생시 단순히 MAC계층에서 CRC체크 후 재전송을 하는 방식으로 신뢰성을 보장할 수 없다. 이 같은 맥락에서 현재 RFID기술은 에너지 소모 최소화화 신뢰성을 보장할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 900MHz 대역의 RFID시스템에서 에너지 소모를 최소화하고, 신뢰성을 보장하는 Hybrid ARQ방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 Hybrid ARQ 모델을 소개하고, 3장에서 수학적 배경을 설명한다. 4장에서는 제안한 전송 방식과 기존의 방식을 비교 및 시뮬레이션을 통해 성능을 분석한다. 마지막으로 실험결과를 요약하고 결론을 맺도록 한다.

2. 저전력 Hybrid ARQ 방식

기존의 Hybrid ARQ는 단순 FEC와 ARQ를 결합한 방식이다. 그러므로 무선 통신과 Tag의 이동성으로 인해 유선망보다 에러율이 높으며, 초소형 디바이스와 에너지 소모 최소화를 필요로 하는 RFID시스템에 적용하기에는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 Hybrid ARQ방식은 encoding 에너지가 적은 BCH Code를 사용하고^[1], 재전송 횟수에 따른 에러율과 throughput를 고려하여 재전송 횟수를 3회로 제한함으로써, 에너지 효율성과 신뢰성을 개선할 수 있다. 또한, 패킷 길이도 에너지 효율성을 고려하여 최적화 패킷 길이를 사용하여 에너지 소모를 최소화한다.^[1] 그림[1]은 Hybrid ARQ의 동작과정을 보이고 있다.

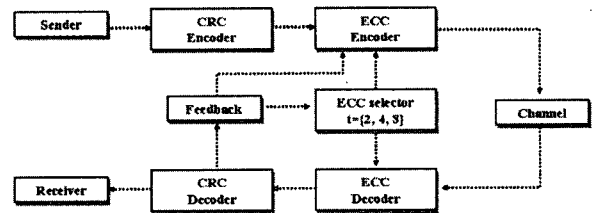


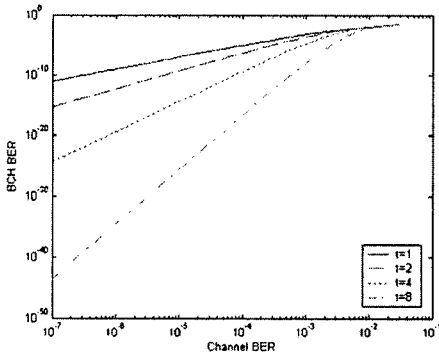
그림 [1] 에너지 효율성을 고려한 Hybrid ARQ

데이터를 전송할 경우, BCH 에러 수정 가능성(t)의 초기값을 2로 하여 전송한다. 에러가 발생할 경우, BCH Code의 에러 수정 가능성(t)을 4로, 다시 재전송할 경우 t=8로 전송하는 방법으로, 재전송 횟수가 증가함에 따라 BCH code의 t를 증가함으로써 에러율(BER)을 낮춘다.

3. Hybrid ARQ의 수학적 분석

본 절에서는 Hybrid ARQ 전송방식의 기본적인 수학적 배경과 FEC, 전송횟수, 패킷 길이 등을 구한다. FEC로 decoding 에너지가 가장 적은 BCH code를 사용한다.^[2] BCH의 에러 수정 가능성(t)이 2일 경우 에너지 효율성이 가장 높은 패킷길이는 700bits이고,^[2] BCH generator로 얻을 수 있는 가장 근접한 패킷길이(n)가 1023bits이므로 이를 기준으로 삼는다. BCH를 사용하였을 경우 발생하는 에러확률을 나타낸 식은 다음과 같다.

$$p_b = \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} p_c^i (1 - p_c)^{n-i} [p_c : \text{Channel BER}] \dots(1)$$



그림[3] Channel BER에 따른 BCH code를 사용했을 경우 BER (t=2)

900MHz대역의 RFID시스템에서 인식거리는 약 10~30m 사이이고 이 범위에서 에러확률은 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 이므로, Channel BER은 이를 기준으로 측정하였다. 그림[1]은 주어진 식(1)에 의해 BCH를 사용했을 경우의 에러확률을 Channel BER에 따라 나타낸 것이다. Channel BER이 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 인 범위에서, t=2일 경우 에러율(BER)이 약 10^{-9} 이므로 실제 사용가능하다. 위 사실을 바탕으로, Hybrid ARQ 알고리즘에서 BCH code의 초기값(t=2)을 얻을 수 있다.

$$Th_m = \frac{k_1(n - a - t)}{m(k_1n + E_{dec} + k_2)} \dots(2)$$

$$Rel_m = 1 - PER = (1 - p_b)p_b^{m-1} \dots(3)$$

k_1 : 통신시 소비 에너지 ($k_1 = 1.8 \times 10^{-6}$)

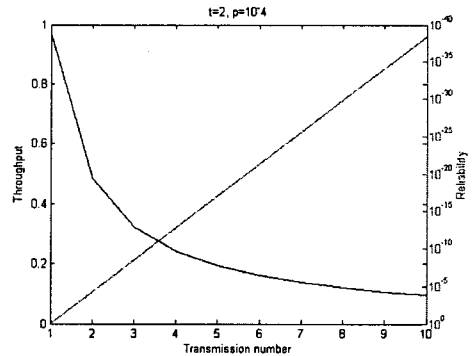
k_2 : start-up시 소비 에너지 ($k_2 = 24.86 \times 10^{-6}$)

E_{dec} : Decoding 에너지 ($E_{dec} = 0.18 \mu m$)

α : 헤더 길이 ($\alpha = 16\text{bits}$)

Throughput과 Reliability의 식(2),(3)^[2]을 이용하여 에러

발생시 재전송 횟수(m)에 따른 Throughput과 Reliability의 관계를 그림[3]에 나타내었다. t=2, Channel BER($P_b=10^{-3}$)일 경우, 재전송 횟수가 증가할수록 Reliability는 증가되어지는 반면, Throughput은 급격히 감소함을 알 수 있다.



그림[4] Transmission number에 따른 Reliability와 Throughput (t=2, p=10⁻⁴)

그러므로 성능 향상을 위해 재전송 횟수를 최소화하여야 하며, 본 논문에서 제안하는 Hybrid ARQ전송방식에서는 위의 그림[1],[2]의 결과를 토대로, encoding 에너지가 적은 BCH code를 사용하였으며, 전송횟수를 3번으로 제한하였다. 또한, BCH code의 파라미터의 초기값을 t=2로 정하고, 에러발생 경우 에러 수정 가능성(t)을 {2, 4, 8}로 변화시켜 재전송함으로써 에러율(BER) 최소화과 에너지 소모 최소화를 개선하였다.

4. 저전력 Hybrid ARQ 방식의 성능 평가

본 절에서는 본 논문에서 제안한 Hybrid ARQ와 기존의 전송방식의 성능을 분석한다. 이를 위해, Channel bit error에 따른 에너지 효율성과 Reliability를 비교한다.

$$\eta = \text{Throughput} \cdot \text{Reliability} \dots(3)$$

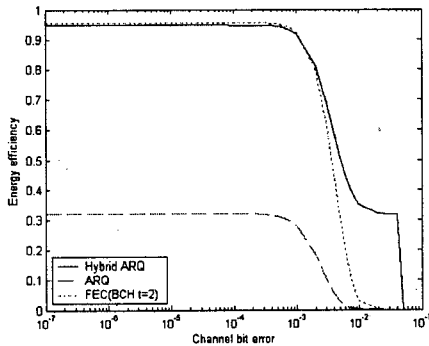
식(3)은 에너지 효율성을 나타낸 것이다. 식(3)을 이용하여 본 논문에서 제안한 Hybrid ARQ와 기존의 전송방식의 에너지 효율성과 Reliability를 비교하였다.

$$\eta_{Hybrid} = \frac{k_1(n - a - t)}{m(k_1n + E_{dec} + k_2)} \cdot (1 - p_e \cdot p_{H} \cdot p_{B}) \dots(4)$$

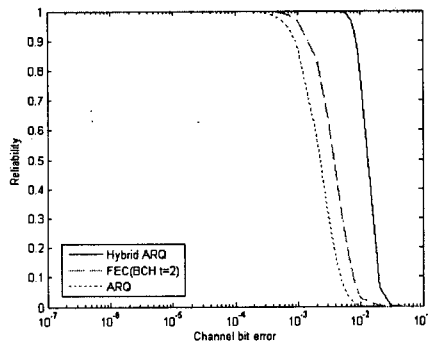
$$\eta_{ec} = \frac{k_1(n - a - t)}{m(k_1n + E_{dec} + k_2)} \cdot \sum_{i=0}^t \binom{n}{i} p_c^i (1 - p_c)^{n-i} \dots(5)$$

$$\eta_{arq} = \frac{k_1(n - a - t)}{m(k_1n + E_{dec} + k_2)} \cdot (1 - p^3) [p = 1 - (1 - p_c)] \dots(6)$$

식(4)(5),(6)을 이용하여 Hybrid ARQ와 기존의 전송방식의 성능을 그림[4]에서 보이고 있다. Channel BER이 10^{-3} 이하인 경우, BCH code를 이용한 에너지 효율성은 0.923으로 가장 성능이 좋은 반면, Channel BER이 나빠질 경우, Hybrid ARQ의 에너지 효율성이 다른 전송방식에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.



그림[4] Channel bit error에 따른 에너지 효율성



그림[5] Channel bit error에 따른 Reliability

그림[5]는 식(4),(5),(6)으로부터 각각의 Reliability만을 비교 분석한 결과이다. 900MHz대역의 RFID시스템 상에서 에러가 발생되어 질수 있는 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 범위^[2]에서 Hybrid ARQ 전송방식이 가장 높은 신뢰성을 보였고, Channel bit error이 10^{-3} 이상으로 나빠질 경우에도 가장 높은 성능을 보였다.

그림[4],[5]의 성능 분석을 통해 900MHz대역의 RFID시스템에서 본 논문에서 제안한 Hybrid ARQ방식의 사용 타당성을 증명하였다. 이 같은 결과가 나온 이유는 Throughput이 BCH code를 사용했을 경우가 0.955로 가장 높았지만 Reliability는 Hybrid ARQ가 가장 높은 성능을 보였기 때문이다. 그러므로 Hybrid ARQ를 사용함으로써, 신뢰성과 에너지 소모 최소화를 보장할 수 있다.

시뮬레이션은 MATLAB를 이용하여, 패킷길이(n)=1023bits, 데이터 개수(bit #)= 10^7 , Channel BER= 10^{-4} 인

경우에 재전송 횟수에 따른 에러율(BER)과 Delay의 성능을 비교 측정하였다. 표[1]은 재전송 횟수가 증가함에 따라 Hybrid ARQ의 에러율(BER)과 Delay를 나타낸 것이다.

Tran#	BER(이론)	BER(시뮬레이션)	Delay
1(t=2)	4.5×10^{-5}	4.7×10^{-5}	26ms
2(t=4)	8.7×10^{-7}	0	51ms
3(t=8)	3.0×10^{-11}	0	77ms

표 [1] 데이터 개수(bit#) = 10^7 , n=1023

시뮬레이션 결과, 재전송 없이 BCH만을 사용했을 경우 BER은 4.7×10^{-5} 이고, Hybrid ARQ를 사용한 경우보다 에러율(BER)이 높음을 알 수 있었다. 따라서 Hybrid ARQ는 BCH를 사용한 경우보다 성능이 우수하다. 또한, Hybrid ARQ를 사용했을 경우, 재전송 횟수가 증가함에 따라 에러율(BER)은 감소하는 반면, Delay는 증가하는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

RFID시스템에서 신뢰성과 에너지 효율성이 보장되어야 한다. 그러나 기존의 전송방식은 에러가 발생할 경우, 단순히 MAC계층에서 CRC체크 후에 재전송하는 방식으로 신뢰성이 떨어진다. 또한, 제한된 에너지원으로 운영되는 태그는 에너지 소모량에 따라 전송거리에 영향을 미치며, 전송파워가 약해질 경우 리더간의 간섭문제가 발생한다. 본 논문에서는 이 같은 문제를 해결하기 위해 에너지 효율성을 고려한 Hybrid ARQ를 제안하였다. 기존의 Hybrid ARQ를 개선시켜 신뢰성과 에너지 효율을 향상시키기 위해 에너지 효율성을 고려한 최적패킷 길이를 사용했고, coding 에너지가 적게 소모되는 BCH를 채택하였다. 재전송 횟수가 증가할 경우, BCH의 t를 증가 시킴으로써 에러율을 감소시켰다. 성능 분석 결과 기존의 전송방식에 비해 신뢰성과 에너지 소모 최소화를 보장할 수 있었고, 사용 타당성을 입증하였다.

참고문헌

- [1] 최성해, 조인휘, "센서 네트워크상에서 에너지 효율성을 고려한 최적 패킷 길이", 전자공학회
- [2] Y.Sankarasubramaniam, I.F. Akyildiz and S. W. McLaughlin, "Packet Size Optimization and its Implications on Error Control for sensor Networks" IEEE Personal Communications, 2003, pp.1-8
- [3] Z.SUN, X.JIA, "Energy Efficient Hybrid ARQ Scheme under Error Constraints", Kluwer, 2003.