

태그 수 추정을 이용한 ALOHA 기반의 RFID 충돌방지 알고리즘

조현우, 이창우, 반성준, 김상우
 포항공과대학교 전자전기공학과 지능제어시스템 연구실

An RFID anti-collision algorithm using estimation of the number of tags based on the ALOHA

Hyeonwoo Cho, ChangWoo Lee, Sung Jun Ban, Sang Woo Kim
 Division of Electrical and Computer Engineering, POSTECH, Pohang, Korea

Abstract - 확률적(stochastic) RFID 충돌방지 알고리즘은 둘 이상의 태그가 리더기의 인식범위 내에 있을 경우 태그들이 동시에 리더기의 질의에 응답함으로써 발생하는 충돌을 확률적으로 감소시켜, 정확하고 빠르게 다수의 태그를 인식하기 위한 알고리즘이다. 본 논문에서는 확률적 충돌방지 알고리즘 중 하나인 dynamic framed ALOHA를 기반으로 새로운 태그 수 추정 방법을 이용한 RFID 충돌 방지 알고리즘을 제안하였다.

1. 서 론

RFID 시스템은 RFID 리더기로부터 송신되는 RF 신호를 인식 대상이 되는 사물에 부착된 RFID 태그가 수신하고 이에 응답함으로써 사물을 인식하는 비접촉 인식 시스템이다[1]. 하지만 RFID 리더기의 인식범위 내에 두 개 이상의 태그가 존재하는 경우 각각의 태그가 리더기의 질의에 동시에 응답함에 따라 신호의 간섭이 발생한다. 이러한 신호의 간섭을 충돌(collision)이라고 하며, 충돌에 의해 리더기는 태그를 인식할 수 없게 된다.

이와 같은 충돌을 방지하기 위한 알고리즘은 크게 결정적(deterministic) 방법과 확률적(stochastic) 방법으로 나눌 수 있다[2][3]. 본 논문에서는 확률적 방법 중 특히 dynamic framed ALOHA를 기반으로 한 알고리즘에 초점을 맞추었다.

RFID 충돌방지를 위한 ALOHA는 먼저 리더기로부터의 질의 시작과 함께 모든 태그를 동기화 시키고 타임 슬롯의 수, 즉 프레임 크기(frame size)를 정의한다. 이어 각 태그는 임의의 타임 슬롯을 결정하고 해당 타임 슬롯에 자신의 ID 또는 데이터를 리더기로 전송한다[2][3]. 이러한 메커니즘은 태그가 응답하는 시간을 분산시켜 충돌이 발생할 확률을 감소시키며, 한 번의 질의 단계에서 정상적으로 읽힌 태그는 승인(acknowledgement)신호를 받음으로서 비활성화 되어 다음의 질의 단계에서는 반응하지 않으며, 최종적으로 모든 태그가 읽힐 때까지 질의 단계를 반복한다. 이때 각각의 질의 단계를 라운드(round)라고 부른다.

위와 같은 ALOHA의 성능은 각 라운드 마다 적용된 프레임 크기에 따라 달라지는데, 특히 Dynamic framed ALOHA는 동적으로 프레임 크기를 변화시킴으로써 최대의 처리량을 달성하고자 하는 알고리즘이다.

일반적인 ALOHA에서 증명된 바 있는 최대 처리량 달성 조건은 프레임 크기를 채널을 이용하고자하는 노드의 수와 같도록 정의하는 것이다[4]. 이를 RFID의 경우에 적용한다면 리더기가 정의하는 프레임 크기를 현재 존재하는 RFID 태그의 수와 같도록 하는 방법을 생각할 수 있다[2]. 만약 이러한 방법으로 프레임 크기를 정의할 경우 그렇지 않을 경우와 비교하여 평균적으로 가장 짧은 시간 동안에 모든 태그를 읽을 수 있다는 의미가 된다. 하지만 RFID 리더기의 통신 범위 내에 있는 정확한 태그의 수는 알 수 없으므로, 이를 위해 본 논문에서는 새로운 태그 수 추정방법을 소개하고자 한다. 제안한 태그 수 추정방법은 각 라운드에서 얻어진 데이터를 바탕으로 현재 라운드에서 리더기의 질의에 응답한 태그 수를 추정하고, 그 값을 이용하여 다음 라운드에서 사용할 프레임 크기를 결정한다.

본 논문의 구성은 제안된 태그 수 추정 방법을 먼저 소개하고, 전체적인 알고리즘을 제시한 후, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고 분석하는 것으로 이루어져 있다.

2. 본 론

2.1 태그 수 추정 방법

ALOHA 방식을 사용하는 RFID 리더기는 각 라운드에서 자신이 정의한 프레임 내에서 타임 슬롯의 상태를 관찰하는 것을 통해 성공(success) 슬롯 수, 휴지(idle)슬롯 수, 충돌(collision)슬롯 수를 셀 수 있다. 성공 슬롯은 오직 1개의 태그가 해당 슬롯에서 리더기의 질의에 응답하여 신호의 간섭 없이 RFID 리더기가 그 태그를 정확히 인식한 경우이다. 휴지 슬롯의 경우는 해당 슬롯에서 질의에 응답한 태그가 없어 어떠한 신호도 RFID 리더기로 전달되지 않은 타임 슬롯을 말한다. 충돌 슬롯은 두 개 이상의 태그가 하나의 슬롯에서 질의에 응답함에 따라 신호의 간섭이 발생하여 RFID 리더기가 태그를 인식하지 못하게 된 경우이다.

본 논문에서는 성공 슬롯, 휴지 슬롯, 충돌 슬롯의 수를 각각 S, I, C라고 정의하고, 이때의 프레임 크기를 N이라고 정의한다. 그리고 I가 0이 아닐 경우, I가 0이고 S가 0이 아닐 경우, I와 S가 모두 0인 경우로 나누고, 각 경우에 대해서 주어진 데이터 S, I, C 그리고 N을 이용하여 태그 수를 추정하는 방법을 제안할 것이다. 이때 각 라운드마다 S, I, C, N은 N=S+I+C

의 관계를 항상 만족한다.

2.1.1 휴지 슬롯의 수가 0이 아닌 경우

휴지 슬롯의 수가 적어도 1개 이상인 경우에 대해서는 이항 분포를 이용하여 유도된 식(1)을 통해 태그 수를 추정한다[2].

$$E(I) = N(1 - \frac{1}{N})^n \tag{1}$$

위의 식에서 E(I)는 휴지 슬롯 수의 기댓값(expectation Value)을 의미하며, n은 현재 라운드의 태그 수이다. 하지만 특정 라운드에서 E(I)를 계산할 수 없으므로 E(I)값이 I값과 같다고 가정하면,

$$I \approx N(1 - \frac{1}{N})^n \tag{2}$$

또한 n은 추정하고자 하는 값이므로,

$$I = N(1 - \frac{1}{N})^{\hat{n}} \tag{3}$$

식(3)의 I에 N-(C+S)를 대입하면,

$$N - (C + S) = N(1 - \frac{1}{N})^{\hat{n}} \tag{4}$$

그리고 자연로그를 이용하여 정리하면 최종적으로 현재 라운드의 태그 수를 추정하는 아래의 식(5)를 얻을 수 있다.

$$\hat{n} = \frac{\ln(1 - \frac{C + S}{N})}{\ln(1 - \frac{1}{N})} \tag{5}$$

하지만 식(5)는 N이 1이 아니거나, C+S가 N과 같지 않을 경우에 한해서 사용가능하다. 이는 I가 0일 경우에 식(5)를 사용할 수 없다는 의미와 같으며, I가 0일 때 태그 수 추정을 위한 다른 수식이 필요함을 의미한다.

2.1.2 휴지 슬롯의 수가 0이고 성공 슬롯의 수가 0이 아닌 경우

휴지 슬롯이 단 하나도 발생하지 않았지만 성공 슬롯이 존재하는 경우에 대해서 태그 수를 추정하는 식은 이항 분포를 이용하여 유도된 식(6)을 사용한다[2]. 단, 이 경우에 대해서는 충돌 슬롯이 1개 이상 존재한다고 가정한다. 왜냐하면 이 경우 충돌 슬롯이 없다면 모든 태그가 정상적으로 전송된 것을 의미하기 때문에 더 이상 알고리즘이 수행되지 않아도 되기 때문이다.

$$E(S) = n(1 - \frac{1}{N})^{n-1} \tag{6}$$

위의 식에서 E(S)는 성공 슬롯 수의 기댓값을 의미하며, n은 현재 라운드의 태그 수이다. 하지만 특정 라운드에서 E(S)를 계산할 수 없으므로 E(S)값이 S값과 같다고 가정하면,

$$S \approx n(1 - \frac{1}{N})^{n-1} \tag{7}$$

또한 n은 추정하고자 하는 값이므로,

$$S = \hat{n}(1 - \frac{1}{N})^{\hat{n}-1} \tag{8}$$

로 표현할 수 있다. 식(8)의 각 항을 간단히 표현하기 위하여 치환하면,

$$B = \hat{n}A^{\hat{n}} \tag{9}$$

로 표현되며, 식(9)에서 사용된 각각의 정의는 아래와 같다.

$$A = (1 - \frac{1}{N}) \text{ and } B = S(1 - \frac{1}{N}) = SA$$

하지만 식(9)를 일반적인 사칙연산을 통해 추정하고자하는 태그 수에 대한 식으로 전개하는 것은 불가능하다. 그러므로 본 논문에서는 식(9)를 다루기 위해 Lambert W function을 도입한다[5]. Lambert W function을 사용할 경우 추정하고자하는 태그 수는 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{n} = \frac{W(B \ln(A))}{\ln(A)} \quad (10)$$

여기서 $W(\cdot)$ 는 Lambert W function이다.

식(10)은 Lambert W function의 특성에 따라, $B \ln(A)$ 가 $-1/e$ 보다 작은 경우는 실수 값이 존재하지 않고, $B \ln(A)$ 가 $-1/e$ 보다 크거나 0보다 작을 때는 두개의 실수 값이 존재하며, $B \ln(A)$ 가 0보다 클 때는 1개의 실수 값이 존재한다[5]. 여기서 e 는 자연대수의 기저이다.

이를 바탕으로 $B \ln(A)$ 는 B와 A의 특성상 언제나 음수값을 가지므로 식(10)은 $B \ln(A)$ 가 $-1/e$ 에서 0사이에 있을 경우에 한해서 두개의 서로 다른 추정된 태그 수 값을 산출한다. 이 두 값은 각각 Lambert W function의 principal branch값과 non-principal branch값에 해당한다. RFID 충돌 방지 문제에서는 추정된 태그 수의 하한이 충돌 슬롯의 수의 2배 즉, $2C$ 로 주어지므로, $2C$ 보다 큰 값을 선택하기 위해서는 non-principal branch값이 선택되어야 하며, 최종적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{n} = \frac{W_{-1}(B \ln(A))}{\ln(A)} \quad (11)$$

여기서 $W(\cdot)$ 의 아래첨자 -1 은 Lambert W function의 non-principal branch값을 의미한다.

하지만, 식(11)은 $B \ln(A)$ 가 $-1/e$ 보다 작은 경우 사용할 수 없으므로 또 다른 식을 유도하기 위하여, I가 0이고 S가 0이 아닌 경우의 E(I)가 1보다 작다는 가정 하에 $0 < \beta < 1$ 인 β 를 정의하면, 식(1)에 의해,

$$\beta = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{\hat{n}} \quad (12)$$

자연로그를 사용하여 정리하면,

$$\hat{n} = \frac{\ln\left(\frac{\beta}{N}\right)}{\ln\left(1 - \frac{1}{N}\right)} \quad (13)$$

식(13)과 같이 추정된 태그 수를 나타낼 수 있다.

2.1.3 휴지 슬롯과 성공 슬롯의 수가 모두 0인 경우

이 경우는 휴지 슬롯과 성공 슬롯이 모두 존재하지 않는 경우로서, 모든 슬롯에서 충돌이 발생한 경우를 의미한다. 즉, N과 C가 같은 경우이며, 이 경우에는 추정에 사용할 수 있는 정보가 매우 제한적이다. 하지만 이 경우에도 식(12)에서 사용한 E(I)가 0보다는 크고 1보다는 작을 것이라는 가정이 여전히 유효하므로 식(13)을 유도할 때와 동일한 방법을 사용하여 식(14)를 얻을 수 있다.

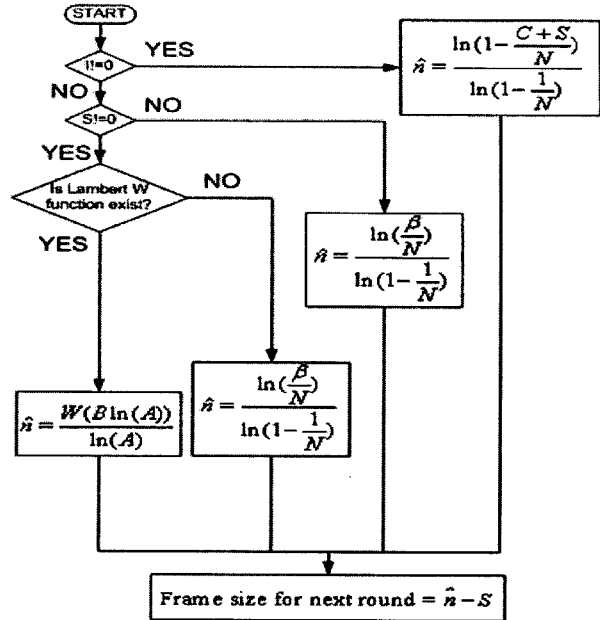
$$\hat{n} = \frac{\ln\left(\frac{\beta}{N}\right)}{\ln\left(1 - \frac{1}{N}\right)} \quad (14)$$

2.2 태그 수 추정을 이용한 dynamic framed ALOHA

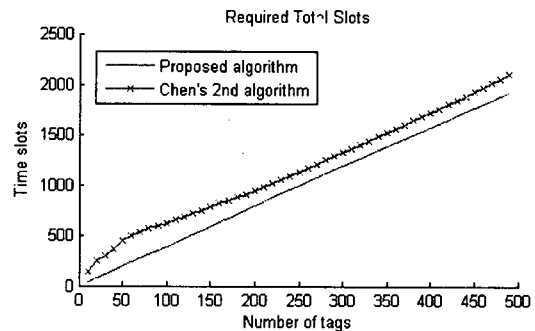
지금까지 설명한 태그 수 추정 알고리즘을 사용한 전체적인 dynamic framed ALOHA 알고리즘은 그림1과 같다. I와 S가 0인지 여부를 판단하여 각각의 경우에 알맞은 식을 적용하여 태그 수를 추정하고, 다음 라운드에서 사용할 프레임 크기를, 추정된 현재 라운드 태그 수에서 현재 라운드에서 일정한 태그수를 뺀 값으로 적용한다. 만약 현재 라운드에서 추정된 태그 수가 실제 태그수와 정확히 일치할 경우 다음 라운드에서 사용되는 프레임 크기는 다음 라운드에서 읽어 들어야 할 태그 수와 정확히 일치하게 되어 평균적으로 최대 처리량을 달성할 수 있다.

2.3 시뮬레이션 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 통해, 본 논문에서 제안한 알고리즘과 [2]에서 제안한 두 번째 알고리즘과의 성능을 타임 슬롯 수를 비교하는 것으로 평가하였다. [2]에 소개된 두 번째 알고리즘은 제안한 알고리즘과 같이 이항 분포 식을 이용하여 태그 수를 추정하는 방법을 사용하고 있다. 그림2는 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이며, 이 그래프는 초기 타임 슬롯 수를 16으로 하여, 10000번의 수행에 대한 평균값을 구해 얻어진 결과이다. 또한 타임 슬롯 수에는 승인(acknowledgement)에 사용된 타임 슬롯도 포함되었다. 그림2의 결과에 따르면 1~500개의 태그에 대해서 제안한 알고리즘이 더 적은 타임 슬롯을 요구한다는 것을 알 수 있다. 이것은 제안한 알고리즘이 더 짧은 시간동안 많은 태그를 인식할 수 있다는 의미이다. 이러한 결과는 제안한 알고리즘이 S, I, C의 값에 따라 발생하는 경우를 3가지로 분류하였고 각 경우에 대해서 적합한 식을 사용하였기 때문이다. 또한 제안한 알고리즘의 계산에 요구되는 Lambert W function은 [5]에 소개된 바 있는 one-shot 알고리즘을 이용하였으며, 이 알고리즘을 사용할 경우 재귀적인 계산 없이 Lambert W function값을 구할 수 있어 계산시간을 줄일 수 있다.



〈그림 1〉 태그 수 추정을 이용한 dynamic framed ALOHA 알고리즘



〈그림 2〉 태그 수에 따른 인식에 필요한 타임 슬롯 수 비교

3. 결 론

본 논문에서는 dynamic framed ALOHA를 기반으로 한 RFID 충돌방지 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 각 라운드마다 얻어진 성공 슬롯, 휴지 슬롯, 충돌 슬롯 수와 해당 라운드에서 사용한 프레임 크기를 바탕으로 하여 새로운 태그 수를 추정하는 방법을 사용하였고, 추정된 태그 수는 다음 라운드의 프레임 크기를 결정하는데 사용된다. 이를 통해 각 라운드마다 적합한 프레임 크기를 결정할 수 있다.

또한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하였으며, 기존의 알고리즘과의 비교를 통해 제안한 알고리즘이 인식 속도 면에서 더 효율적임을 알 수 있었다.

Acknowledgment

본 연구는 유비쿼터스 신기술 연구 센터(UTRC)지원에 의해 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook 2nd Ed.", John Wiley & Sons Inc. 2003
- [2] W.T. Chen and G.H. Lin, "An efficient anti-collision method for tag identification in a RFID system", IEICE Trans., vol E89-B No. 12, pp3386-3392, Dec. 2006
- [3] K. Woo and C. Kim, "RFID tag number estimation and query time optimization methods", KOREA INFORMATION SCIENCE SOCIETY, vol 33 No. 6, pp 420-427, Dec. 2006
- [4] F.C. Schoute, "Dynamic frame length ALOHA", IEEE trans. Commun., vol 31 No. 4, pp 565-568, Apr. 1983
- [5] F. Chapeau-Blondeau and A. Monir, "Numerical evaluation of the Lambert W function and application to generation of generalized Gaussian noise with exponent 1/2", IEEE Trans. on signal processing, vol 50 No. 9, pp 2160-2165, Sep. 2002