

RFID 태그 개수 추정 방법 및 질의 시간 최소화 방안

(RFID Tag Number Estimation and Query Time Optimization Methods)

우 경 문 [†] 김 종 권 ^{**}

(Kyungmoon Woo) (Chongkwon Kim)

요 약 무선인식(RFID) 시스템은 기존의 바코드 시스템을 대체할 뿐만 아니라 제조, 물류, 서비스 산업 등을 변화시킬 차세대 핵심 기술 중의 하나이다. RFID 시스템은 무선으로 초당 수 백개까지의 태그 정보를 인식할 수 있다. 태그 인식은 리더(reader)가 각 라운드 별로 정한 프레임 동안 태그들이 자신의 ID를 임의 전송함으로써 이루어진다. 태그 인식 시간을 감소시키려면 태그 수를 감안한 적절한 크기의 프레임을 할당해야 한다. 본 논문에서는 RFID 시스템에서 질의 시간을 최소화 할 수 있는 방법을 제안하였다. 먼저 태그 개수를 단순하면서도 효율적으로 추정하는 방법을 제안하고, 이를 이용하여 각 라운드 별로 최적 프레임 길이를 구하여 전체 질의 시간을 최소화하는 방법을 개발하였다. 기존에 제안된 방법과 성능 비교를 수행하여 본 논문에서 제안하는 태그 수 추정 방법이 기존 방법보다 더 정확하고 효율적임을 관찰하였고 최적 프레임 길이 결정 문제에 또한 간단한 Greedy방법이 복잡한 최적 프레임 계산기법과 비슷한 성능을 가진다는 것을 확인하였다.

키워드 : 무선인식(RFID) 시스템, 질의 최적화, 태그 추정, 프레임 길이

Abstract An RFID system is an important technology that could replace the traditional bar code system changing the paradigm of manufacturing, distribution, and service industry. An RFID reader can recognize several hundred tags in one second. Tag identification is done by tags' random transmission of their IDs in a frame which is assigned by the reader at each round. To minimize tag identification time, optimal frame size should be selected according to the number of tags. This paper presents new query optimization methods in RFID systems. Query optimization consists of tag number estimation problem and frame length determination problem. We propose a simple yet efficient tag estimation method and calculate optimal frame lengths that minimize overall query time. We conducted rigorous performance studies. Performance results show that the new tag number estimation technique is more accurate than previous methods. We also observe that a simple greedy method is as efficient as the optimal method in minimizing the query time.

Key words : RFID System, Query Optimization, Tag Estimation, Frame Length

1. 서론

무선인식(RFID) 시스템은 상품, 사물, 동물 등에 태

그(tag)를 부착하여 3~5m의 근거리에서 무선으로 정보를 읽을 수 있는 시스템을 말한다. RFID 시스템은 바코드를 대체할 뿐만 아니라, 제조, 물류, 서비스 산업 등에 큰 영향을 미칠 미래 사회의 핵심 기술이다[1]. RFID 시스템은 객체 인식을 위한 정보를 가지고 있는 태그, 객체 정보를 수집하고 송수신 기능을 가지는 리더(reader), 객체의 정보를 활용, 응용 처리하는 서버로 구성된다.

RFID 시스템의 핵심은 리더가 어떤 물품에 부착된 태그의 ID를 읽는 기능에 있다. 쇼핑 시스템을 예를 들어 설명해보자. 쇼핑 카트에 구매하고자 하는 물품들을

본 논문은 서울시가 시행하고 서울시립대학교 "지능형 도시 사업단(스마트-유비쿼터스 시티 사업단)이 주관하는 "스마트시티를 위한 지능형 도시정보 컨버전스 시스템 개발" 사업에서 일부 지원을 받았으며 한국 과학재단 목적기초연구(R01-200400010-37202005)에서 일부 지원으로 수행되었음.

[†] 학생회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부
kwo@popeye.snu.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
ckim@popeye.snu.ac.kr

논문접수 : 2006년 9월 11일
심사완료 : 2006년 10월 30일

실은 고객이 계산대에 도착하면 RFID 리더는 질의(query) 신호를 전송한다. 질의 신호를 받은 태그들은 자신의 ID를 무선으로 리더에게 전송한다. 만약 두 개 이상의 태그가 동시에 응답을 보내면 충돌이 발생하여 재전송을 해야 한다. RFID 시스템에서는 분산 충돌 시스템에서의 성공적인 전송을 위해 다수의 슬롯으로 구성된 프레임을 사용한다.

RFID 시스템에서 다중 정보 인식은 리더가 각 라운드 별로 정한 프레임 동안 태그들이 자신의 ID를 임의의 슬롯에 전송함으로써 이루어진다. 그림 1은 간단한 질의, 응답 프로세스의 예를 보여주고 있다. 질의, 응답 프로세스는 한 개 이상의 라운드로 구성된다. 각 라운드는 다시 질의 슬롯과 여러 응답 슬롯이 있는 프레임으로 구성된다. 리더는 질의 슬롯을 이용하여 태그들을 동기화하고 응답 프레임의 크기(즉, 응답 슬롯 수)를 태그에게 알려준다. 질의를 받은 태그들은 프레임 중 한 슬롯을 임의로 정해 그 슬롯 시간에 자신의 ID를 전송한다. 프레임 구조를 사용해도 여전히 충돌이 발생할 수 있다. 전송 중 충돌이 발생한 태그들은 다음 라운드에서 다시 전송하고 모든 태그가 전송에 성공할 때 전체 질의를 마치게 된다.

RFID 시스템은 각 라운드에서 정하는 프레임 길이에 따라 태그들의 충돌율이 변하고 전체 질의 시간이 달라지게 된다. RFID 시스템은 태그 개수 추정 정확도와 라운드 별 프레임 길이에 따라 시스템 효율이 결정된다.

본 논문에서는 RFID 질의시간을 최적화하기 위해서 기존에 제안된 방법보다 단순하면서도 효율적인 새로운 태그 개수 추정 방법을 제안하고, 각 라운드의 최적 프레임 길이(프레임을 구성하는 슬롯 수)를 분석하였다. 이론적으로 최적인 프레임 길이를 구하는 공식은 상당히 복잡하므로 실제 RFID 시스템에 적용하는데 문제가 있을 수 있다. 본 논문에서는 실제 시스템에서 적용하기 쉬운 간단한 Greedy 방법을 제안하였다.

기존에 제안된 방식[2]과 본 논문에서 제안한 방식들

을 수학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 성능을 분석하였다. 성능 분석결과 본 논문에서 제안하는 태그 개수 추정 방법이 기존에 제안된 방법보다 더 정확하게 태그 개수를 추정한다는 것을 관찰하였다. 또한 최적 프레임 길이와 단순화된 Greedy 방식에 의해 구한 프레임 길이를 비교한 결과 성능 차이가 매우 작다는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어서 2장에서는 RFID 연구 동향을 살펴 본다. 3장에서는 질의 시간 최소화를 위한 방법들을 살펴보고, 4장에서는 성능 비교 결과를 보여주고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

2. RFID 질의 시스템 및 기존 연구

RFID 시스템에서 여러 태그들을 동시에 인식할 때 필요한 충돌 해결 방법은 기본적으로 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 트리(tree) 구조 충돌 방지 방법이다. 이 방법은 충돌에 포함된 태그들의 일부를 잠시 수행 중지시키는 방법으로 동작한다. 즉, 태그들을 자귀적으로(recursive) 작은 그룹으로 나누어 전송 중 충돌이 발생하면 이 그룹을 충돌이 발생하지 않을 때까지 더 나누어가는 방법으로 충돌을 해소한다. 일단 한 개의 태그가 성공적으로 정보를 보내면 그 태그는 정보를 다시 보내지 않으며 다른 그룹의 태그들이 차례대로 전송을 시도한다. 그룹을 나누는 기준으로 무작위 기법[3] 및 태그 ID 기반 분류 기법[4]이 제안되었다.

두 번째 방법은 슬롯 알로하(Slotted Aloha) 시스템을 이용한다[5]. 태그들은 동일한 통신 수단을 공유하므로 태그들이 정보를 보내기 위해서 알로하 프로토콜에 의존한다. 슬롯 알로하 시스템에서는 시간을 슬롯이라는 태그가 ID정보를 보낼 만큼의 시간 단위로 분할하여 충돌 확률을 감소시킨다. 슬롯 알로하 방법은 다시 확률적 충돌 해결(stochastic collision resolution) 방법과 결정적 충돌 해결(deterministic collision resolution)방법으

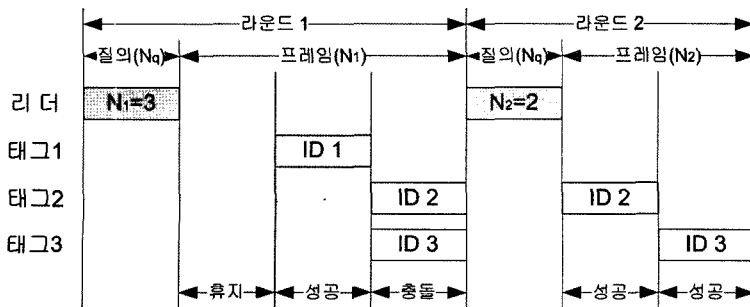


그림 1 라운드 구성도

로 세분할 수 있다. 확률적 충돌 해결 방법에서는 각 태그들이 전송 성공/실패 여부를 알지 못하고 자신의 ID를 매 라운드마다 반복하여 전송한다. 여러 번 반복해서 전송하면 성공 확률이 어느 정도 높아지지만 모든 태그들이 100% 전송에 성공하는 것을 보장하지 못한다[2]. 결정적(deterministic) 충돌 해결 방법은 모든 태그들이 전송에 성공할 때까지 전송에 실패한 태그들은 계속 전송을 수행하는 방법이다. 본 논문에서는 슬롯 알고리즘을 사용한 효율적, 결정적(deterministic) 방법을 제안하는 것을 목표로 하고 있다.

RFID 표준과 관련해서는 4~5가지 통신방식이 혼재하여 상호 호환성에 문제가 있었으나 EPCglobal이라는 민간표준기구에서 EPC Gen2[6]라는 표준을 만들었고, ISO의 RFID표준화 총회에서 논의가 완료되어 사실상 세계표준으로 확정되었다. 본 논문에서는 기존 연구와의 비교를 위해서 필립스(Philips)사의 I-Code 시스템을 가정하였다. 즉, 태그는 전체 64바이트의 메모리를 가지고 있고 그 중에서 8바이트를 자신을 식별하기 위한 코드로 사용한다. 각 라운드마다 리더는 질의(query)를 보내고 이 때 다음 라운드의 프레임 길이를 태그들에게 알려준다. 태그들은 리더가 알려주는 프레임 길이 중 임의의 슬롯을 선택하여 정보를 보낸다. 즉 i 번째 라운드는 리더가 사용하는 슬롯 시간 N_q 와 태그가 사용하는 프레임 길이 N_i 의 합이다(그림 1). I-Code시스템에서 질의 시간은 52ms이고 태그가 8바이트의 식별자를 전송하는데 필요한 슬롯 시간은 4.9ms이므로 $N_q = 10$ 이라고 할 수 있다[7].

RFID 질의(query) 시간을 최소화하려면 인식 대상이 되는 태그 개수를 정확하게 추정해야 하며 추정된 태그 개수에 따라 최적 프레임 길이를 결정해야 한다. 만약 태그 수에 비해 너무 많은 슬롯을 배정하면 많은 슬롯이 휴지(idle) 슬롯이 되어 비효율적이다. 반면, 너무 작은 슬롯을 배정하면 충돌이 많이 발생하여 효율성이 적어진다. 따라서 효율을 극대화하려면 태그 개수에 따라 적절한 프레임 길이를 결정해야 한다. 리더는 태그의 정확한 개수를 알지 못하므로 질의 최적화를 하려면 우선 리더가 자신이 관측할 수 있는 정보에 의거하여 태그 개수를 추정하는 방법을 고안해야 한다.

Vogt[2]는 두 가지 조건을 사용하여 태그 개수를 추정하였다. 첫 번째 조건은 충돌이 발생한 슬롯에는 최소한 두 개 이상의 태그들이 전송을 시도한 것이기 때문에 태그 수는 성공한 슬롯의 수와 충돌이 발생한 슬롯 수의 2배의 합 보다는 커야 한다는 것이다. 두 번째 조건은, 랜덤 변수 X 와 관련된 임의의 수행 결과는 X 의 기대 값과 가장 유사한 값이 되어야 한다는 Chebyshev의 부등식을 사용하였다. 즉, 여러 추정 값들의 수행 기대

값들과 실제 수행결과와 벡터(vector) 크기들을 계산하고 이 중 가장 작은 경우의 추정 값을 선택한다. 이런 계산은 각 라운드 별로 수행하므로 질의를 종료할 때까지 많은 연산이 필요하다.

DFSA[8]는 태그 개수 추정 방법으로 TEM I, II를 제안하고 있다. TEM I은 태그 개수와 프레임 길이에 따른 슬롯의 평균 충돌율을 미리 계산하고 각 라운드 별로 주어진 프레임 길이와 발생한 충돌율을 이용해서 태그 개수를 추정하는 방법이다. TEM II는 전체 처리율을 최대화 시키는 충돌율을 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{P_{coll}}{1 - P_{succ}} = 0.4180$ 로 계산하고 충돌이 발생한 슬롯에 포함된 태그의 개수를 $1/0.4180 = 2.3922$ 로 계산하였다. 즉, 추정 태그 개수는 $2.3922 * \text{충돌 슬롯 수}$ 로 계산된다. 하지만 TEM I, II 추정 방법은 최적 프레임 길이가 태그 개수와 같다고 전제 한 것이나 최적 프레임 길이는 태그 개수와 RFID 리더가 질의에 사용하는 시간[7]에 따라 달라지게 된다.

3. RFID 질의 시간 최적화 방안

첫 번째 라운드에서 RFID 리더는 태그 수에 대한 아무런 정보가 없는 상태에서 라운드의 길이를 정해야 한다. 이때 라운드 길이를 크게 주는 것과 작게 주는 것 중 어떤 것이 유리한지 살펴본다. 두 번째 라운드부터는 이전 라운드에 사용한 슬롯 중 성공한 슬롯 개수, 충돌이 발생한 슬롯 개수, 휴지(idle) 슬롯 개수를 이용하여 태그 수를 추정한다.

3.1 태그 수 추정 방법

어느 라운드에서 실제 태그 수는 X 개이며 프레임 길이는 N 이라고 하자. 어느 슬롯이 성공하려면 오직 하나의 태그만 그 슬롯에서 전송해야 하므로 성공확률 P_s 는 다음과 같이 결정된다.

$$P_s = X P (1 - P)^{X-1} \quad (1)$$

여기서 P 는 전송 시도율로서 태그는 모든 슬롯에 동일한 확률로 전송을 시도하므로 $P = 1/N$ 이다.

휴지(idle) 확률 P_r 과 충돌 확률 P_c 는 각각 다음과 같이 결정된다.

$$P_r = (1 - P)^X \quad (2)$$

$$P_c = 1 - P_s - P_r \quad (3)$$

식 (1)과 식 (2)를 이용하면 X 에 대한 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$X = (N - 1) \times \frac{P_s}{P_r} \quad (4)$$

위 식에서 P_s 와 P_r 을 성공 슬롯 개수 N_s 와 휴지(idle) 슬롯 개수 N_r 로 나타내면 다음과 같다.

$$X = (N-1) \times \frac{N_s}{N_r} \quad (5)$$

RFID 리더는 성공 슬롯 수, 휴지(idle) 슬롯 수를 관찰 할 수 있으므로 관찰 값을 식 (5)에 대입하면 태그 수 X 를 추정할 수 있다. 이 결과는 Wireless LAN에서 전송을 위해 경쟁하는 Node의 수를 계산하기 위해서 전송에 성공할 때까지 휴지(idle)한 슬롯 개수를 이용하는 방법과 결과가 일치한다[9,10].

식 (5)는 확률을 기반으로 도출한 값으로 실제 상황에서 관찰한 값을 식 (5)에 대입하면 부정확한 값이 발생할 가능성이 있다. 이런 가능성을 배제하기 위하여 다른 조건을 추가로 사용한다. 성공인 슬롯은 오직 하나의 태그가 전송하였고 충돌 슬롯에는 $\delta(\geq 2)$ 개의 태그가 전송하였다. 그러므로 X 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X = N_s + \delta N_c \quad (6)$$

여기서 파라미터 δ 는 한 슬롯에 참여한 태그의 수를 나타내는 점유수(occupancy number)이다. 점유수(δ)는 충돌에 참여한 총 태그 개수를 충돌 슬롯 수로 나눈 것으로 다음 식과 같이 도출할 수 있다.

$$\delta = \frac{\sum_{r=2}^X rN \binom{X}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{X-r}}{\sum_{r=2}^X N \binom{X}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{X-r}} \quad (7)$$

식 (7)을 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\delta = \frac{\sum_{r=2}^X r \binom{X}{r} \left(\frac{1}{N-1}\right)^r}{\sum_{r=2}^X \binom{X}{r} \left(\frac{1}{N-1}\right)^r} \quad (8)$$

식 (5)는 N_s 와 N_r 값을 사용하고 식 (6)은 N_s 와 N_c 값을 사용하기 때문에 두 식을 같이 사용하면 더 정확한 태그 값 추정이 가능하다. 즉 δ 가 가지는 범위를 구해서 식 (5)로 계산한 추정 값을 보정할 수 있다. δ 의 하한 값과 상한 값을 α, β 로 표시하면 다음과 같다.

$$N_s + \alpha \times N_c \leq X \leq N_s + \beta \times N_c \quad (9)$$

그림 2는 시뮬레이션 결과에서 얻은 것으로 점유수(δ)를 태그 수 X 의 함수로 표현하였다. 최적 프레임 길이는 태그 수 보다는 크고 태그 수의 두 배보다는 작으므로 (3.2절 표 1 참조) 프레임의 길이는 각각 $X, 2X$ 인 경우를 가정하여 실험하였다. 그림 2에서 $X \geq 10$ 이면 점유수는 태그 개수와 거의 무관하게 결정된다는 것을 관찰할 수 있다. 또한 프레임 길이에 따라 δ 값이 정해짐을 알 수 있다. $N = X$ 인 경우는 $\delta = 2.4$ 정도이며 N

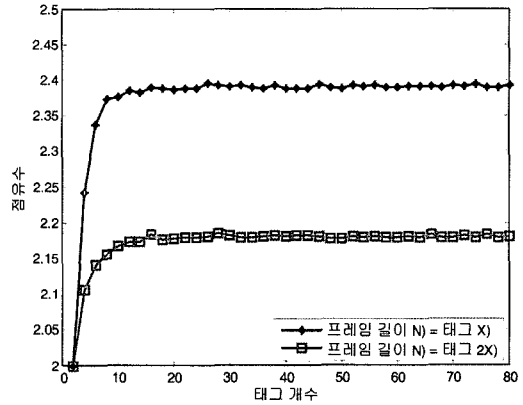


그림 2 충돌 발생 슬롯에 포함된 평균 태그 수

= $2X$ 인 경우 $\delta = 2.15$ 정도로 프레임 길이가 작으면 점유수가 높은 것을 알 수 있다.

본 논문이 제안하는 3.2절 표 1의 최적 프레임 길이를 적용한다면 프레임 길이는 태그 수 보다는 크고 태그의 2배 보다는 작으므로 본 논문에서는 $\alpha = 2.15, \beta = 2.4$ 를 사용하여 태그 개수 추정값을 보정하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 태그 개수 추정 방법을 다음과 같이 요약할 수 있다.

$$X = \begin{cases} N_s + 2.15N_c & \text{if } (N-1) \times \frac{N_s}{N_r} < N_s + 2.15N_c \\ N_s + 2.4N_c & \text{if } (N-1) \times \frac{N_s}{N_r} > N_s + 2.4N_c \\ (N-1) \times \frac{N_s}{N_r} & \text{o.w.} \end{cases} \quad (10)$$

3.2 질의시간 최소화 방법

2장에서 각 라운드는 리더가 질의를 보내는 시간 N_q 와 태그들이 ID를 전송하는 프레임으로 구성되어 있는 것을 살펴보았다. 프레임 길이는 슬롯 개수에 비례하여 결정되나 질의 시간은 프레임 길이에 관계없이 일정하다. 따라서 태그가 사용하는 시간이 작더라도 많은 라운드를 수행하게 되면 리더가 사용하는 시간이 많아져서 전체 질의를 끝내는데 필요한 슬롯 시간은 더 길어질 수 있으므로 라운드 횟수는 가급적 작을수록 좋다.

태그가 i 개 있을 때 $i-j$ 개가 전송에 성공하여 다음 라운드에는 j 개의 태그가 남는 확률을 $P_{i,j}$ 라고 하자. $P_{i,i}$ 은 모든 태그가 충돌하여 다음 라운드에도 i 개의 태그가 전송할 확률이고, $P_{i,0}$ 은 i 개 태그가 모두 전송에 성공할 확률이다. $P_{i,j}$ 는 논문 [2]에서 제시한 한 슬롯에 특정 태그 개수가 있을 확률을 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{i,j} = \frac{{}^N C_{i-j} \prod_{l=0}^{j-1} (i-l) \left\{ (N-i+j)^j + \sum_{k=1}^j \left\{ (-1)^k \prod_{n=0}^{k-1} \left\{ (j-n)(N-i+j-n)(N-i+j-k)^k \frac{1}{k!} \right\} \right\} \right\}}{N^j} \quad (11)$$

리더가 전송하는 질의 시간을 무시한다면 전체 태그 인식 시간을 최소화하는 것은 인식에 필요한 슬롯 수를 최소화 시키는 것과 같다. i 개의 태그를 인식하기 위한 라운드에 배정된 프레임 길이는 i 의 함수이므로 $f(i)$ 로 표현 할 수 있다. $F(i)$ 는 $f(i)$ 프레임 길이 결정함수를 사용할 때 i 개의 태그를 모두 인식할 때까지 여러 라운드에서 사용한 총 슬롯 개수라고 하자. $\bar{F}(i)$, $\bar{P}(i)$ 는 태그 인식 시간을 최소화한 최적 프레임 길이 결정 함수 및 최적 함수를 사용했을 때의 총 프레임 길이라고 하자. 총 슬롯 $\bar{P}(i)$ 은 현재 라운드에서 태그 i 개 중 $i-j$ 개가 전송에 성공하여 다음 라운드에서 j 개가 남은 확률 $P_{i,j}$ 과, $\bar{P}(j)$ 를 이용하여 재귀 함수로 표현할 수 있다.

$$\bar{P}(i) = \sum_{k=0}^{\infty} P_{i,i}^k \left\{ \sum_{j=0}^{i-1} P_{i,j} \left(\bar{F}(i) + N_q \right) k + \bar{F}(i) + N_q + \bar{P}(j) \right\} \quad (12)$$

그림 3은 $i=10$ 인 경우에 해당 라운드의 프레임 길이에 따른 총 슬롯 수를 나타낸 것이다. 그림 3에서 $N_q = 10$ 인 경우 이번 라운드의 최적 프레임 길이는 18이고, 이어지는 라운드에서 태그 개수에 맞는 최적 프레임 길이를 계속 선택한다면 총 58 슬롯 만에 전체 질의를 끝낼 수 있다.

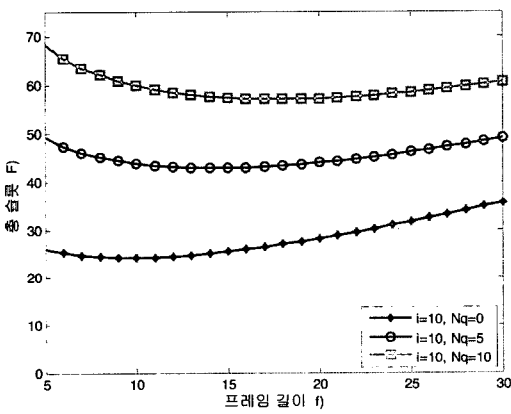


그림 3 프레임 길이에 따라 필요한 총 슬롯 수

식 (12)는 재귀함수이므로 최적 함수 $\bar{F}(i)$ 는 기본 케이스(base case)로부터 시작해서 결정해야 한다. 기본 케이스는 $\bar{F}(0) = 0$, $\bar{F}(1) = 1$ 이고 $i > 2$ 인 경우에는 기본 케이스를 기반으로 Dynamic Programming 기법을

이용하여 $\bar{F}(i)$ 를 구할 수 있다.

표 1은 $N_q = 10$ 인 경우에 태그 개수 별로 전체 질의 시간을 최소화 시키는 프레임 길이를 계산한 것이다.

표 1 최적 프레임 길이 ($N_q = 10$)

태그	프레임 길이	태그	프레임 길이
1	1	11	19
2	4	12	20
3	7	13	21
4	9	14	23
5	11	15	24
6	13	16	25
7	14	17	26
8	15	18	27
9	17	19	28
10	18	20	29

3.3 총 라운드 수 계산

리더가 태그를 전부 읽는 동안 사용한 총 라운드 수를 계산한다. 3.2절에서 유도한 식 (12)식을 이용하여 필요한 총 라운드 수를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R^{X=i} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{i,i}^k \left\{ \sum_{j=0}^{i-1} P_{i,j} (k+1 + R^{X=j}) \right\} \quad (13)$$

만약 리더가 보내는 질의 시간 N_q 가 슬롯 길이보다 상대적으로 클수록 라운드 당 오버헤드가 증가하므로 라운드 당 프레임 길이를 증가해서 라운드 횟수를 감소시키는 정책을 사용하는 것이 좋을 것이다. 반대의 경우는 짧은 프레임들을 여러 번 반복하는 것이 유리 할 수 있다. 그림 4는 N_q 에 따른 최적 라운드 횟수 및 총 슬롯 개수를 i 의 함수로 표현한 것이다.

3.4 첫 번째 라운드 전략

첫 번째 라운드에서는 추정 태그 개수(X)를 모르는

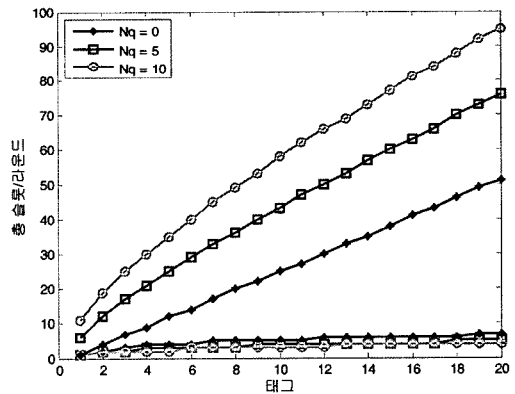


그림 4 N_q 에 따른 최적 라운드 및 총 슬롯 개수

상태에서 프레임 길이를 태그들에게 알려 주어야 한다. 이때 질의 시간을 줄이기 위해서 큰 라운드 길이를 사용하는 것과 작은 라운드 길이를 사용하는 것 중 어떤 것이 유리한지 살펴보기로 한다.

3.2절의 그림 3을 보면 전체 성능을 최대화 하는 프레임 길이의 범위가 넓음을 알 수 있다. 즉 태그가 10개 이고 $N_q = 10$ 인 경우 프레임 길이를 18로 하는 경우 필요한 슬롯 수를 최소화 하지만 15~20사이의 값을 선택 하더라도 전체 성능에 많은 영향을 주지는 않는다. 프레임 길이는 질의 시간에 큰 영향을 주지 않지만 태그 개수 추정의 정확성에는 영향을 미칠 수 있다. 그림 5에서 관찰할 수 있듯이 프레임 길이가 클수록 태그 개수 추정을 더 정확하게 할 수 있다는 것이다. 그러므로 전체 질의 최적화를 위해서는 태그 개수를 모르는 첫 번째 라운드는 작은 프레임보다는 큰 프레임의 선택이 낫다.

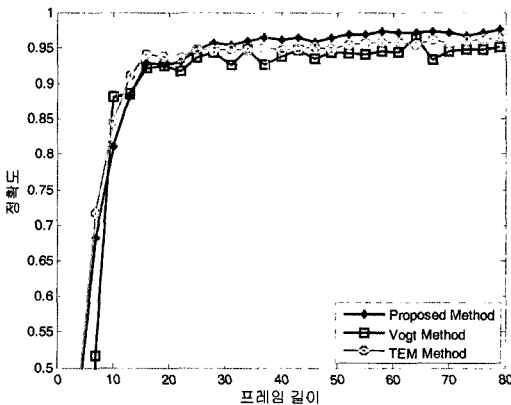


그림 5 프레임 길이 별 추정 정확도 (태그=20)

3.5 Greedy 방법

3.2절에서는 Dynamic Programming을 이용하여 최적 질의 시간을 분석하였다. Dynamic Programming은 상당히 많은 연산을 요구하므로 실제 적용하는 것이 어려울 수 있다. 본 논문에서는 태그 수에 따라 프레임 길이를 간단하게 결정하는 Greedy 방법을 제안하였다. k 번째 라운드에서 태그가 전송하는데 사용하는 N 슬롯과 리더가 사용하는 N_q 슬롯의 합으로 전송에 성공한 슬롯 수 N_s 를 나눈 값을 최대화 시키는 N 을 찾는다. 즉 주어진 슬롯 시간 동안 가장 많은 태그를 보낼 수 있는 N 을 고르는 것이다.

$$\text{MAX} \frac{N_s}{N + N_q} \quad (14)$$

$N_s = N \times P_s$ 이므로 식 (14)에 3.1절의 식 (1)을 대입하여 식 (14)가 최대가 되는 N 을 계산하면 다음과 같다.

$$N = \frac{X + \sqrt{X^2 + 4(X-1)N_q}}{2} \quad (15)$$

위에서 Greedy 방식을 통해 구한 프레임 길이 N 과 3.2절에서 Dynamic Programming으로 구한 최적 N 을 비교하면 표 2와 같다.

표 2 전체 질의 시간을 최소화하는 프레임 길이(Greedy vs. 최적)

태그	프레임(Greedy)	태그	프레임(최적)
1	1	1	1
2	5	2	4
3	7	3	7
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
18	25	18	27
19	26	19	28
20	28	20	29

표 3에서는 주어진 태그 개수를 전송할 때 필요한 전체 슬롯 수를 비교하고 있다. 표 2에서 Greedy한 경우와 최적인 경우의 라운드 별 프레임 길이는 약간의 차이가 있지만, 표 3의 총 슬롯 수는 거의 차이가 없다. 그 이유는 3.2절의 그림 3에서 보듯이 최적 프레임 길이의 주변 값을 선택하면 이 때 필요한 총 슬롯은 거의 비슷하기 때문이다.

표 3 전체 질의를 마치는데 필요한 총 슬롯(Greedy vs. 최적)

태그	총 슬롯(Greedy)	태그	총 슬롯(최적)
1	11	1	11
2	19	2	19
3	25	3	25
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
18	88	18	88
19	92	19	92
20	95	20	95

4. 성능 평가

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 태그 개수 추정 방법과 기존에 제안된 방법을 비교하고 전체 질의 시간을 최소화 시키는 각 라운드에서의 프레임 길이를 계산한 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한다.

4.1 태그 수 추정

본 논문에서 제안한 태그 개수 추정 방법을 Vogt[2]와 TEM[8] 방법과 비교한다. 그림 6은 프레임 길이를

3.2절 표 1의 태그 개수 별 최적 값을 적용한 경우로 태그 개수가 30개 이하인 경우는 본 논문에서 제안하는 방법이 가장 좋은 성능을 보여주고 30개 이상인 경우는 TEM 방법이 좋은 성능을 보여주고 있다. Vogt 방법은 태그 개수가 60개 이하인 경우 정확도가 많이 떨어짐을 알 수 있다. 태그가 30개 이상인 경우에 TEM 성능이 좋은 이유는 TEM은 프레임 길이가 태그 개수와 같은 경우에 최적화 되어있기 때문이다. 즉, 태그 개수가 많을수록 RFID리더가 질의에 사용하는 시간의 비율이 작아지며, 이에 따라 최적 프레임 길이가 태그 개수와 비슷한 값을 가지게 된다. 하지만 최적 프레임 길이는 태그 개수와 RFID리더가 사용하는 질의 시간에 따라 변하게 되고 특히 첫 번째 라운드에서는 태그 개수를 모르는 상태에서 프레임 길이를 할당하기 때문에 프레임 길이가 태그 개수와 다른 상황에서도 정확한 추정을 할 수 있어야 한다.

그림 7은 프레임 길이가 태그 개수의 2배로 주었을 때의 추정 정확도를 나타내고 있다. 이 경우에는 본 논

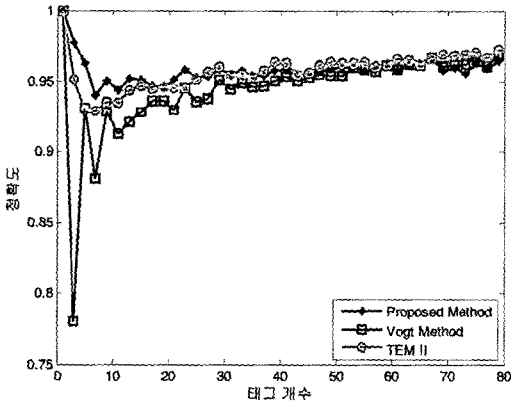


그림 6 태그 수 추정 정확도 (최적 프레임 적용)

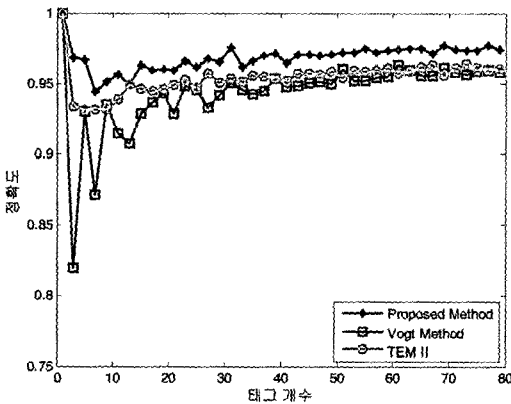


그림 7 태그 수 추정 정확도(프레임 길이 = 태그 개수 * 2)

문에서 제안하는 방법이 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

4.2 전체 질의 시간 최소화

전체 질의 시간을 최적화시키기 위해서 각 라운드에서 프레임 길이를 정할 때, 3.5절에서 살펴 본 것과 같이 최적 방법과 Greedy방법의 결과가 거의 같기 때문에 성능 분석에서는 간단한 Greedy방법을 사용한다. 3.1절에서 설명한 태그 개수 추정 방법을 사용하고 Greedy 방법을 이용하여 전체 질의 시간을 최소화 시키는 프레임 길이를 계산한다.

그림 8은 질의를 끝내는데 필요한 총 슬롯 수를 최적으로 선택하는 경우와 Greedy방법을 사용한 시뮬레이션 결과를 비교하고 있다.

그림 9는 EPC Gen2[6] 표준에서 정의한 프레임 길이를 2의 지수로 제한하는 경우와 가장 최적의 프레임 길이를 사용하는 경우를 비교하고 있다. 본 논문에서 구한 최적의 프레임 길이를 사용하는 것이 성능이 제일 좋지만, 표준을 준수하기 위해서 최적 값에 가장 가까운 2의

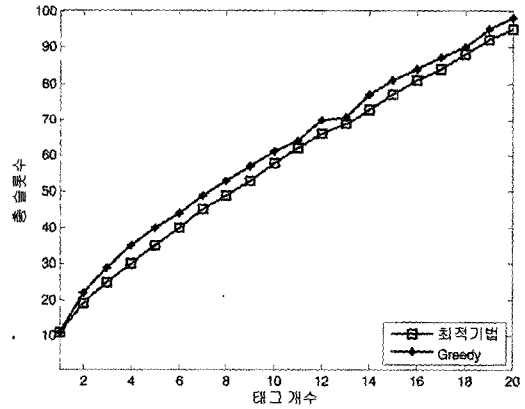


그림 8 태그 개수 별 필요 최소 슬롯

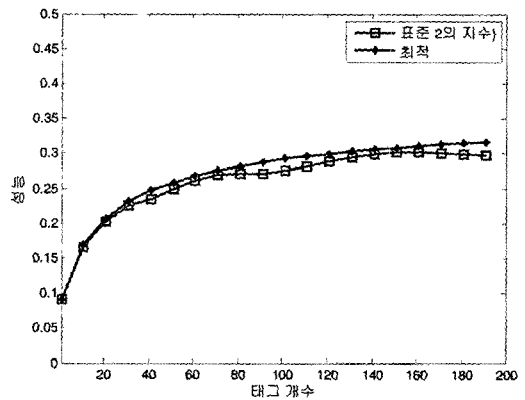


그림 9 프레임 길이 할당 방법에 따른 태그 개수 별 성능

지수로 프레임 길이를 선택하더라도 좋은 성능을 보여 준다.

5. 결론

본 논문에서는 간단한 태그 개수 추정 방법과, 이를 이용하여 RFID 시스템의 질의 시간을 최소화 시키는 각 라운드 별 최적 프레임 길이를 Dynamic Programming을 이용하여 결정하는 방법을 제안하였다. 그리고 전체 질의를 끝내는데 필요한 최소 슬롯 수와 예상 라운드 수를 계산하였다. 성능 평가를 통해 기존에 제안된 방법과 태그 개수 추정 정확도를 비교하였고, 전체 질의 시간을 최소화시키기 위해서 각 라운드 별 프레임 길이를 최적으로 적용한 경우와 Greedy 방법으로 적용한 경우의 성능을 비교하였다. 본 논문이 제안하는 태그 개수 추정 방법과 전체 질의 시간을 최소화하는 방법을 적용 시 많은 처리율 향상을 기대할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, 2nd Ed., p.1, John Wiley & Sons Inc, 2003.
- [2] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," Proc. Of Int. Conf. on Pervasive Computing, LNCS 2414, Aug., 2002.
- [3] Don R. Hush and Cliff Wood, "Analysis of Tree Algorithms for RFID Arbitration," IEEE International Symposium on Information Theory, pp. 107 - . IEEE, 1998.
- [4] Ching Law, Kayi Lee, and Kai-Yeung Siu, "Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification," Proceedings of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pp. 75-84, ACM, August 2000.
- [5] F.C. Schoute, "Dynamic Frame Length ALOHA," IEEE Transactions on Communications, pp.565-568, April 1983.
- [6] EPCglobal, "EPCTM Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960MHz," EPCglobal, Jan., 2005.
- [7] H. Vogt, "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC '02), October 2002.
- [8] Jae-Ryong Cha, Jae-Hyun Kim, "Dynamic Framed Slotted ALOHA algorithms using Fast Tag Estimation Method for RFID System," IEEE CCNC 2006 proceedings.
- [9] Frederico Cali, Marco Conti, and Enrico Gregori, "Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to

Achieve a Theoretical Throughput Limit," IEEE Transactions on Networking, Vol.8, No. 6, December 2000.

- [10] Martin Heusse, Franck Rousseau, Romaric Guiller, Andrzej Duda, "Idle Sense: An Optimal Access Method for High Throughput and Fairness in Rate Diverse Wireless LANs," SIGCOMM '05, August 2005.



우 경 문

1995년 공군사관학교 전산과(학사). 2005년~현재 서울대학교 전기, 컴퓨터공학부 석사과정. 관심분야는 무선랜, 이동통신, 차세대 인터넷

김 중 권

정보과학회논문지 : 정보통신
제 33 권 제 2 호 참조