

# 왕복 스캔을 통한 수동형 RFID태그의 물리적 순차 추정기법

이주호<sup>†</sup>, 권오흠<sup>\*\*</sup>, 송하주<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

RFID (Radio Frequency Identification) 태그 순차 추정 기법은 RFID 리더의 움직임을 이용하여 선형적으로 배열된 수동형 태그들의 물리적인 순서를 추정하는 것이다. 수동형 태그와 리더는 전자기 유도에 의한 미세 전파를 이용하여 통신하므로 수동형 태그의 스캔(scan)은 불안정하게 이루어진다. 본 논문에서는 순차 추정의 정확도를 높이기 위해 리더의 왕복 스캔을 이용하였다. 제안 기법은 먼저 리더의 움직임이 바뀌는 반환점을 찾아낸다. 그리고 이동 방향별로 매 읽기 주기에 읽혀지는 태그들의 집합을 이용하여 태그 전체의 순차를 추정한다. 실험을 통해 제안하는 기법이 다양한 환경에서 순차추정의 정확도를 높일 수 있음을 보였다.

## A Physical Sequence Estimation Scheme for Passive RFID Tags using Round Trip Scan

Joo-Ho Lee<sup>†</sup>, Oh-Heum Kwon<sup>\*\*</sup>, Ha-Joo Song<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

A tag sequence estimation scheme is to estimate the physical sequence of passive RFID tags that are linearly spread using the movement of a RFID reader. Since RFID readers communicate with the passive tags by very weak radio waves, scanning passive tags are unstable. In this paper, we applied round-trip scanning of a reader to enhance the tag sequence estimation. Proposed scheme first determines the turning point of the reader movement, and then estimates the sequence of the tags using the tag sets scanned in each read cycles. Test experiments show that the proposed scheme can improve the estimation accuracy.

**Key words:** RFID, Passive Tag(수동형 태그), Sequence Estimation(순차추정), Localization(위치 추정)

## 1. 서 론

무선 주파수를 이용하여 태그를 인식하는 RFID (Radio Frequency Identification)기술은 물류, 유통 분야에서 이미 널리 사용되고 있는 바코드를 대체할 차세대 인식기술이다. 최근 RFID 태그를 활용한 많

은 연구가 진행됨에 따라 RFID 태그는 단순 식별 용도에서 객체의 위치추정 및 센싱정보 활용에 이르기까지 다양한 분야에서 사용되고 있다.

본 논문에서는 선형적으로 배열된 수동형 태그의 순차 추정에 대해 주목한다. RFID 기술을 이용한 객체의 위치추적에 관한 연구 중 대부분이 태그나 리더

※ 교신저자(Corresponding Author): 송하주, 주소: 부산광역시 남구 대연 3동 599-1 부경대학교 대연캠퍼스(608-711), 전화: 051) 629-6258, FAX: 051) 627-6392, E-mail: hajoonsong@pknu.ac.kr  
접수일: 2012년 8월 8일, 수정일: 2012년 9월 19일  
완료일: 2012년 10월 10일

<sup>†</sup> 준회원, 부경대학교 IT융합응용공학과 (E-mail: noenemy5@nate.com)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 부경대학교 IT융합응용공학과 (E-mail: ohkwn@pknu.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 부경대학교 IT융합응용공학과

※ 이 논문은 2008학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음(C-D-2008-0167).

의 위치를 추정하거나 이동에 대해서만 초점이 맞춰져 있는 반면, 선형적으로 배열된 태그의 순차 추정에 관한 연구는 드물다.

실제 터미널 및 창고에서, RFID 리더가 장착된 지게차 및 로봇을 이용하여 1차원으로 배치되어 있는 수동형 태그가 부착된 사물들을 방향성을 가지고 인식할 경우, 배열된 사물들은 산발적으로 읽혀지고, 무작위로 정렬되지 않은 상태로 해당 리스트가 장치 화면에 출력 된다. 또한 상점, 음식점, 의류점등과 같은 곳, 특히 그림 1과 같이 도서관에서 모바일 리더를 이용하여 책장에 비치된 책을 인식할 경우, 사용자가 리더로 읽은 순서대로 화면에 출력되는 것이 아닌 현재 인식된 태그가 무엇인지에 대해서만 알 수 있다.

즉, 모바일 및 RFID 리더를 일정한 방향성을 가지고 읽거나, 또는 가만히 정지된 상태로 뒀을 때, 태그들이 안테나의 인식범위 내에서 산발적으로 읽혀지므로 인해 태그가 부착된 물리적 사물의 순번 및 위치를 추정하기에는 한계가 있다.

결국 이러한 태그를 모니터링하기 위한 유저인터페이스(UI:User Interface) 및 휴대폰 디스플레이에서 인식된 태그를 출력할 때, 사용자가 리더를 통해 읽은 순서대로 태그를 화면에서 볼 수 있는 것이 아니라 단순히 화면에 무작위로 출력하게 되는 것이다. 이러한 결과로 인해 사용자는 단지 태그의 인식여부만 확인 가능할 뿐 사용자가 원하는 정확한 태그의 순차는 추정할 수 없다.

그러므로 이러한 순차를 추정하는 기술이 개발되었을 때, 사용자 및 증강현실, 비즈니스 모델 등 다양한 분야에 응용을 함으로써 얻을 수 있는 이점이 큰

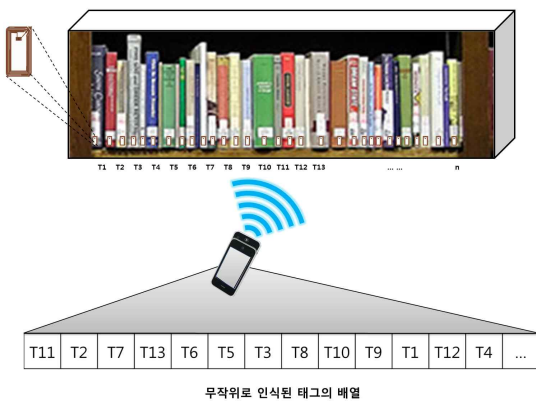


그림 1. 모바일 리더를 통한 일반적인 태그 인식과정

것으로 분석되므로 그림 2와 같이 물리적 태그의 순차를 추정하기 위한 기법이 필요하다.

고정된 형태의 수동형 태그의 순차 추정과 관련된 선행 연구에서는 리더의 이동에 따른 인식범위의 변화를 이용하여 수동형 태그들의 순차를 추정하는 기법이 제시되었다[1]. 그러나 미세전파를 이용하여 통신하는 수동형 태그의 특성으로 인해 리더의 이동과정에서 태그들이 안정적으로 읽히지 않는 문제가 있다. 이에 본 논문에서는 RFID 태그 추정의 정확성을 향상 시킬 수 있는 방법으로 스캔의 횟수를 증가시키는, 왕복 스캔을 통한 수동형 RFID태그의 물리적 순차 추정기법을 제시한다.

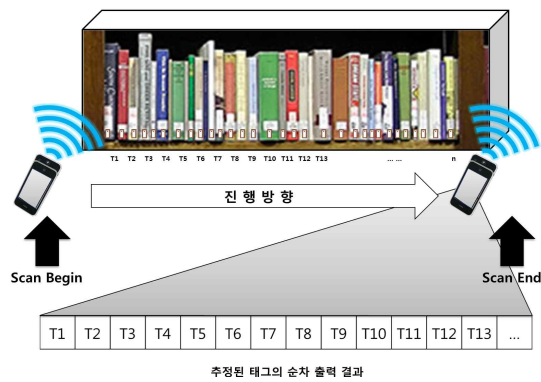


그림 2. 모바일 리더를 통한 태그순차 추정과정

## 2. 관련연구

RFID는 안테나와 태그에 내장된 정보를 무선주파수를 이용하여 리더가 비접촉식으로 인식하여 처리, 활용하는 기술 및 시스템으로 정의되며 유통, 물류, 운수, 제조업 등 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다[2]. RFID 기술은 사물의 위치추적 용도로도 활용되고 있다. 자체 전원을 가진 능동형 RFID 태그의 경우에는 태그로부터 발생하는 주기적인 신호를 이용하여 위치추적이 가능하다[3,4]. 리더로부터 자기장을 통해 전원을 공급받는 수동형 태그[5,6]의 위치추적 기법[7,8]은 좀 더 다양하다. 리더기를 사람 또는 이동로봇, 지게차 등과 같은 이동 체에 부착하여 안테나의 최대인식 범위 내에 위치한 고정된 위치의 태그를 인식함으로써 이동 체의 궤적 및 위치를 추정하는 기법[9-11]과 고정된 안테나에서 수동형 태그의 위치를 추정하는 기법[12,13], 그리고 리더를 이동

해 가면서 인식한 태그 즉, 목표가 되는 객체에 대한 물리적인 순차를 추정하는 기법으로 구분된다. 제안하는 기법은 2차원 또는 3차원 공간에서 태그의 절대 위치를 찾기보다는 일차원으로 인접하게 배열된 수동형 태그들의 상대적인 위치를 찾는 것이다. 이어지는 절에서는 태그들의 상대적인 위치인 순차를 추정하는 원리 및 관련된 기존 연구에 대해 설명한다.

2.1 순차추정기법

수동형 태그들의 순차를 추정하는 기본 개념은 리더의 이동에 따른 인식범위의 변화를 이용하는 것이다[1]. 벽면에 부착된 태그들을 리더를 이동시키면서 스캔하면, 그림 3과 같이 읽기 주기 당 인식된 태그들이 시간의 경과에 따라(읽기주기가 증가함에 따라) 리더의 인식범위에 의해 인식되는 태그가 바뀌는 것을 볼 수 있다. 그리고 먼저 인식되는 태그가 보통 먼저 사라지는 현상을 알 수 있다.

예를 들어, T1은 읽기 주기 1에서 읽힌 뒤 계속 읽히다가 읽기 주기 3 이후부터 인식되지 않는 것을 알 수 있다. 즉, ‘읽기 주기 3 이후부터 T1이 더 이상 안테나의 인식범위 내에서 읽히지 않는다.’ 라는 의미를 도출할 수 있다. 이와 같은 원리를 모든 태그에 적용한다면 어느 정도 태그의 순차를 가늠할 수 있다. 하지만 한 태그가 다른 태그보다 순서상 앞쪽에 위치한다고 명확하게 판단할 근거가 필요하다. 태그들 간의 상호 순서는 다음과 같은 근거를 통해 유추

할 수 있다[1].

첫째, 한 태그가 다른 태그에 비해 처음으로 읽힌 읽기 주기가 빠를 경우이다. 예를 들어, T3는 T4에 비해 읽기 주기 1에서 먼저 인식되었으므로 읽기 주기 2에서 처음 인식된 T4보다 순서상 앞쪽에 위치한다고 할 수 있다.

둘째, 한 태그가 다른 태그에 비해 마지막으로 읽힌 읽기 주기가 빠를 경우이다. 예를 들어, T1과 T2는 동시에 읽혔지만 T1의 마지막으로 읽힌 시간은 읽기 주기 3이고, T2는 읽기 주기 4에서도 읽혔다. 즉, T1이 T2에 비해 먼저 안테나의 인식범위를 지나쳐 갔다고 추정할 수 있으며, 순서상 앞쪽에 위치한다는 것을 알 수 있다.

셋째, 한 태그가 다른 태그에 비해 처음으로 사라진 읽기 주기가 빠를 경우이다. 예를 들어, T16은 T17과 같이 처음으로 읽힌 읽기 주기와 마지막으로 읽힌 읽기 주기가 일치한다. 하지만 T16은 읽기 주기 11에서 T17은 읽기 주기 12에서 각각 사라진 적이 있다. 이는 RF의 특성상 안테나가 이동하면서 태그를 인식할 수도 있고, 인식하지 못할 수도 있는 경우가 종종 발생할 수 있기 때문이다. 하지만 잘 인식되지 않다는 것은 안테나의 인식범위의 최대치에 근접해가므로 인해 전파가 읽히거나 읽히지 않다는 의미로 판단 할 수 있다. 즉, T16과 T17의 모든 조건이 동일 할 때, T16이 먼저 인식이 잘되지 않아 사라진 시간이 이르다는 것은 그만큼 T17에 비해 인식범위

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
<b>SCAN BEGIN</b>																		
Read Cycle 1	●	●	●															
Read Cycle 2	●	●	●	●	●													
Read Cycle 3	●	●	●		●	●	●											
Read Cycle 4		●	●	●	●		●											
Read Cycle 5			●	●		●	●	●	●									
Read Cycle 6			●	●	●	●	●	●										
Read Cycle 7				●	●		●	●	●	●	●							
Read Cycle 8					●	●		●	●	●	●	●						
Read Cycle 9					●	●	●	●		●	●		●	●	●			
Read Cycle 10							●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	
Read Cycle 11								●	●	●		●	●	●		●	●	
Read Cycle 12									●	●	●	●	●	●	●		●	
Read Cycle 13													●	●	●	●	●	
<b>SCAN END</b>																		

그림 3. 읽기 주기 당 읽힌 태그리스트

를 먼저 지나쳐 갔기 때문이라고 판단할 수 있다.

이와 같은 근거를 바탕으로 태그가 읽힌 주기 정보를 바탕으로 하여 읽혀진 전체 태그들 간의 순서를 파악할 수 있으며, 이를 위해 다음과 같이 주기 평균에 의한 추정 및 가중 평균에 의한 추정의 두 가지 계산 방식이 사용된다.

2.1.1 주기 평균(Average)에 의한 추정

단순평균에 의한 추정 방법은 각 태그들에 대해 해당 태그가 읽힌 모든 읽기 주기 값의 평균을 계산하여 순차를 추정하는 것이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{주기평균} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n C_i$$

여기서,  $i$ 는 읽혀진 태그를 뜻하며  $C_i$ 는 태그  $i$ 가 인식되었을 때의 읽기 주기를 뜻한다.  $N$ 은 태그  $i$ 가 인식된 읽기 주기의 횟수이다. 하나의 태그에 대한 단순 평균 추정 값은 각 태그가 읽혔던 읽기 주기 시간의 합을 태그가 읽혔던 모든 읽기 주기의 횟수로 나눈 값이다. 만약 그림 3과 같은 데이터에 실제 평균 값을 취하면 표 1과 같이 도출된다.  $C_i$ 는 읽기 주기

당 1씩 증가한다고 가정한다.

하지만 위의 결과는 이상적으로 태그가 인식되었을 때의 상황이며, 실제 태그가 인식되는 보통의 형태는 그림 4과 같다.

그림 4의 (a)는 태그가 처음에 정상적으로 읽히다가 마지막 읽기 주기 즈음에 우연히 읽힌 경우이고, (b)는 태그가 처음에 정상적으로 읽히다가 중간에 사라진 후 다시 읽히는 경우이다. 이 2가지 경우로 인해 표 2의 결과같이 순차를 가늠할 수 없을 정도로 추정된 순차의 결과가 뒤섞여있는 것을 알 수 있다.

2.1.2 가중 평균(weighted average)에 의한 추정

단순 평균에 의한 추정에서의 문제점은 태그가 RF의 특성으로 인해 우연히 마지막에 인식되는 경우 혹은 정상적으로 읽히다가 중간에 사라진 후 다시 읽히는 경우, 평균치가 비정상적으로 증가함에 따라 태그의 순차를 도출하는데 부정확성이 발견되는 것이다. 이러한 경우, 이전보다 태그 순차의 정확성을 높이고자 각 태그의 사라진 정보를 캐시(cache)에 저장하고 만약 2번 이상 연속으로 사라진 경우를 주목하여 이를 제거하고 평균치를 계산하는 것을 가중

표 1 단순 평균에 의한 추정 예1

태그	1	2	3	4	5	6	~	14	15	16	17	18
읽기주기평균	2.0	2.5	3.5	4.8	4.9	6.2	~	11.3	11.0	11.7	11.3	12.0
추정된 순차	1	2	3	4	5	6	~	15	14	17	16	18

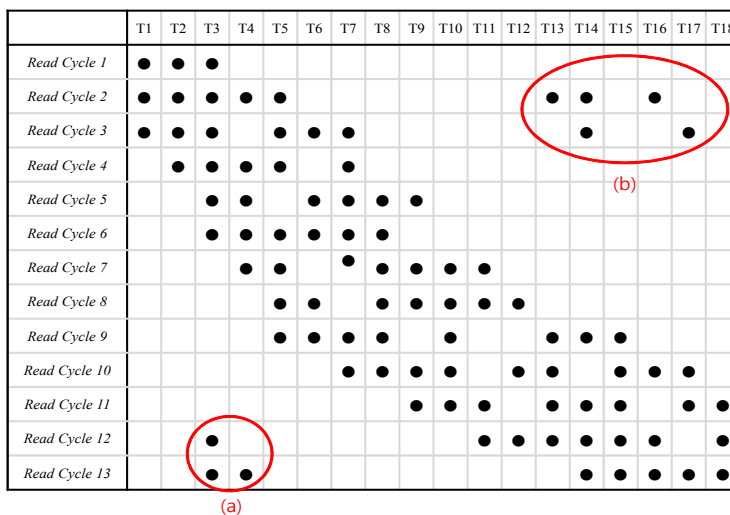


그림 4. 우연히 인식된 태그의 예

표 2. 단순 평균에 의한 추정 예2

태 그	1	2	3	4	5	6	~	14	15	16	17	18
읽기주기평균	2.0	2.5	5.7	6.2	4.9	6.2	~	12.5	11.0	12.3	12.3	12.0
추정된 순차	1	2	4	5	3	6	~	18	13	16	16	15

평균에 의한 추정으로 정의한다.

우선 리더가 태그 인식을 시작한 후 종료할 때 까지 우연히 읽기 주기가 발생한 경우는 2가지로 요약할 수 있다. 하나는 우연히 처음 개시할 때 읽힌 경우와 우연히 마지막에 읽힌 경우이다. 우연히 읽혀진 읽기 주기에 가중치를 부여한 후 해당 오차를 줄여 보다 높은 추정치를 도출한다.

한 태그에 대한 가중 평균에 의해 순차추정치를 도출하는 아래의 과정을 살펴보면,  $C_i$ 는 앞선 언급한 설명과 동일하고,  $w_i$ 는 태그가 우연히 읽히거나 사라졌을 때 적용할 가중치이다.  $N$ 은 태그가 인식된 읽기 주기의 횟수이고  $M$ 은 갑자기 읽히거나 사라진 읽기 주기 횟수 곧, 가중치가 0의 값을 가지는 읽기 주기의 횟수이다.

$$\text{가중 평균값} = \frac{1}{N-M} \sum_{i=0}^n C_i \times w_i$$

가중치가 1이라는 것은 ‘태그가 정상적으로 읽혔다’라는 의미이며, 기존 단순 평균에 의한 추정에서의  $N$ 이 가중치 1의 개수의 합이라고 할 수 있다. 반면 가중치가 0이라는 것은 ‘태그가 우연히 읽혔다’는 의미이며 0의 가중치 값은 기존의 데이터에서 평균 값을 상승시키거나 감소시키는 원인이 된다.

표 3과 같이 가중치를 부여하여 우연히 읽힌 태그를 제거함으로써 실제 이상적인 태그순차를 도출할 수 있다. 다음은 그림 4과 같은 데이터에 가중 평균에 의한 추정을 적용한 예이다.

### 3. 왕복 스캔을 통한 태그 순차 추정 기법

#### 3.1 추정 알고리즘

단일 스캔을 통한 태그의 물리적 순차 추정 시,

단일 스캔의 결과가 항상 정확한 추정을 위한 최적의 결과가 나타나지는 않는다. RF의 특성으로 인해 인식 범위에 관계없는 스캔의 결과가 나타나기도 하는데 이는 순차 추정을 어렵게 만드는 요인이 된다. 태그 스캔의 횟수를 높이는 것은 순차 추정을 위한 데이터를 늘림으로써 예외적으로 발생하는 태그 스캔 결과로부터 비교적 안정적인 추정을 가능하게 한다. 이에 본 절에서는 스캔의 횟수를 늘린 왕복 스캔을 통한 수동형 RFID 태그의 물리적 순차 추정 기법을 제시한다.

방향성을 가진 단일 스캔을 통한 수동형 RFID 태그의 물리적 순차 추정 기법은 특정 태그가 읽힌 시간과 사라진 시간을 통하여 각 태그별로 읽기 주기의 평균을 구하여 순차 추정이 가능 하였다. 그러나 왕복 스캔을 통한 수동형 RFID태그의 물리적 순차 추정 기법에서는 이에 더하여 추가로 고려할 사항이 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 왕복 스캔을 함으로써 왕복이 이루어지는 반환점을 기준으로 태그가 두 번의 읽기 주기 그룹에 걸쳐서 읽히기 때문이다. 그러므로 왕복 스캔을 통해 주기별로 인식된 각 태그 그룹들에서 태그  $t$ 의 스캔주기 순번의 평균값( $\bar{C}_t$ )을 다음과 같이 계산한다.

$$\bar{C}_t = \frac{\sum_{i=1}^N o(i,t)}{\sum_{i=1}^N e(i,t)}$$

위 식에서  $N$ 은 미리 설정된 스캔 주기의 횟수를 의미하고  $o(i,t)$ 는 방향전환 시점 이전의 경우 스캔주기 순번  $i$ 에 태그  $t$ 가 태그집합에 포함되는 경우에 순번  $i$ 를 반환하는 함수이다. 방향전환 시점 이후의 경우, 리더의 이동속도가 왕복 스캔동안 동일한 속도를 유지한다면 반환점을 기준으로 방향전환 시점 이전의 경우와 대칭되는 값을 가질 수 있다. 그러나 리

표 3. 가중 평균에 의한 추정 예

태 그	1	2	3	4	5	6	~	14	15	16	17	18
읽기주기 평균	2.0	2.5	3.5	4.8	4.9	6.2	~	11.3	11.0	11.7	11.3	12.0
추정된 순차	1	2	3	4	5	6	~	15	14	17	16	18

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17
Read Cycle 1	•	•															
Read Cycle 2	•	•	•	•													
Read Cycle 3	•	•	•	•													
Read Cycle 4	•	•	•	•	•												
Read Cycle 5				•	•	•	•										
Read Cycle 6						•	•	•									
Read Cycle 7						•	•	•	•								
Read Cycle 8								•	•	•							
Read Cycle 9								•	•	•	•						
Read Cycle 10									•	•	•	•	•	•			
Read Cycle 11										•	•	•	•	•			
Read Cycle 12												•	•	•	•		•
Read Cycle 13												•	•	•	•	•	•
Read Cycle 14															•	•	•
Read Cycle 15																•	•
Read Cycle 16																•	•
Read Cycle 17												•	•	•	•	•	•
Read Cycle 18												•	•	•	•	•	•
Read Cycle 19												•	•	•	•	•	
Read Cycle 20											•	•	•	•	•		
Read Cycle 21								•	•	•	•	•	•				•
Read Cycle 22								•	•	•	•						
Read Cycle 23							•	•	•	•							
Read Cycle 24							•	•	•	•		•					
Read Cycle 25							•	•	•								
Read Cycle 26				•	•	•	•	•									
Read Cycle 27	•		•	•	•	•	•										
Read Cycle 28		•	•	•													

그림 5. 왕복 스캔을 통한 주기별로 인식된 태그 그룹

더의 이동속도가 왕복 스캔 주기 동안 변할 때는 반환점 이후의  $o(i,t)$ 는  $C_f$ (순방향으로 스캔된 태그의 읽기 주기 집합)와  $C_b$ (역방향으로 스캔된 태그의 읽기 주기 집합)의 원소 개수 비율을 곱하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$o(i,t) = \begin{cases} i & t \in C_i \text{ and } C_i \in C_f \\ |N-i| \frac{\|C_f\|}{\|C_b\|} & t \in C_i \text{ and } C_i \in C_b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$C_i$ 가  $i$ 번째 미리 설정된 주기에서 읽힌 RFID 태그들의 집합을 나타내고,  $C_f$ 는 읽기 시작에서부터 방향 전환 시점까지의 미리 설정된 주기의 집합,  $C_b$ 는 방향 전환 시점에서 읽기 종료 시점까지의 미리 설정된 주기의 집합, 그리고  $t$ 가 읽은 RFID 태그를 나타낸다.  $e(i,t)$ 는 태그  $t$ 가  $i$ 번째 읽기 주기에서 읽힌 태그이면 1을 반환하는 함수이며 계산식은 다음과 같다.

$$e(i,t) = \begin{cases} 1 & t \in C_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

### 3.2 반환점의 추정

왕복 스캔에서는 방향전환 시점을 알아내는 것이 순차 추정 결과에 중요한 요소가 된다. 잘못된 방향 전환 시점의 추정은 순차 추정 결과의 오류율을 높이는 원인이 될 수 있다. 3.1절에서 방향전환 시점을 추정하는 것은 곧 읽기 주기를  $C_f$ 와  $C_b$ 로 구분하는 것이 되며, 이는 주기별 인식된 태그 그룹이 순차 추정을 위한 완벽한 데이터의 집합이라고 가정 했을 때 스캔 결과 집합을 분석함으로써 방향전환 시점이 추정 가능하다.

방향전환 시점은 모든 태그별로 읽기 주기 평균의 합계를 총 태그의 수로 나눈 값으로 추정할 수 있다.  $N$ 은 미리 설정된 읽기 주기의 횟수,  $M$ 은 태그가 읽히지 않은 읽기 주기의 횟수를 나타내고,  $C_i$ 는  $i$ 번째 읽기 주기에서 읽히면 읽기 주기 시간을 그렇지 않으면 0의 값을 가진다고 할 때 특정 태그의 읽기 주기 평균은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{읽기 주기의 평균값} = \frac{1}{N-M} \sum_{i=0}^N C_i$$

왕복 스캔 시 방향전환 시점을 기준으로 리더의 이동 속도가 동일하다고 가정하면, 전체 태그에 대한 읽기 주기 시간의 평균에 해당하는 값이 시간적으로 방향전환 시점과 유사하다는 것을 추정할 수 있다. 사용되는 태그의 수를  $T$ 라고 하고  $C_{avg}$ 를 읽기 주기의 평균값이라고 하면 방향전환 주기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{방향전환 주기} = \sum_{t=1}^T C_{avg}(t) / T$$

위와 같은 방법으로 리더의 왕복이 정확히 동일한 속도로 진행 된다면 RFID의 특성으로 인한 의도되지 않은 태그의 읽힘이나 태그가 읽히지 않는 경우에도 태그에 개수에 비해 안정적으로 방향전환 시점을 찾을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이동 속도가 다르다면 위의 방법을 사용한 추정은 실제 결과와 다른 값을 추정할 수도 있다.

리더를 일정하지 않은 속도로 왕복 스캔 시, 방향전환 주기 계산에서 방향전환 시점이라고 예상되는 부분들의 평균 읽기 주기만을 추정해 넘으로써 앞서 언급한 문제를 보완할 수 있다. 그림 5의 경우를 살펴보면, 일반적으로 한번 나타났던 태그가 방향전환 시점을 기준으로 한 번 더 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 17번 태그의 경우에는 그러한 성향을 찾아볼 수 없고, 읽혔다가 사라진 태그가 다시 나타나지 않는 특징을 보인다. 방향전환 시점 부분의 마지막 태그를 포함한 소수의 태그들이 몇 번의 읽기 주기 동안 지속적으로 읽히기 때문이다. 이러한 성질을 이용하여  $C_f$ 와  $C_b$ 를 구분할 수 있다.

이는 평균값을 이용한 태그의 순차 추정 방법과 유사하며 태그가 읽혔다가 사라진 후 다시 읽히지 않는 태그들이 군집한 부분을 방향전환 시점이라고 추정하고 이 태그들이 속한 읽기 주기의 평균을 계산함으로써 가능하다. 먼저 각 태그별 읽기 주기를 탐색하여 하나의 그룹으로만 이루어진, 한번 읽혔다가 사라지면 다시 나타나지 않는 태그( $t_c$ )를 선별하여, 해당 태그들에 한해서만 방향전환 주기의 평균값( $\overline{C_{turn}}$ )을 다음과 같이 구한다.

$$\overline{C_{turn}} = \sum_{t=1}^T C_{avg}(t) / T_c \text{ (if } t \notin t_c \text{ then } C_{avg}(t) = 0)$$

$T$ 는 총 태그의 수  $T_c$ 는  $t_c$ 의 개수를 나타낸다. 이 방법의 경우 전체 읽기 주기에서 연속적으로 나타난

태그가 없는 경우에는 사용할 수 없는 단점이 있다.

#### 4. 성능평가

##### 4.1 실험 환경

본 논문에서는 왕복 스캔을 통한 수동형 RFID 태그의 물리적 순차를 추정하는 기법을 제안하고 그 성능을 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 표 4에서 보는 바와 같이 실험에 사용된 리더는 Alien사의 900MHz ALR-9800 리더이며 1개의 안테나와 함께 사용했다. 벽면에 최대 17개의 수동형 RFID 태그를 일정한 간격으로 부착한 뒤 일정한 속도를 유지하며 안테나를 왕복으로 이동시켜 태그를 스캔했다. 왕복 스캔을 한 결과는 그림 5과 같이 주기별로 인식된 태그 그룹의 형태로 나타내고 이를 바탕으로 수동형 RFID 태그의 물리적 순차를 추정했다. Reader의 이동속도는 가볍게 걷는 정도를 약 0.8m/s의 보통 속도라고 하고 이를 기준으로 이보다 약간 느린 걸음을 느린 속도(약 0.4m/s), 약간 빠른 걸음을 빠른 속도(약 1.2m/s)로 가정 하였다. 그리고 전파의 세기는 감쇠의 정도를 0dB(100%), 5dB(80%), 10dB(60%)로 설정하고 실험을 수행 했다.

4.2 절에 나타난 실험 결과는 리더의 인식 영역에 영향을 미칠 수 있는 요소(리더와 태그 사이의 거리, 태그 사이의 간격, 전파세기, 리더의 이동속도)들과 스캔의 횟수, 반환점 추정 방법을 변화 시켜가며 순차 추정 성능의 오류율을 측정한 실험 결과이다. 실험에서 추정 오류율의 값은 평균 10회 이상의 실험에 의한 평균값이다.

표 4. 실험환경요소

항 목	내 용
RFID Reader 종류	Alien 9800
Antenna 수	1 개
Antenna의 지향성	Circular(150°)
사용된 Tag 수	17 개
각 Tag간의 간격	15cm, 30cm, 60cm
주파수 대역	900MHz
Reader 전파감쇠	0dB, 5dB, 10dB
Reader의 이동 속도	0.4m/s, 0.8m/s, 1.2m/s
Tag와 Reader간의 거리	30cm, 60cm, 120cm

4.2 실험 평가

그림 6는 3.2절에서 제시한 반환점 추정 방법을 사용하여 추정 오류율을 측정하고 이를 실제의 반환점을 이용한 순차 추정의 오류율과 비교한 그림이다. 그림 6.(a)는 리더와 태그 사이의 거리를 30cm, 60cm, 120cm로 변화시켜가며 왕복 스캔을 통해 제시한 반환점 추정 방법에 따라 추정 오류율을 비교한 그래프이고, 6.(b)는 태그간의 간격을 60cm, 30cm, 15cm로, 6.(c)는 전파 감쇠의 정도를 100, 50, 0(0일 때 전파세기는 최대), 6.(d)는 리더의 이동속도에 변화를 주어가며 실험한 결과 그래프이다. 추정 오류율이란 실제 순차에 어긋나는 태그의 수를 총 태그 수로 나눈 값을 말하고, 그래프에서 Actual은 실제 반환점에 의한 추정 오류율을, Alg1과 Alg2는 3.2절에서 제시한 두 가지 방법을 순서대로 나타낸 것이다.

실험 결과 실제 반환점과 두 가지 추정 방법에 따른 추정 오류율이 4가지 실험에서 모두 0.05이하의 차이를 보였다. 이는 실제 순차 추정에 있어서 거의 비슷한 결과를 나타냈다는 것을 의미한다. 실제 실험 결과에서 간혹 실제 반환점과 추정된 반환점이 한 주기 정도의 오차를 보이기도 하였지만 이는 순차 추정에 큰 영향을 주지 않았다.

본 절에서의 실험은 모두 일정한 속도로 리더를 이동 시키는 경우에 한하여 진행 하였으며, 반환점은 실제 반환점을 기준으로 순차를 추정 하였다. 리더의 이동 속도를 일정하게 유지하지 않을 경우 실제 반환점과 추정한 반환점의 결과가 다르게 나타날 수 있는데 이는 Alg1의 순차 추정에 직접적으로 영향을 미치며 Alg2를 사용하여 보완될 수 있다. 스캔 횟수에 의한 추정 오류율 비교 실험은 왕복 스캔을 2회 실시하여 먼저 첫 번째 반환점 전까지의 주기별 태그 집합을 통하여 단일 추정 기법을 적용하고 왕복을 1회 했을 때, 2회 했을 때까지의 추정 오류율을 각각 산출 하였다.

그림 7(a)는 태그와 리더 사이의 거리와 태그 간의 거리를 30cm, 60cm, 120cm로 변화를 주어가며 단일 스캔과 왕복 스캔을 통하여 순차를 추정한 결과를 추정 오류율로 나타낸 것이다. 가로축은 태그와 리더와의 거리, 세로축은 추정 오류율을 나타내며 태그간의 간격을 30cm, 전파의 감쇠를 5dB로 하고 보통 속도로 리더를 이동시켰다.

리더와 태그 사이의 거리가 120cm일 때 단일, 왕복 스캔 모두 높은 추정 오류율을 나타냈고, 거리가 가까울수록 낮은 추정 오류율을 나타냈다. 이는 리더

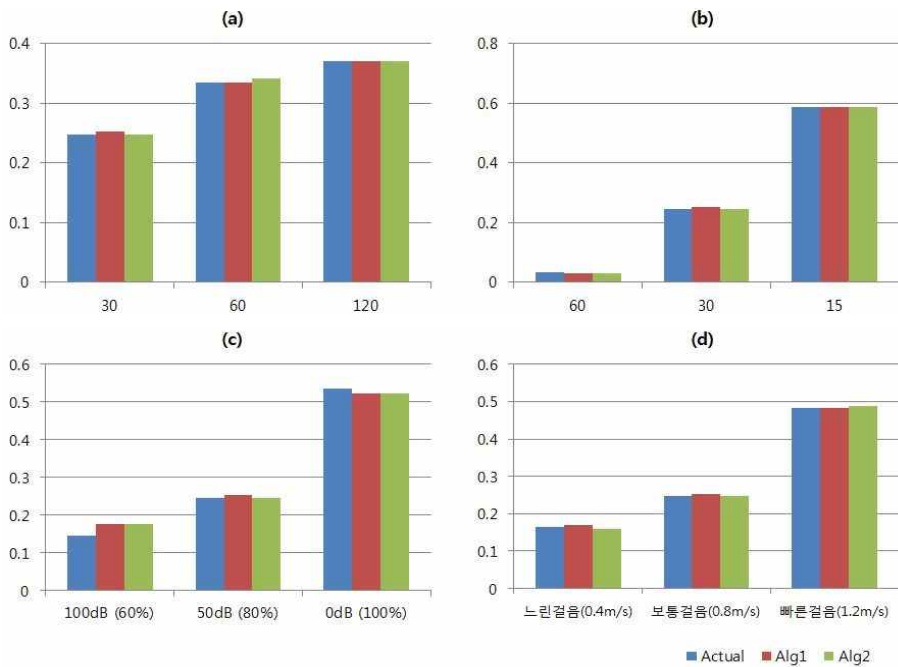


그림 6. 반환점 추정 방법에 따른 추정 오류율



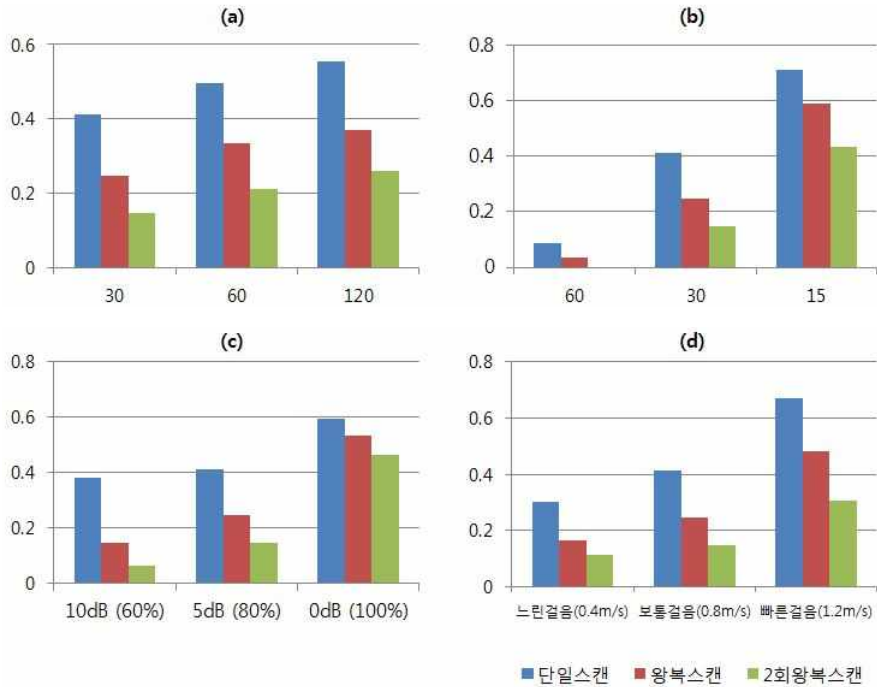


그림 7. 스캔 횟수에 따른 추정 오류율

와 태그 사이의 거리가 멀어질수록 읽기 주기 당 인식할 수 있는 태그의 수가 늘어나는데 이와 더불어 이론적인 인식범위 밖의 태그를 읽을 가능성도 같이 높아졌기 때문이다. 왕복 스캔에 의한 순차 추정인 경우 단일 스캔에 의한 순차 추정에 비해 추정 오류율 기준 1.5에서 2배에 가까운 성능을 나타냈고, 2회 왕복 스캔을 했을 경우에는 단일 스캔에 비해 2배 이상의 성능을 보였다. 단일 스캔에 의한 순차 추정의 경우에 나타날 수 있는 오류 중 일부분을 왕복 스캔을 통하여 약 2배정도의 확률로 바로잡을 수 있었다. 태그와 리더와의 거리가 30cm일 때 단일 스캔, 왕복 스캔 모두 가장 높은 정확도를 보여주었고, 단일 스캔에 비해 향상된 정확도의 비율 또한 가장 높았다.

그림 7(b)는 태그와 리더와의 거리를 30cm, 전파의 감쇠를 5dB, 리더의 이동속도를 보통 속도로 고정하고, 태그간의 거리를 60cm, 30cm, 15cm로 변화시키면서 단일 스캔과 왕복 스캔에 의한 추정 오류율을 비교하였다. 태그간의 간격이 60cm일 경우에는 0에 가까운 추정 오류율을 나타냈으며 이는 안테나의 인식 범위에서 적은 수의 태그만 인식 가능하고 태그간의 간격이 충분하여 태그가 우연히 읽히는 확률이

낮아졌기 때문이다. 반면에 태그 간 간격이 15cm일 때에는 태그 간의 간격이 좁아 안테나가 읽을 수 있는 태그의 개수가 많아지고 안테나의 인식범위 밖이라고 생각되는 태그들이 읽히는 경우가 많아져 추정 오류율이 높게 나타났다. 또한 왕복에 의한 추정 오류율의 개선 정도가 60cm, 30cm에 비해 높지 않은 것을 볼 수 있다.

그림 7(c)는 리더와 태그간의 거리를 30cm, 태그간의 간격을 30cm 리더의 이동 속도를 보통으로 했을 때, RF의 감쇠를 10dB, 5dB, 0dB로 설정하여 단일 스캔과 왕복 스캔의 추정 오류율을 나타내었다. 신호 감쇠 없이 0dB 일 때 가장 높은 추정 오류율을 나타냈고, 신호 감쇠를 10dB로 했을 때 가장 좋은 추정 오류율을 보여주었다. 앞의 실험들과 마찬가지로 신호 감쇠가 없을 때, 곧 전파 세기가 가장 높을 때 리더의 인식 범위가 늘어나면서 태그가 우연히 읽히는 경우가 자주 발생하고 읽기 주기 당 읽히는 태그의 수가 늘어나면서 인식 범위내의 태그를 읽지 못하는 경우도 자주 발생한다. 신호의 감쇠가 0dB일 때, 곧 신호세기가 가장 강한 경우에는 왕복 스캔에 의한 순차 추정율의 감소가 크지 않은 것을 볼 수 있다.

그림 7(d)의 경우는 리더와 태그간의 거리를 30

cm, 태그간의 간격을 30cm, RF의 감쇠를 5dB로 했을 때, 리더의 이동속도를 느린 걸음, 보통 걸음, 빠른 걸음으로 단일 스캔과 왕복 스캔에 의한 추정 오류율을 측정했다. 이동 속도가 빠른 경우 이동 속도가 느린 경우보다 적은 수의 읽기 주기를 가지고 이는 순차 추정의 데이터의 양이 적어지는 결과를 초래하여 추정 오류율이 높아지게 된다. 대체적으로 이동속도가 느린 경우 좋은 결과를 나타냈으나 왕복 스캔을 2회 반복 했을 경우 느린 걸음의 추정 오류율이 보통 걸음의 추정 오류율과 유사한 결과를 나타냈다.

#### 4. 결 론

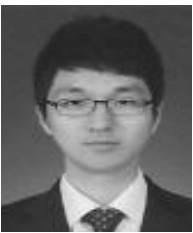
본 논문에서는 RFID 태그의 물리적 순차 추정 기법의 향상을 위해 왕복 스캔을 통한 수동형 RFID 태그의 물리적 순차를 추정하는 기법을 제시하였다. 그리고 제시한 반환점 추정 방법을 사용하여 방향전환 시점을 추정하고, 리더의 인식 영역에 영향을 미칠 수 있는 요소에 변화를 주어가며 왕복 스캔을 통한 RFID 태그의 순차를 추정하여 이를 바탕으로 추정 오류율을 측정하는 실험을 진행하였다. 단일 스캔에 의한 단순 평균 기법을 이용한 순차 추정의 경우 주변의 환경이나 RF 특성에 민감하게 반응하여 순차 추정에 어려움이 있었다. 왕복 스캔을 통한 순차 추정의 경우 태그 스캔의 횟수를 증가시킴으로써 예외 상황에 대한 추정 오류율을 줄이고 순차 추정의 신뢰성을 향상시켰다.

스캔의 횟수를 증가시키는 방법은 단일 스캔을 통한 순차 추정의 방법보다 나은 결과를 낸다고 할 수 있지만 평균값으로 순차를 추정한다는 점에서는 유사한 방법이라고 할 수 있다. 수동형 RFID 태그의 물리적 순차 추정기법의 향상을 위해서는 순차 추정에 관한 연구가 다양한 방법으로 이루어져야 할 것으로 본다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김태용, 권오흠, 송하주, "수동형 RFID 태그의 물리적 순차 추정기법," 데이터베이스연구, ISSN 1598-9798, 제27권, 제3호, pp. 101-113, 2011.
- [2] 테이코산업연구소, RFID/USN/ WSN 기술 시장현황과 개발전략, Business Information Research, 서울, 2011.
- [3] L.M. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, and A.P. Patil, "LANDMARC: Indoor Location Sensing using Active RFID," *1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp. 407-415, 2003.
- [4] Garmin Corporation. About GPS. Website, <http://www.garmin.com/aboutGPS/>, 2001.
- [5] R. Want, "An Introduction to RFID Technology", *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 5, Issue 1, pp. 25-33, 2006
- [6] 이홍주, 황건용, 이용주, "칩 특성을 고려한 UHF RFID 태그 설계," 멀티미디어학회논문지, 제14권, 제2호, pp. 194-200, 2011.
- [7] Yanying Gu and Anthony Lo, Ignas Niemegeers, "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 11, No. 1, pp. 13-32, 2009.
- [8] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, *A Survey and Taxonomy of Location Sensing Systems for Ubiquitous Computing*, CSE 01-08-03, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, 2001.
- [9] T. Shiraishi, N. Komuro, H. Ueda, H. Kasai and T. Tsuboi, "Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID," *IEEE International Conference Robotics and Biomimetics*, pp. 18856-1861, 2009.
- [10] S. Han, H. Lim, and J. Lee, "An Efficient Localization Scheme for a Differential-Driving Mobile Robot Based on RFID System," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 54, No. 6, pp. 3362-3369, 2007.
- [11] Ren C. Luol, Chi-Tao Chuang, Sung-Sheng Huang, "RFID-based Indoor Antenna Localization System using Passive Tag and Variable RF-Attenuation," *The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, pp. 2254-2259, 2007.

- [12] Y. Zhang, M. Amin, and S. Kaushik, "Localization and Tracking of Passive RFID Tags Based on Direction Estimation," *International Journal of Antennas and Propagation*, Article ID 17426, 9 pages, 2007. doi:10.1155/2007/17426
- [13] Rung-Ching Chen and Sheng-Ling Huang, "A New Method for Indoor Location Base on Radio Frequency Identification," *Wseas Transactions on Communications*, Vol. 8, Issue 7, pp. 618-627, 2009.



**이 주 호**

2008년 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 졸업(공학사)  
 2012년 부경대학교 대학원 IT융합응용공학과 졸업(공학석사)

관심분야: 데이터베이스, RFID 미들웨어



**권 오 흠**

1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)  
 1991년 KAIST 전산학과 (공학석사)  
 1996년 KAIST 전산학과 (공학박사)

현재 부경대학교 IT융합응용학과 교수  
 관심분야: 알고리즘 설계 및 분석, 분산 컴퓨팅, 유비쿼터스 센서 네트워크 등



**송 하 주**

1993년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)  
 1995년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학 석사)  
 2001년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학 박사)  
 2003년 (주)아이티포웹 부장

현재 부경대학교 IT융합응용학과 부교수  
 관심분야: 데이터베이스, 유비쿼터스 센서 네트워크