

공 학 석 사 학 위 논 문

수동형 RFID태그의 물리적 순차 추정기법



부 경 대 학 교 대 학 원

I T 융 합 응 용 공 학 과

김 태 용

공 학 석 사 학 위 논 문

수동형 RFID태그의 물리적 순차 추정기법

지도교수 송 하 주

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

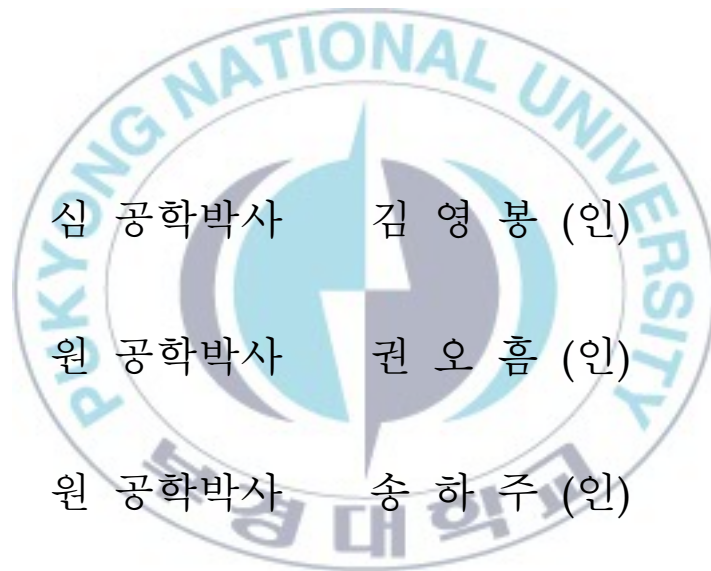
I T 융 합 응 용 공 학 과

김 태 용

김태용의 공학석사 학위논문을
인준함.

2011년 2월 23일

주심 공학박사 김 영 봉 (인)
위원 공학박사 권 오 흠 (인)
위원 공학박사 송 하 주 (인)



목 차

1. 서론	1
1.1. 연구의 필요성	1
1.2. 연구의 목적 및 방법	4
1.3. 논문의 구성	4
2. 관련연구	5
2.1. RFID	5
2.2. Localization	6
2.3. 수동형 태그를 이용한 Localization 기법	8
2.3.1. 리더의 위치추정방식	8
2.3.2. 태그의 위치추정방식	14
3. 제안기법	18
3.1. 물리적 태그 순차추정 정책	18
3.2. Simple Average 기법	20
3.3. Normalized Average 기법	23
4. 실험환경 및 평가	26
4.1. 실험환경	26
4.2. 실험평가	27
5. 결론	33

그 립 목 차

그림 1. 모바일 리더를 통한 일반적인 태그인식과정	2
그림 2. 모바일 리더를 통한 태그순차 추정과정	2
그림 3. TDOA 알고리즘	7
그림 4. 리더의 위치를 추정하는 방식 1	9
그림 5. 클러스터링 방식	9
그림 6. T 시점의 클러스터 와 $T+\Delta t$ 시점의 클러스터	10
그림 7. 시간-평균 클러스터링 방식	11
그림 8. 리더의 위치를 추정하는 방식 2	11
그림 9. RFID 센서공간에서의 추정오차	12
그림 10. 리더의 위치를 추정하는 방식 3	13
그림 11. 안테나의 각도 및 세기조절을 통한 위치추정 맵	13
그림 12. 두 안테나 배열구조의 태그 이동추적 과정	14
그림 13. 비스듬한 배열구조의 태그이동 추적과정	15
그림 14. 리더의 신호세기에 따른 레퍼런스 태그의 배열	16
그림 15. 리더의 전파세기에 따른 거리레벨	16
그림 16. Read Cycle당 읽힌 태그리스트	18
그림 17. 우연히 인식된 태그의 예	21
그림 18. 실험 1	28
그림 19. 실험 2	28
그림 20. 실험 3	29
그림 21. 실험 4	29
그림 22. 실험 3의 Normalized Average의 적용 시 문제점	31

표 목 차

< 표 1 > Simple Average 기법	20
< 표 2 > Simple Average 적용 예1	21
< 표 3 > Simple Average 적용 예2	22
< 표 4 > Normalized Average 기법	24
< 표 5 > Normalized Average 적용 예	25
< 표 6 > 실험환경요소	26
< 표 7 > 추정 오류율 정의	27



수동형 RFID 태그의 물리적 순차 추정기법

김 태 용

부경대학교 대학원 IT융합응용공학과

요 약

RFID의 응용분야는 사물에 대한 단순식별에서 위치인식에 이르기 까지 다양한 그 응용 분야가 확대되고 있다. RFID를 이용한 위치인식과 관련한 기존 연구는 주로 1차원 또는 2차원에서 태그의 물리적인 위치를 추정하는 기법이 주를 이루고 있는 반면, 태그의 물리적인 순차에 대한 연구는 부족한 상황이다. 이를 위해 본 논문에서는 리더의 움직임을 통해 수동형 태그들의 순차를 추정하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 물품의 배치 순서를 자동으로 검증하거나, 배치 순서와 동일하게 물품 정보를 화면에 표현하는 것과 같은 사물의 물리적인 순차와 관련한 다양한 RFID 응용에 적용 가능하다.

A Physical Sequence Estimation Scheme for Passive RFID Tags

Tae-Yong Kim

*Department of IT Convergence and Application Engineering,
The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The applications of RFID technology are expanding from identification of the tagged objects to localization of real world objects. While previous RFID localization techniques mainly deal with estimating locations of tags in 1 or 2 dimensions, they do not discuss about estimating sequence among them. For this purpose, we propose an estimation scheme that utilizes the movement of a RFID reader to find out physical sequence of passive tags. Proposed scheme can be applied to various RFID applications that utilize physical sequence of tagged objects such as automatic verification of objects order and displaying detailed information about objects on a screen according to their physical order.

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

최근 RFID 태그를 활용한 많은 연구가 진행됨에 따라 RFID 태그는 단순 식별(Identifying)위주의 용도에서 객체의 위치추정(Localization) 및 센싱(Sensing) 정보 활용에 이르기까지 다양한 분야로 그 영향력을 점차 넓혀가고 있다.

특히, 객체의 위치추적에 사용되는 기술로는 RFID 기술뿐만 아니라 센서(Sensor), GPS(Global Positioning System), Wi-Fi, Bluetooth 등이 있으며, 이와 같은 다양한 기술을 접목하여 실내 및 실외의 객체에 대한 이동경로 및 위치추적을 함으로써, 실제 객체의 위치정보에 따른 의미 있는 정보를 얻어낼 수 있게 되었다. [1]

이러한 기술들은 다음과 같은 장단점을 가지고 있다. GPS의 경우, 실외에서는 위도와 경도를 나타내는 좌표 값을 통해 실외 위치추적은 효율적이나 실내에서의 세부적인 위치추정이 불가능한 단점이 있다. Wi-Fi 나 Bluetooth 의 경우, 실내 위치추적을 위해 기존의 무선 네트워크(Wireless Network)를 사용할 수 있지만 구축비용이 많이 드는 단점이 있다. 또한 능동형 태그(Active Tag) 경우, RTLS(Real Time Location Systems)기술을 통해 위치추적이 가능하지만 완벽히 제어되지 않은 환경에서는 실내외벽, 칸막이 등과 같은 장애물로 인해 신호의 세기가 감쇄되기 때문에 정확한 위치정보를 판단하기 어렵다는 단점이 있다.[2]

반면 수동형 태그(Passive Tag)의 경우, 실내 및 실외의 객체 위치를 추적하는데 비용이 적게 들고, 설치하기 쉽다는 이점을 가지고 있어, 많은 연구가 진행되어왔다.

하지만 대부분의 선행된 연구가 이러한 수동형 태그의 이동 또는 리더의 이동

에 대해서만 초점을 맞춰 진행하였기 때문에 실제 고정된 형태의 물리적 태그에 대한 순차를 추정하는 연구에 대해서는 세계적으로 전무한 실정이다.

한편 휴대전화에 범용가입자식별모듈(USIM)칩만 꽂으면 휴대전화를 모바일 RFID리더로 사용할 수 있는 기술이 개발되어[3], 수동형 태그를 부착한 객체를 보다 쉽고 편리하게 인식할 수 있어 RFID를 활용한 다양한 신기술들이 파생될 것으로 예상된다. 또한 기존 휴대폰에 모바일 리더(13.56MHz, 900MHz)를 장착할 수 있는 모델들도 일제히 출시되고 있으며, 이러한 휴대성이 용이한 모바일 리더를 사용하여 다양한 산업현장 및 실생활에 응용이 가능하다. 그러나 실제 터미널 및 창고 등에서 RFID 리더가 장착된 지게차 및 로봇을 이용하여, 1차원으로 배치된 사물(수동형 태그가 부착된)을 방향성을 가지고 인식할 경우, 배열된 사물들은 산발적으로 읽혀지고, 무작위로 정렬되지 않은 상태로 해당 리스트가 장치화면에 출력 된다.



그림 1. 모바일 리더를 통한 일반적인 태그 인식과정

또한 상점, 음식점, 의류점등과 같은 곳, 특히 그림 1과 같이 도서관에서 모바

일 리더를 이용하여 책장에 비치된 책을 인식할 경우, 사용자가 리더로 읽은 순서대로 화면에 출력되는 것이 아닌 현재 인식된 태그가 무엇인지에 대해서만 알 수 있다.

즉, 위의 두 예시와 같이 모바일 및 RFID 리더를 통해 일정한 방향성을 가지고, 또는 가만히 정지된 상태로 둔 다음 태그들은 안테나의 인식범위 내에서 산발적으로 읽혀지므로 인해 태그가 부착된 물리적 사물의 순번 및 위치를 추정하기에는 한계가 있다.



그림 2. 모바일 리더를 통한 태그순차 추정과정

결국 이러한 태그를 모니터링하기 위한 유저인터페이스(GUI) 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 것으로 분석되므로 그림 2과 같이 물리적 태그의 순차를 추정하기 위한 기법이 필요하다.

1.2. 연구의 목적 및 방법

본 연구의 목적은 RFID 리더를 통해 일정한 방향성을 가지고, 수동형 태그가 부착된 사물을 인식하였을 때, 실제 배열되어 있는 물리적 태그의 순차를 추정하는 기법을 고안해 내는 것이다. 이를 위한 방법으로 태그의 간격 및 크기, 그리고 태그와 안테나, 모바일 리더와의 거리를 일정하게 유지하도록 하여 실험하였으며, 안테나의 지향성 범위, 전파세기 및 읽기 주기(*Read Cycle*)횟수 등을 조절해가며, 최적의 실험 데이터를 도출한 후 제안한 기법을 적용하여 물리적 태그의 순차를 추정한다.

1.3. 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 수동형 태그를 사용한 Localization 기법 중 태그 및 리더를 이용한 위치추적 및 위치추정을 하기위한 방식들에 대해 간단히 소개하고, 제 3장에서 본 논문에서 제안하는 물리적 태그의 순차추정 기법을 제시한다. 제 4장에서 실제 물리적 태그의 순차를 추정하기 위해 사용된 실험 데이터와 이를 분석한 결과를 도식화하였고, 마지막으로 제 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1. RFID

RFID(Radio-Frequency IDentification) 기술이란, 전파를 이용해 먼 거리에서 정보를 인식하는 기술을 말한다. 여기에는 태그와 리더가 필요하다. 태그는 안테나와 집적 회로로 이루어지는데, 집적 회로 안에 정보를 기록하고 안테나를 통해 판독기에게 정보를 송신한다. 이 정보는 태그가 부착된 대상을 식별하는데 이용된다. 쉽게 말해, 바코드와 비슷한 기능을 하는 것이다. RFID가 바코드 시스템과 다른 점은 빛을 이용해 판독하는 대신 전파를 이용한다는 것이다. 따라서 바코드 리더처럼 짧은 거리에서만 작동하지 않고 먼 거리에서도 태그를 읽을 수 있으며, 심지어 사이에 있는 물체를 통과해서 정보를 수신할 수도 있다.

RFID를 통신에 사용하는 전파의 주파수로 구분하기도 한다. 낮은 주파수를 이용하는 RFID를 LFID(Low-Frequency IDentification)이라 하는데, 120~140KHz의 전파를 쓴다. HFID(High-Frequency IDentification)는 13.56MHz를 사용하며, 그보다 한층 높은 주파수를 이용하는 장비인 UHFID(Ultra High-Frequency IDentification)는 868~956MHz 대역의 전파를 이용한다. 마지막으로 가장 높은 주파수 대역인 Microwave는 2.45GHz 대역을 사용한다.[4]

또한 RFID는 사용하는 동력으로 분류할 수 있다. 오직 판독기의 동력만으로 칩의 정보를 읽고 통신하는 태그를 수동형(Passive)태그라 한다. 반수동형(Semi-passive)태그란 태그에 건전지가 내장되어 있어 칩의 정보를 읽는 데는 그 동력을 사용하고, 통신에는 판독기의 동력을 사용하는 것을 말한다. 마지막으로 능동형(Active)태그는 칩의 정보를 읽고 그 정보를 통신하는 데 모두 태그

의 동력을 사용한다.

특히 수동형 태그의 경우는 주로 객체의 인식을 사용하는데 사용하고, 능동형 태그의 경우 객체 인식뿐만 아니라, 센싱 값이나 객체의 위치 등 부가적인 정보를 취득하고자 할 때 많이 쓰인다.

2.2. Localization

위치추적 및 위치추정(측정)이라고 정의되는 Localization은 다양한 센싱 (Sensing)장비를 이용하여 사용자가 원하는 사물의 위치 및 이동경로를 추적하는 기술이다.

대표적인 예로써 RTLS(Real-Time Locating System) 기술이 있으며, LBS(Location-Based Service) 기술과 유사하나 LBS의 경우는 이동통신망 기반의 위치기반 서비스로써 주로 CDMA(Code Division Multiple Access)나 GSM(Global System for Mobile Communications)과 같은 이동통신기술을 이용하지만, RTLS의 경우는 근거리 및 실내와 같은 제한된 공간에서 위치확인 및 위치추적을 하는데 Wi-Fi(IEEE 802.11b), Zigbee(IEEE 802.15.4), UWB(Ultra-Wide Band), Bluetooth, RFID 등과 같은 근거리 통신 기술을 이용한다.

RTLS 기술에서 사용되는 주요 기법들로는 다음과 같은 방법이 있다.

- Angle of Arrival (AoA)
- Line-of-sight (LoS)
- Time of Arrival (ToA)
- Time Difference of Arrival (TDoA)
- Received Channel Power Indicator (RCPI)

- Received Signal Strength Indication (RSSI)
- Time of Flight (ToF)
- Symmetrical Double Sided - Two Way Ranging (SDS-TWR)
- Near-Field Electromagnetic Ranging (NFER)

하지만 이중에서 크게 RSSI 와 TDOA 기술을 기반으로 구현이 된다.

RSSI는 수신된 무선이동장치 혹은 태그의 신호 세기를 측정해 이용하는 것으로, 태그와 AP 사이에서의 신호의 파워손실 혹은 경로손실(path loss)을 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방식이다. 보통 Zigbee 및 Wi-Fi 시스템이 다음의 알고리즘을 이용한다. 구현방식이 단순하여 많이 사용되지만 정확한 위치를 얻기는 힘들다.

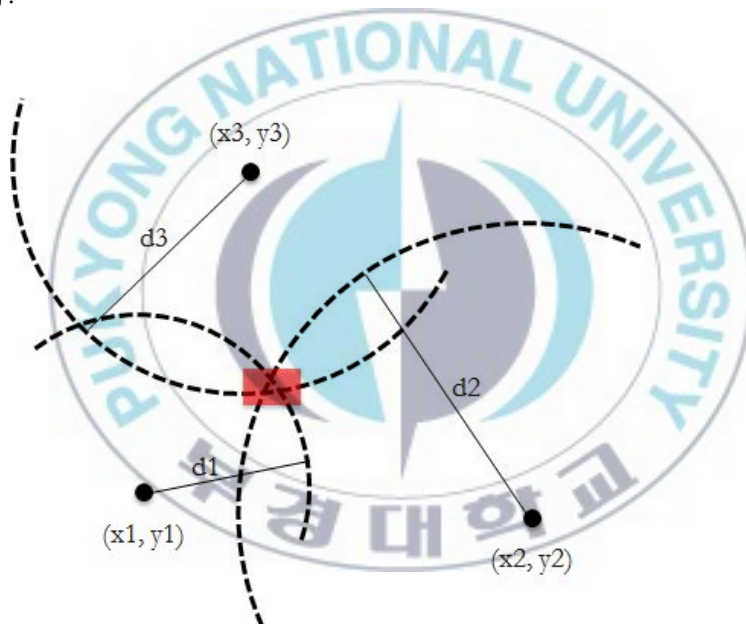


그림 3. TDOA 알고리즘

TDOA를 이용한 거리 측정 방식은 그림 1과 같이 태그와 AP 사이에서 신호가 전달되는데 걸리는 시간차를 측정하여 이를 거리로 변환해 위치 추정에 이

용하는 것이다. AP와 태그 사이의 시간 차이가 일정한 지점들을 이용해 태그의 위치를 계산하게 된다. 즉, RF와 초음파같이 속도가 다른 두 신호를 사용해 거리를 측정하는 방식이다. 가장 범용적인 방식이며 UWB 및 Wi-Fi 기반의 시스템에서 주로 사용이 된다. 핸드폰의 위치 확인 방식과 동일하며, UWB 기반의 시스템은 30cm 수준까지 정확한 위치를 얻을 수 있다.

2.3. 수동형 태그를 이용한 Localization 기법

수동형 태그를 이용한 대표적인 위치추적 방법으로 RFID 리더를 사람 또는 이동로봇, 지게차 등과 같은 이동 물체에 부착하여 안테나의 최대인식 범위 내에서 고정된 위치의 태그를 인식함으로써 이동체의 궤적 및 위치를 추정하는 기법이 있다. 위와 같은 기법을 제시한 선행연구의 접근방법을 2차원에서 추정하고자 하는 대상에 따라 크게 2가지로 나눈다.

2.3.1. 리더의 위치추정방식

2차원에서 리더의 위치를 추정하는 방식의 첫 번째 예로, 'Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID'를 들 수 있다.[5]

그림 4과 같이 건물내부의 천장에 태그를 부착하고, 태그간의 간격을 일정하게 배치한 후, 사람이 리더를 소지한 채 이동하면 리더는 태그를 주기적으로 인식한다. 이를 통해 얻어진 데이터를 분석하여 위치추정을 하는데, 리더의 읽기 수행(Read Operation)의 횟수에 따라 클러스터링 방식(Clustering method)과 시간-평균 클러스터링 방식(Time-average Clustering method)으로 나뉜다.

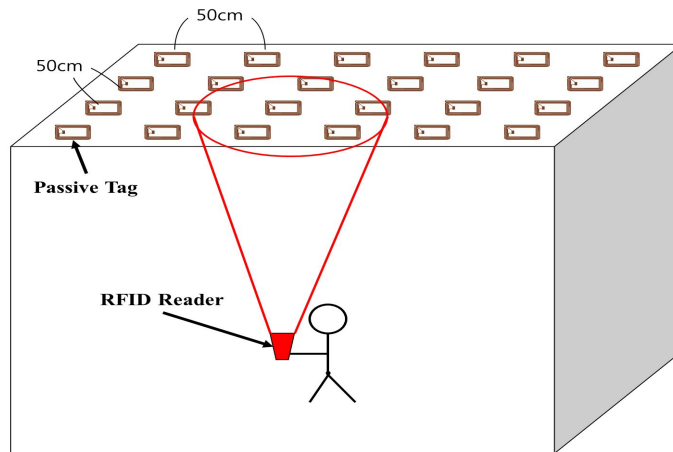


그림 4. 리더의 위치를 추정하는 방식1

클러스터링 방식이란, 그림 5과 같이 격자 식으로 배열되어 있는 수동형 태그가 리더에 의해 읽혀지면, 응집도가 높은 태그들을 하나의 집합으로 묶어 그 단위를 클러스터라고 지칭한다. 그다음 응집되지 못한 태그, 즉 동떨어진 태그들은 제거를 한 후 클러스터의 중심점과 또 다른 클러스터의 중심점을 연결한다. 연결한 선분의 중심을 이동 물체의 실제 위치라고 추정하고 있다.

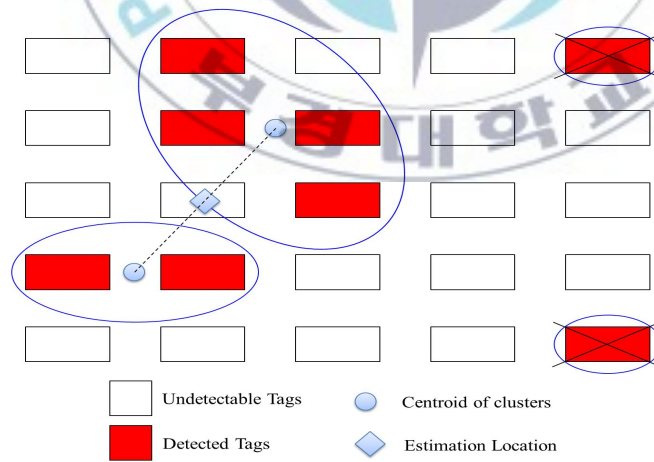


그림 5 클러스터링 방식

시간-평균 클러스터링 방식은 그림 6와 같이 클러스터링 방식을 시간의 흐름에 따라 수집을 하여, 각 시간별로 수집된 클러스터를 서로 겹치게 하였을 때, 그림 7과 같이 중복되는 태그들을 도출하고, 도출된 태그들의 중점을 이동 물체의 실제 위치라고 추정하고 있다.

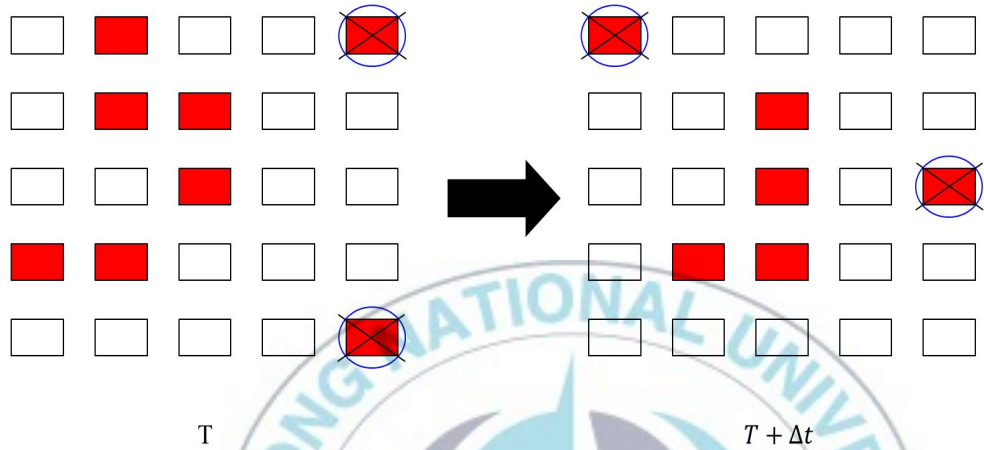


그림 6. T 시점의 클러스터 와 T+ Δt 시점의 클러스터

하지만 언급한 2가지 방식은 태그를 격자 식으로 배열하여 단순히 리더의 위치와 인식된 태그의 위치를 조합하여 추정할 뿐, 정밀하고 세밀한 정확도를 추정할 수 없다.

또한 추정된 위치가 실제 위치와 벗어난 거리, 즉 추정오류가 발생한 거리는 최소 40cm ~ 110cm이며, 인식된 태그가 적을수록 그 폭은 매우 가변적이었다.

두 번째 예로, ‘An Efficient Localization Scheme for a Differential-Driving Mobile Robot Based on RFID System’은 로봇의 위치를 추정하기 위해 그림 8에서와 같이 로봇이 이동할 경로의 바닥면에 일정한 형태로 태그를 배치하여 각각의 태그에 절대좌표를 부여한다.

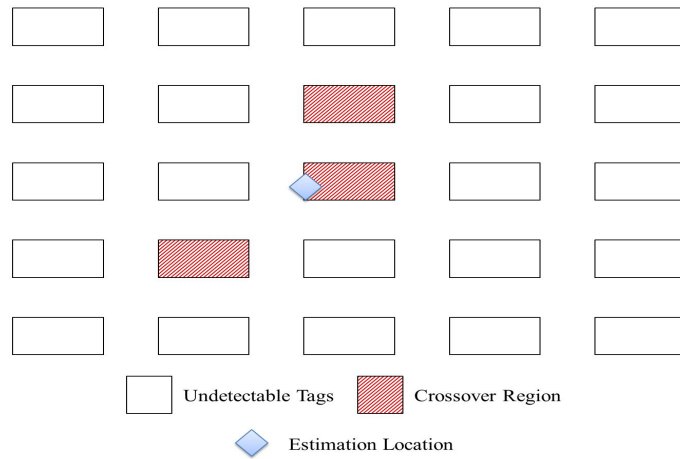


그림 7. 시간-평균 클러스터링 방식

그런 다음 로봇의 하단부에 리더를 장착하고, 로봇이 공간을 이동하게 되어 임의의 태그위에 위치하면, 리더의 안테나에 의해 주파수가 미치는 범위가 형성된다.[6]

이 범위를 통해 로봇의 위치정보를 추정하고, 이 위치정보를 통해 로봇의 방향각과 상태를 도출해낼 수 있다.

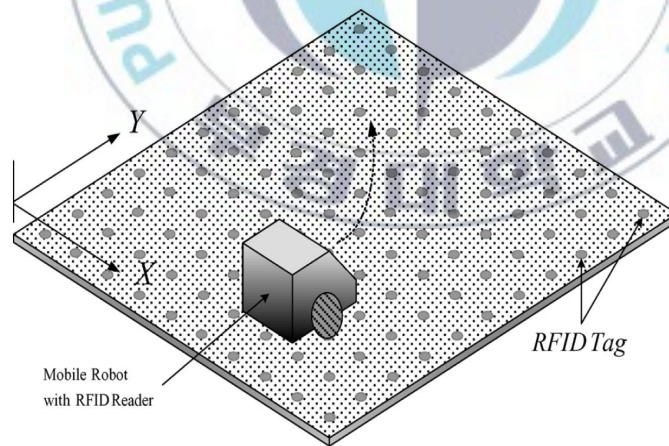


그림 8. 리더의 위치를 추정하는 방식 2

그림 9와 같이 (a)에서 (b)로 이동하게 되면 인식범위의 차가 생기게 된다. 이 안테나의 인식범위 차를 이용하여 리더의 위치를 추정하는 것이다.

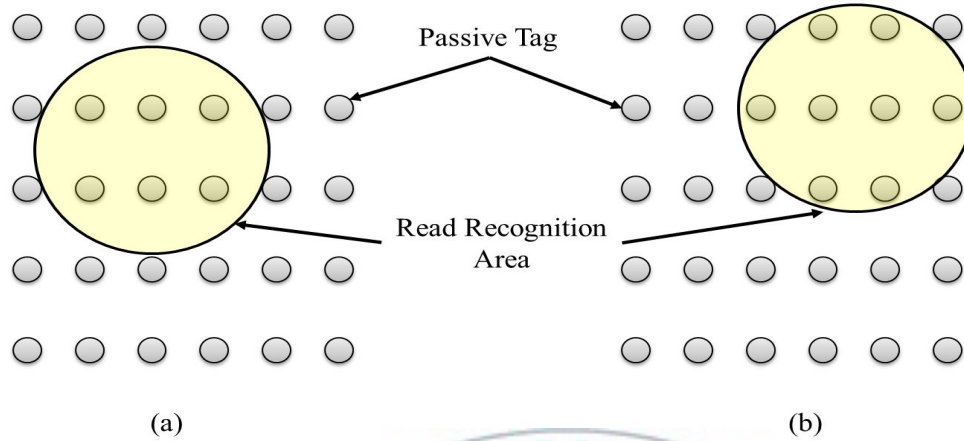


그림 9. RFID 센서공간에서의 추정오차

세 번째 예로, 'RFID-based Indoor Antenna Localization System using Passive Tag and Variable RF-Attenuation'은 그림 10과 같이 건물 외벽에 태그를 부착하고, 이동 가능한 로봇에 리더를 부착하여 어느 한 시점에 리더의 위치를 추정한다.[7]

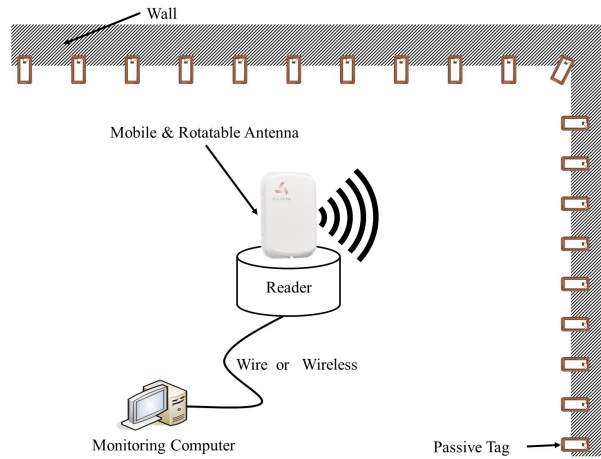


그림 10. 리더의 위치를 추정하는 방식 3

그림 11과 같이 안테나와 레퍼런스 태그들 사이에 이루는 각도와 전파의 세기를 이용하여 리더의 위치를 추정하고 있다.

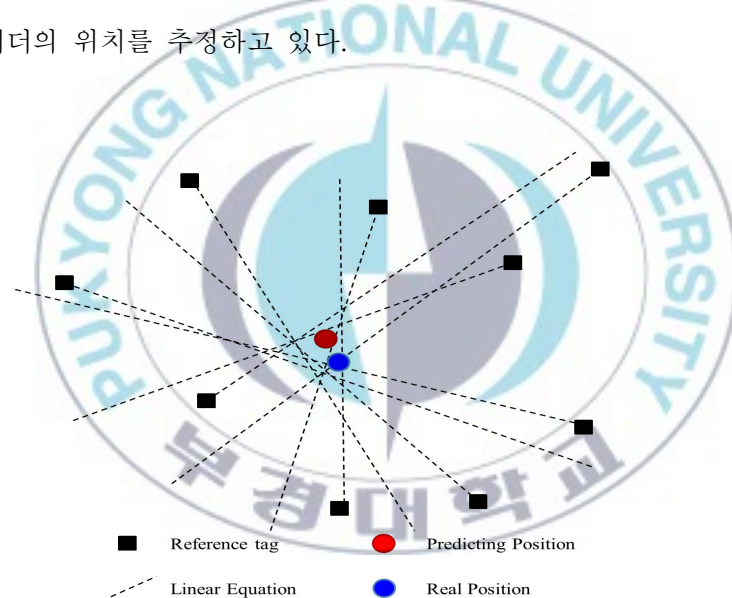


그림 11. 안테나의 각도 및 세기조절을 통한 위치추정 맵

2.3.2. 태그의 위치추정방식

앞서 언급한 리더의 위치추정과는 반대로 1차원의 환경에서 태그의 위치를 추정하는 방식이 있다.

대표적인 예로 'Localization and Tracking of Passive RFID Tags Based on Direction Estimation'의 경우, 크게 두 안테나의 배열구조(Two-antenna array structure)기법과 비스듬한 배열구조(Oblique array structure)를 사용한다. [8]

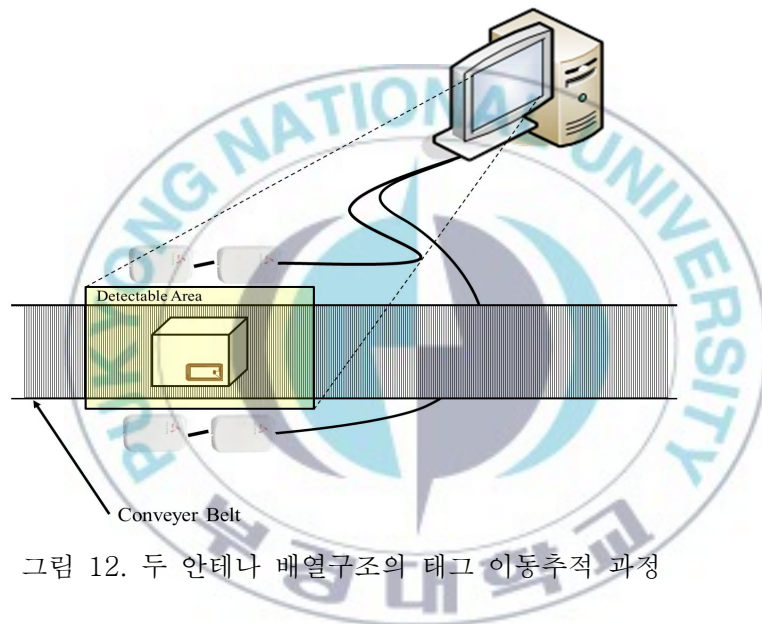


그림 12. 두 안테나 배열구조의 태그 이동추적 과정

배열구조 기법은 그림 12와 같이 리더의 두 안테나를 컨베이어 벨트의 한쪽 편에 2대씩 모두 설치하고, 컨베이어 벨트에 일정한 간격의 태그를 배열하여, 벨트가 한쪽방향으로 이동하면서 DOA를 기반으로 하여 태그의 이동을 추적한다.

다음으로 비스듬한 배열구조 기법은 앞서 언급한 배열구조기법과 다르게 배치

되는데 그 차이점은 컨베이어 양쪽에 안테나를 설치하되 컨베이어 벨트의 이동 방향을 향해 임의의 각 θ 만큼 비스듬히 설치한다. 이를 통해 이동 중인 태그에 대해 삼각측량 기술 중 DOA를 이용해 태그의 위치를 추정한다.

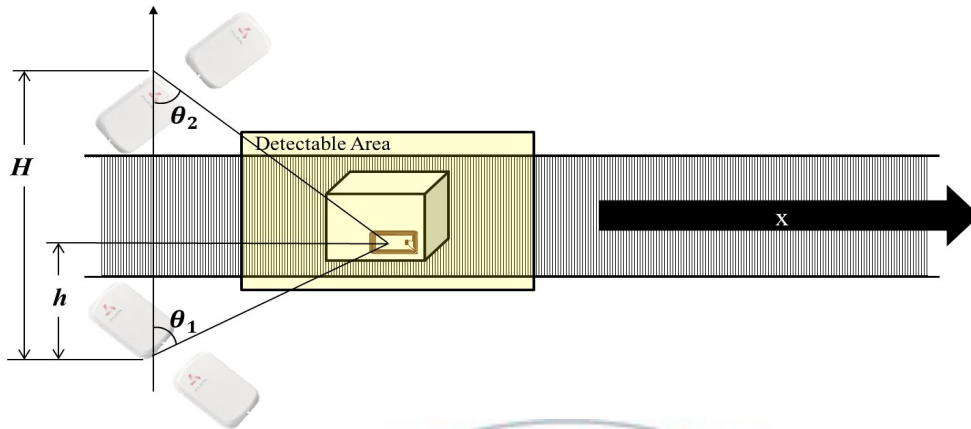


그림 13 . 비스듬한 배열구조의 태그이동 추적과정

하지만 이 2가지 구조는 단순 태그식별에 의해 상위 비즈니스 응용에서 태그가 지나갔다는 정보를 도출하는데 그친다. 즉, 태그가 컨베이어 벨트의 어느 지점에 있다는 정보에만 관심을 두고 있다.

또 다른 예로 2차원에서의 태그의 위치를 찾는 방식이 있다.

대표적인 예로 ‘A New Method for Indoor Location Base on Radio Frequency Identification’을 들 수 있다. 그림 14과 같이 건물내부의 각 모서리마다 리더를 설치한 후, 수동형 태그의 위치를 추정하고 있다. [9]

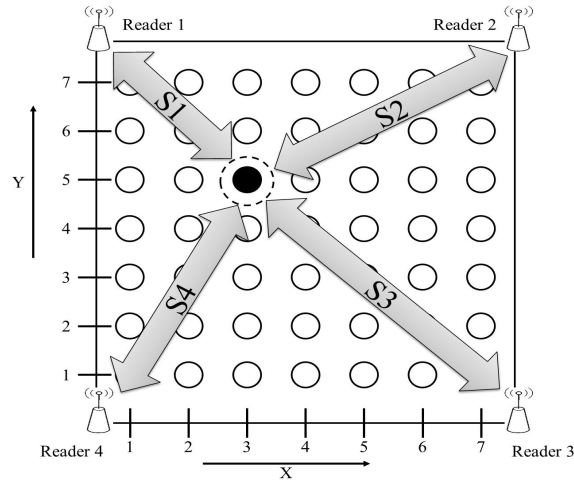


그림 14 . 리더의 신호세기에 따른 레퍼런스 태그의 배열

특히 기존에는 능동형 태그를 주로 사용한 반면 여기에서 제시하는 기법은 그림 15와 같이 리더의 전파세기를 이용하여 레벨구역을 정하고, 이곳에 레퍼런스용 수동형 태그를 사용하여 일정한 간격으로 배치하여 실제 원하는 태그의 위치를 추정하는 방식이다.

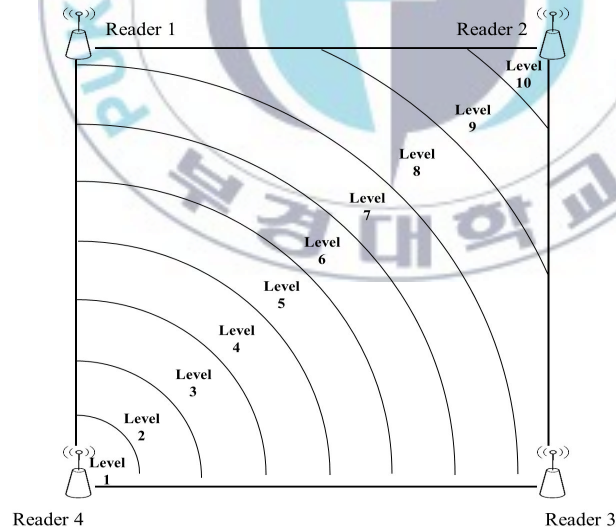


그림 15. 리더의 전파세기에 따른 거리레벨

지금까지 언급한 수동형 태그와 리더를 이용한 모든 Localization 기법들은 모두 이동 물체의 궤적 및 위치에만 관심을 가지고 있다. 하지만 실제 리더에 의해 읽힌 태그의 순서를 파악할 수 있는 기법 및 기술은 전 세계적으로 전무하였고, 이를 파악할 수 있다는 것은 상당한 의미를 가진다.



3. 제안기법

3.1. 물리적 태그 순차추정 정책

물리적 태그들의 순차를 추정하기 위해서는 가장 기본적인 개념으로 리더(안테나)의 이동에 따른 주파수 인식범위의 차이를 이용하는 것이다.

그림 2와 같이 모바일 리더를 이용하여 벽면에 부착된 태그들을 스캔(Scan)하기 시작하면, 그림 16와 같이 읽기주기(*Read Cycle*)당 인식된 태그들이 시간이 지남에 따라(읽기주기가 증가함에 따라) 리더의 인식범위에 의해 먼저 인식되고, 먼저 사라지는 현상을 알 수 있다.

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

그림 16. *Read Cycle*당 읽힌 태그리스트

예를 들어, T1은 *Read Cycle 1*에서 읽힌 뒤 계속 읽히다가 *Read Cycle 4*이후부터 인식되지 않는 것을 알 수 있다. 즉, *Read Cycle 4* 이후부터 T1이 더 이상

안테나의 인식범위 내에서 읽히지 않는다는 의미를 도출할 수 있다. 이와 같이 간단한 원리를 모든 태그에 적용한다면 어느 정도 태그의 순차를 가늠할 수 있을 것이다. 하지만 태그들이 우선순위에 있다고 명확하게 판단할 근거가 필요하다. 어떠한 사실 여부를 통해 ‘한 태그가 다른 태그보다 순서상으로 우선순위에 있다’라는 사실은 기본적으로 3가지를 기준으로 정할 수 있다.

첫째, 한 태그가 다른 태그에 비해 처음으로 읽힌 *Read Cycle*이 빠를 경우이다. 예를 들어, T3는 T4에 비해 먼저 *Read Cycle* 1에서 인식되었으므로 T4의 *Read Cycle* 2보다 순서상으로 우위에 있다고 할 수 있다.

둘째, 한 태그가 다른 태그에 비해 마지막으로 읽힌 *Read Cycle*이 빠를 경우이다. 예를 들어, T1과 T2는 동시에 읽혔지만 T1의 마지막으로 읽힌 시간은 *Read Cycle* 3이고, T2는 *Read Cycle* 4이다. 즉, T1이 T2에 비해 먼저 안테나의 인식범위를 지나쳐 갔다는 것이며, 순서상 우위에 있다는 것을 알 수 있다.

셋째, 한 태그가 다른 태그에 비해 처음으로 사라진 *Read Cycle*이 빠를 경우이다. 예를 들어, T16은 T17과 같이 처음으로 읽힌 *Read Cycle*과 마지막으로 읽힌 *Read Cycle*이 일치한다. 하지만 T16은 *Read Cycle* 11에서 T17은 *Read Cycle* 12에서 각각 사라진 적이 있다.

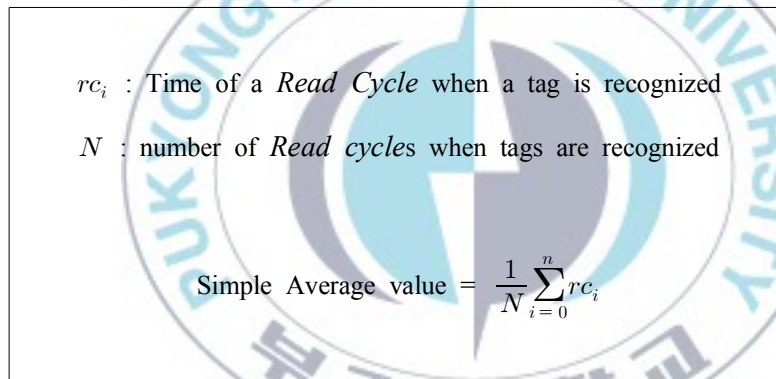
이는 RF의 특성상 안테나가 이동하면서 태그를 인식할 수도 있고, 인식하지 못할 수도 있는 경우가 종종 발생할 수 있기 때문이다. 하지만 잘 인식되지 않는 것은 안테나의 인식범위의 최대치에 근접해가므로 인해 전파가 읽히거나 읽히지 않다는 의미로 판단 할 수 있다. 즉, T16과 T17의 모든 조건이 동일할 때, T16이 먼저 인식이 잘되지 않아 사라진 시간이 이르다는 것은 그만큼

T17에 비해 인식범위를 먼저 지나쳐 갔기 때문이라고 판단할 수 있다.

본 논문에서는 위와 같은 3가지의 상대적인 기준을 가지고, 물리적 태그의 순차를 추정하며, 적용하는 알고리즘에 따라 추정기법이 달라진다.

3.2. Simple Average 기법

앞서 언급한 순차 추정정책을 통해 기본적인 추정 원리를 이해하였다. 하지만 위의 상대적인 기준만을 가지고서는 정확도를 높이기엔 한계가 있다. 그래서 각각의 *Read Cycle*에 의해 읽힌 태그들의 처음으로 읽힌 *Read Cycle*값과 마지막으로 읽힌 *Read Cycle*값의 평균을 적용하여 순차를 적용하는 것이다. 다음은 한 태그에 대한 Simple Average 순차 추정치를 도출하는 과정이다.


$$\begin{aligned} rc_i &: \text{Time of a Read Cycle when a tag is recognized} \\ N &: \text{number of Read cycles when tags are recognized} \\ \text{Simple Average value} &= \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n rc_i \end{aligned}$$

< 표 1 > Simple Average 기법

표 4에서와 같이 rc_i 는 하나의 태그가 인식되었을 때, *Read Cycle* 시간을 말한다. N 은 인식된 태그들의 각 *Read Cycle*들의 횟수이다. 하나의 태그순차에 대한 단순 평균 추정치는 읽혔던 모든 *Read Cycle* 수를 각 태그가 읽혔던 *Read Cycle* 시간의 합으로 나눈 값이다.

만약 그림 15와 같은 데이터에 실제 평균값을 취하면 표 5와 같이 도출된다.

Real Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Simple Average Value	2.0	2.5	3.5	4.8	4.9	6.2	6.3	7.5	8.2	9.0	9.5	10.0	10.5	11.3	11.0	11.7	11.3	12.0
Estimated Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	17	16	18

< 표 2 > Simple Average 적용 예1

하지만 위의 결과는 이상적으로 태그가 인식되었을 때의 상황이고, 실제 태그가 인식되는 형태는 그림 17과 같다.

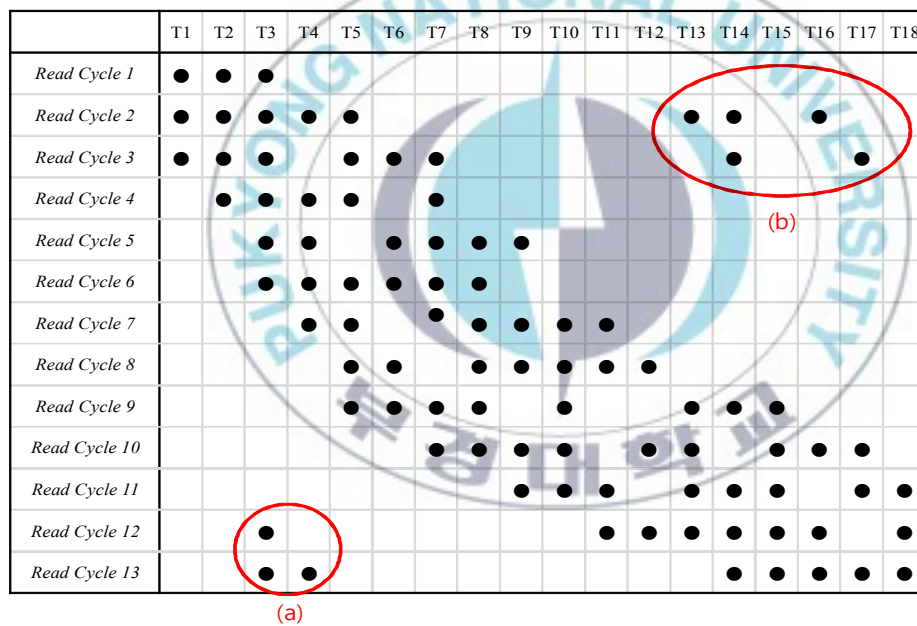


그림 17. 우연히 인식된 태그의 예

그림 17의 (a)는 태그가 처음에 정상적으로 읽히다가 마지막 Read Cycle 즈음

에 우연히 읽힌 경우이고, (b)는 태그가 처음에 정상적으로 읽히다가 중간에 사라진 후 다시 읽히는 경우이다. 이 2가지 경우로 인해 표 6의 결과같이 순차를 가늠할 수 없을 정도로 뒤섞여있는 것을 알 수 있다.

Real Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Simple Average Value	2.0	2.5	5.7	6.2	4.9	6.2	6.2	7.5	8.2	9.0	9.5	10.0	11.0	12.5	11.0	12.3	12.3	12.0
Estimated Sequence	1	2	4	5	3	6	6	8	9	10	11	12	13	18	13	16	16	15

< 표 3 > Simple Average 적용 예2



3.3. Normalized Average 기법

Simple Average 방식에서의 문제점은 태그가 RF의 특성으로 인해 우연히 마지막에 인식되는 경우 평균치가 증가함에 따라 태그의 순서를 도출하는데 부정확성이 발견되는 것이다. 이러한 경우, 이전보다 태그 순차의 정확성을 높이고 자 각 태그의 사라진 정보를 Cache에 저장하고 만약 2번 이상 연속으로 사라진 경우를 분석할 필요가 있다.

우선 리더가 태그 인식을 개시한 후 종료할 때 까지 우연히 *Read Cycle*이 발생한 경우는 2가지로 요약할 수 있다. 하나는 우연히 처음 개시할 때 읽힌 경우와 우연히 마지막에 읽힌 경우이다.

우연히 읽혀진 *Read Cycle*에 가중치를 부여한 후 해당 오차를 줄여 보다 높은 추정치를 도출하고자 한다.

다음은 한 태그에 대한 Normalized Average 순차추정치를 도출하는 과정이다.

표 6에서 rc_i 는 앞선 언급한 표 3의 설명과 동일하고, w_i 는 태그가 우연히 읽히거나 사라졌을 때 적용할 가중치이다. 그리고 M 은 가중치가 적용된 *Read Cycle* 횟수이다. 가중치가 1이라는 것은 ‘태그가 정상적으로 읽혔다’라는 의미로 추정할 수 있다. 즉, 기존 Simple Average 기법에서의 N 이 가중치 1의 개수의 합이라고 할 수 있다. 이러한 가중치를 반영하지 못함으로 해당 *Read Cycle* 시간에 정상적으로 읽힌 것처럼 N 에 *Read Cycle* 횟수를 추가해주어야 한다.

반면 가중치가 0이라는 것은 ‘태그가 우연히 읽혔다’는 의미로 추정할 수 있다. 그런데 이는 기존의 데이터에서 평균을 내는데 평균값을 상승시키거나 감소시키는 원인이 된다.

rc_i : Time of a *Read Cycle* when a tag is recognized

w_i : weight = $\begin{cases} 1 & \text{if a tag is read normally,} \\ 0 & \text{else if a tag is accidentally read or lost} \end{cases}$

N : number of *Read cycles* when tags are recognized ($w_n = 1$: count++)

M : number of *Read cycles* when tags are read or lost accidentally

($w_n = 0$: count--)

$$\text{Normalized Average value} = \frac{1}{N-M} \sum_{i=0}^n rc_i \times w_i$$

< 표 4 > Normalized Average 기법

그러므로 이를 제거 또는 적절히 가감할 필요가 있다. 하지만 본 논문에서는 이를 제거함으로써 우연히 읽힌 태그들의 값을 정제하고자 한다. 이렇게 제거됨으로 인해 생기는 *Read Cycle* 횟수 감소는 N 에 영향을 미치지 못한다. 즉 N 에서 *Read Cycle* 횟수를 감해주어야 한다. 위의 두 조건을 통해 얻어지는 *Read Cycle* 횟수는 각 가중치에 따라 가감되어 M 값을 구하고, 이를 N 과 계산하면, 태그가 인식된 총 *Read Cycle* 횟수가 도출된다.

Simple Average 기법과는 다르게 Normalized Average 기법에서는 가중치를 부여하는데 2번의 처리과정이 필요하다.

첫 번째, 태그 인식유무에 따른 기본 가중치 적용과정이다. 하나의 Tag는 모든 *Read Cycle*에 대한 정보를 가지고 있다. 이는 단순히 인식여부를 체크하는 것이 아니라 Tag가 정상적으로 읽혀야 하는데 사라진 것인지, 우연히 읽힌 것

인지에 대해 분석하기 위한 것이다. 각 태그들은 기본가중치를 통해 w_i 값이 정해진다. 이때에 기본가중치(weight)라는 것은 태그가 정상적으로 인식되면 1이 되고, 그 외에 인식되지 않으면 0으로 산정한다. 이렇게 한 태그의 모든 *Read Cycle*에 대해 기본가중치가 적용된 후 이를 임시저장리스트(List of Cache)에 하나씩 저장한다. 이때 N 값은 읽힌 모든 *Read Cycle* 횟수를 모두 더한 값이다.

두 번째, 태그의 제거를 위한 분석과정이다. 임시저장리스트에 저장한 모든 태그에 대해 분석하는데 우연히 읽힌 태그를 제거해야한다. 이를 위해 가중치(w_i)를 0으로 부여하고, M 을 1만큼 감소시킨다.

이렇게 해당 Tag의 가중치 값을 갱신한 후, 가중치의 곱($rc_i \times w_i$)의 합을 N 과 M 의 차감한 값으로 나누면 최종적으로 Normalized Average 값을 도출한다.

표 6와 같이 가중치를 부여하여 우연히 읽힌 태그를 제거함으로써 실제 이상적인 태그순차를 도출할 수 있다. 다음은 그림 17와 같은 데이터에 Normalized Average 기법을 적용한 예시이다.

Real Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Simple Average Value	2.0	2.5	3.5	4.8	4.9	6.2	6.5	7.5	8.2	9.0	9.5	10.0	10.5	11.3	11.0	11.7	11.3	12.0
Estimated Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	14	17	16	18

< 표 5 > Normalized Average 적용 예

4. 실험 환경 및 평가

4.1. 실험 환경

본 절은 앞서 제시한 Simple Average 기법과 Normalized Average 기법을 이용하여 다양한 실험항목을 변경해가며 실험한 결과를 소개한다. 먼저 <표 9>와 같이 일반적으로 개발 킷(Development Tool Kit)으로 가장 많이 사용되고 있는 Alien9800를 사용하였다. 또한 안테나를 4개까지 부착가능하나 실험에서는 2개만 사용하였으며, 주파수 대역은 900MHz이다. 또한 사용된 RFID 수동형태그는 Class Gen2 Tag로써 사용된 개수는 20개이며, 각각의 안테나는 무지향성 안테나인데, 실험 시에는 약간의 지향성을 줄 수 있도록 차폐막(철제로 만들어진 칸막이)을 설치하였다.

항 목	비 고
RFID Reader 수	Alien 9800
Antenna 수	2
사용된 Tag 수	16개
각 Tag간의 간격	15cm, 20cm
주파수 대역	900MHz
Antenna의 지향성	Circular(30°, 150°)
Reader의 이동 속도	0.8m/s(약간 느린걸기 속도)
Tag와 Reader간의 거리	30cm, 45cm, 60cm, 90cm

< 표 6 > 실험환경요소

실험은 총 4차에 걸쳐 이루어졌으며, 각각의 실험 환경은 다음과 같다.

실험1. 실내 외벽에 Tag를 15cm 간격으로 배치하고, Antenna의 지향성을 30

°로 주었을 때, Tag와 Antenna와의 거리를 30cm, 45cm, 60cm, 90cm로 달리하여 측정함.

실험2. 실내 외벽에 Tag를 15cm 간격으로 배치하고, Antenna의 지향성을 150°로 주었을 때, Tag와 Antenna와의 거리를 30cm, 45cm, 60cm, 90cm로 달리하여 측정함.

실험3. 실내 외벽에 Tag를 20cm 간격으로 배치하고, Antenna의 지향성을 30°로 주었을 때, Tag와 Antenna와의 거리를 30cm, 45cm, 60cm, 90cm로 달리하여 측정함.

실험4. 실내 외벽에 Tag를 20cm 간격으로 배치하고, Antenna의 지향성을 150°로 주었을 때, Tag와 Antenna와의 거리를 30cm, 45cm, 60cm, 90cm로 달리하여 측정함.

4.2. 실험 평가

다음 그림 18,19,20,21은 각 실험에서의 추정오류율을 나타낸다. 가로축은 태그와 리더간의 간격을 나타내고, 세로축은 물리적 태그순차를 추정하는데 발생한 오류율을 말한다. 추정 오류율을 산정하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{추정 오류율} = \frac{\text{실제 순차에 어긋나거나 순차가 동일한 태그 수}}{\text{총태그 수}}$$

< 표 7 > 추정 오류율 정의

각 도표에 표시된 막대그래프는 실제 Simple Average기법과 Normalized Average기법을 적용했을 때의 오류율이다.



그림 18. 실험 1



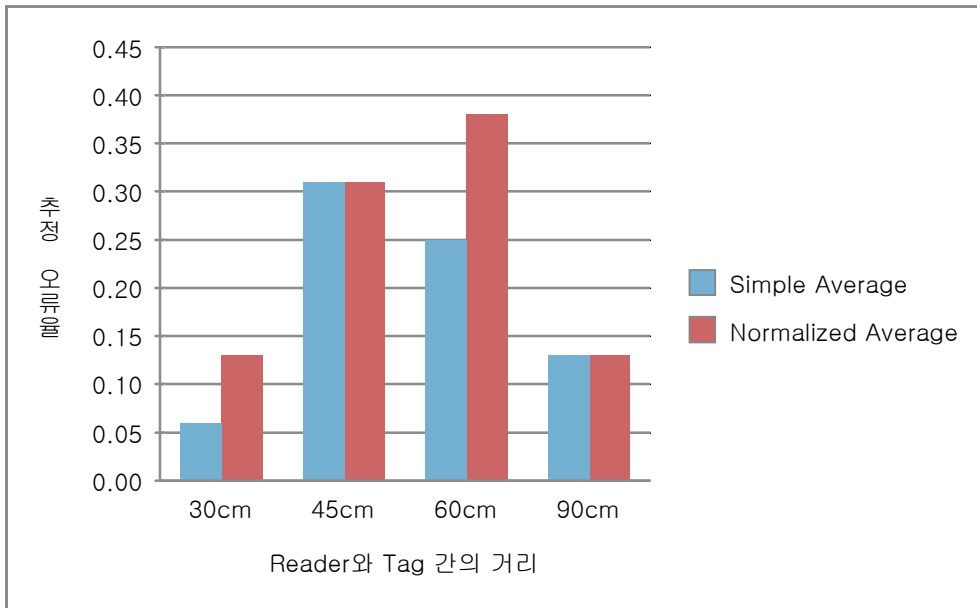


그림 19. 실험 2

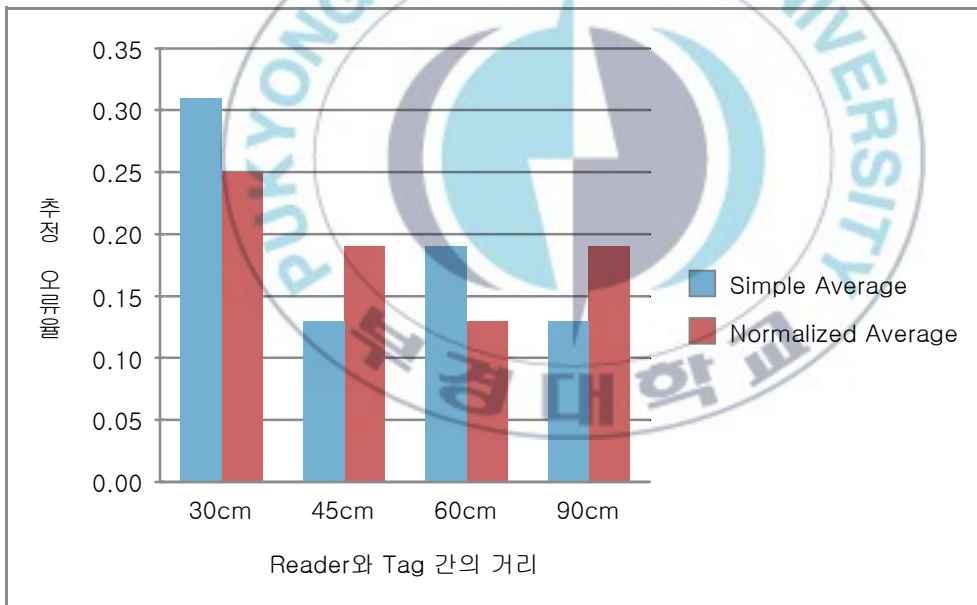


그림 20. 실험 3

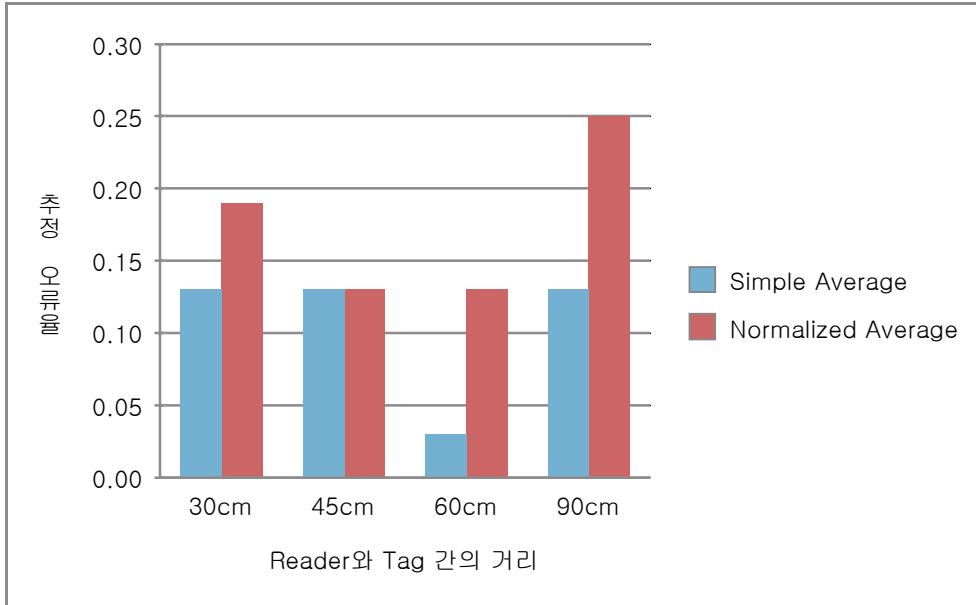


그림 21. 실험 4

실험 1에 해당하는 그림 18에서와 같이 우연히 읽힌 태그가 많이 발생한 실험 데이터에서는 모두 Normalized Average기법을 사용하였을 때 약 0~6%이상의 정확도가 향상되었다.

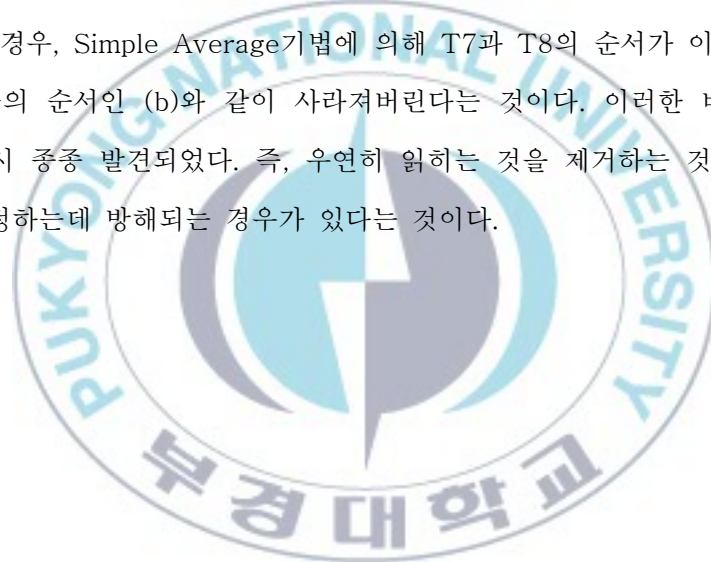
특히 우연히 발생한 구역이 정상적으로 읽힌 데이터 구역과 분포가 크게 차이가 날수록 향상되었으며, 또한 우연히 읽혀진 태그 개수가 2개 이상일 때 Normalized Average기법을 적용하는 것이 Simple Average 기법보다 태그의 순차를 도출하는데 정확도가 더 높았다.

하지만 그림 19과 같이 안테나의 지향성을 150°로 주었을 때는 Normalized Average 기법을 적용한 것이 Simple Average기법보다 추정오류율이 일치하거나 오히려 높게 나타났다. 이는 안테나의 인식범위를 최대로 설정함에 따라 태그가 인식되는 범위 또한 일정하게 유지되어 리더가 이동하면서 우연히 읽히는 경우가 거의 발생하지 않았던 것이다. 하지만 우연히 읽히는 경우가 거의 발생하지 않더라도 정상적으로 태그가 잘 읽혔다면 추정오류율이

나빠지진 않아야한다. 이러한 원인은 RFID의 특성에 기인한다. RFID의 특성상 간혹 잘 읽히다가 일시적으로 사라질 경우가 있다.

그런데 실험2에서는 이러한 일시적으로 사라진 태그 이후에 읽힌 태그를 Normalized Average기법으로 적용했을 시 우연히 읽힌 태그로 인식해 버린 것이다. 그러므로 우연히 읽힌 데이터가 적거나 거의 없을 경우엔, 오히려 Simple Average기법을 적용했을 때 약 0~11%정도의 정확도가 높게 나타났다.

다음으로 실험 3에서는 앞서 실험 1과 비교하여 Normalized Average기법의 문제점이 발견되었다. 그림 22은 실제 실험 3에서 태그와 리더의 간격을 60cm로 했을 때의 실험결과이다. (a)와 같은 태그들은 Normalized Average기법에 의해 제거되어지는 즉, 우연히 읽혔다고 판단되는 것들이다. 그런데 문제는 (a)와 같이 제거될 경우, Simple Average기법에 의해 T7과 T8의 순서가 이미 정해져있는 태그들의 순서인 (b)와 같이 사라져버린다는 것이다. 이러한 비슷한 데이터가 실험 시 종종 발견되었다. 즉, 우연히 읽히는 것을 제거하는 것이 기존의 순차를 추정하는데 방해되는 경우가 있다는 것이다.



Read Cycle	TagID	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
# 0		•	•														
# 1		•	•														
# 2		•	•	•	•	•	•	•									
# 3		•	•	•	•	•	•	•									
# 4		•	•	•	•	•	•	•									
# 5		•	•	•	•	•	•	•									
# 6		•	•	•	•	•	•	•									
# 7		•	•	•	•	•	•	•									
# 8		•	•	•	•	•	•	•									
# 9		•	•	•	•	•	•	•									
# 10		•	•	•	•	•	•	•									
# 11		•	•	•	•	•	•	•				•					
# 12		•	•	•	•	•	•	•									
# 13		•	•	•	•	•	•	•									
# 14		•	•	•	•	•	•	•									
# 15		•	•	•	•	•	•	•									
# 16		•	•	•	•	•	•	•									
# 17		•	•	•	•	•	•	•									
# 18		•	•	•	•	•	•	•									
# 19		•	•	•	•	•	•	•									
# 20		•	•	•	•	•	•	•									
# 21		•	•	•	•	•	•	•									
# 22		•	•	•	•	•	•	•									
# 23		•	•	•	•	•	•	•									
# 24		•	•	•	•	•	•	•									
# 25		•	•	•	•	•	•	•									
# 26		•	•	•	•	•	•	•									
# 27		•	•	•	•	•	•	•									
# 28		•	•	•	•	•	•	•									
# 29		•	•	•	•	•	•	•									
# 30		•	•	•	•	•	•	•									
# 31		•	•	•	•	•	•	•									
# 32		•	•	•	•	•	•	•									
# 33		•	•	•	•	•	•	•									
# 34		•	•	•	•	•	•	•									
# 35		•	•	•	•	•	•	•									
# 36		•	•	•	•	•	•	•									
# 37		•	•	•	•	•	•	•									

그림 22. 실험 3의 Normalized Average의 적용 시 문제점

실험4는 실험2에 비해 추정오류율이 평균 7%정도 낮았으며, 최소 6%~최대 28%정도까지 차이가 났다. 이는 태그의 간격을 5cm더 늘린 것이 물리적 태그순차를 추정하는데 보다 용이하다는 것으로 해석할 수 있다.

하지만 실험 4 역시 실험 2와 동일한 문제로 인해 Normalized Average기법의 추정 오류율이 더 높았다.

마지막으로 실험 3과 4는 물리적 태그의 순차를 추정함에 있어서 150° 즉, 안테나의 최대인식 범위로 지정해주었을 때 우연히 읽히는 태그가 적었고 결과 또한 정확도가 높았다. 예상과는 반대의 결과였다. 이는 실험당시 차폐막을 설치한 리더가 그렇지 않은 리더에 비해 보다 좋은 실험결과를 도출할 것으로 예상했기 때문이었다. 그러나 실험결과에서 보듯이 철저 차폐막이 완벽한 차단효과를 거두지 못하여 반사적으로 150°일 때 정확도가 높게나왔으나 실제 Linear 방식의 안테나였다면, 보다 의미 있는 데이터를 도출할 수 있었을

것이다.

실험을 통해 발견한 특이사항은 특정 태그의 성능에 따라 잘 읽힐 수도 그렇지 않을 수도 있다는 것이다. 그러므로 실험 시 특정태그에 의한 인식정도의 차이가 발생하지 않도록 태그의 성능을 일정하게 보장해 주는 것이 필요함을 알 수 있었다.



5. 결론

본 논문은 수동형 태그를 이용하여 물리적 태그 순차를 추정하는 기법을 제안하였다. 이 기법을 사용하여 최대 94%에 이르는 정확도로 순차를 도출하는 것이 가능하다. 기존의 연구는 2차원에서 리더의 위치를 추정하거나 1, 2차원에서 태그의 위치를 추정하는 방식이 주를 이루었다. 하지만 기존과는 다른 접근 방법, 즉 물리적 태그의 순차에 초점을 맞춰 추정해냄으로써 다양한 응용 및 현장에서 활용할 수 있다는 점을 제공한다. 특히 최근 USIM(Universal Subscriber Identity Module)칩 형태의 모바일 리더가 보급됨으로 인해 증강현실의 응용에서 태그화 된 개체를 순서에 맞게 인식 가능할 것으로 판단되며, 물류유통분야에서 물품들의 배열 상태를 손쉽게 인식할 수 있어 재고 파악 시 용이한 점이 있을 것으로 예상된다.

하지만 실제 실험 결과에 영향을 미칠 수 있는 다양한 요소 즉, RF의 세기, 안테나의 지향성 여부 및 정도, 리더의 이동속도, *Read Cycle*의 주기 등을 고려하여 다양한 실험을 통해 할 필요성이 있다.

마지막으로 현재 본 논문에서 제시한 기법은 단일스캔에 의한 물리적 태그의 순차를 추정하는 것이지만 다중스캔, 즉 여러 번의 스캔 과정을 통한 추정성능에 대한 향후 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] L. Ni, Y. Liu, Y.C. Lau, A. Patil, "LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID", *1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp.407-415, 2003.
- [2] Yanying Gu, Anthony Lo, Ignas Niemegeers, "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 11, Mar 2009.
- [3] USIM RFID 리더칩, "세계 최초 RFID칩 휴대폰 내장 기술 개발",
http://www.sktelecom.com/jsp/n_precenter/NewsView.jsp?f_rk=1&f_reportdata_seq=3536
- [4] Matt Ward, Rob van Kranenburg, "RFID: Frequency, standards, adoption and innovation", *JISC Technology and Standards Watch*, May 2006
- [5] T. Shiraishi, N. Komuro, H. Ueda, H. Kasai and T. Tsuboi, "Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID", *Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. IEEE International Conference*, pp. 1856-1861, Feb. 2009.
- [6] Soonshin Han, HyungSoo Lim, and JangMyung Lee, "An Efficient Localization Scheme for a Differential-Driving Mobile Robot Based on RFID System", *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, Vol. 54, No. 6, Dec 2007.
- [7] 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), Nov. 5-8, 2007

[8] 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, 2007

[9] Rung-Ching Chen, Sheng-Ling Huang, "A new method for indoor location base on radio frequency identification", *WSEAS TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, Vol. 8, Issue 7, July 2009



감사의 글

*Information & Database Systems Laboratory*에서 *System* 뒤에 *s*가 붙어야 하는지 말아야 하는지 고민하던 2007년 가을. 그때가 엇그제 같은데 벌써 *IDBLAB* 구성원이 된지 언 4년이란 시간이 지났습니다. 정말 많은 것을 배우고, 또한 많이 부족하다는 것을 느낀 시간이 아니었나 생각됩니다. 특히 석사과정동안 일과 학업을 병행하며, 정말 숨 가쁘게 달려온 이시간이 저에게 평생 잊지 못할 귀중한 추억으로 남을 것입니다. 하지만 무엇보다도 가장 고마운 분들이 여기에 있습니다. 다름 아닌 이 보잘것없는 글을 읽고 있는 바로 당신이 아닐까 생각합니다.

그중에서도 먼저 항상 게을러지거나 정신이 흐트러져있을 때 어김없이 꾸짖어주시고, 다시 격려해주신 사랑하는 부모님, 미친한 저를 연구실원으로 발탁해주시고, 또한 저의 롤 모델(*Role Model*)로써 모든 연구실원들의 건강과 안부를 걱정해주시고, 챙겨주신 존경하는 송하주 교수님, 이름만 들어도 그 영향력이 막강하신 권오흠 교수님, 인자하신 성품으로 정평이 나신 김영봉 교수님, 우리 연구실의 정신적 지주이자 든든한 큰형님 정명환 형님, 학부생시절 저에게 많은 조언과 덕담해주신 이화춘 형님, 우리에게 항상 큰 즐거움과 힘이 되어준 안종민, 내가 여기까지 올수 있도록 나의 두 손을 힘껏 잡아 당겨준 나의 영원한 멘토 김성진, 나의 부족한 것을 잘 일깨워줘 많은 자극을 준 정영민, 정말 티 없이 맑은 착한 마음씨를 소유한 최승혁, 다독(多讀)로 다져진 뛰어난 작문능력과 언어실력을 갖춰 부러움을 독차지한 임영준, 졸업논문 실험을 위해 기꺼이 함께 밤을 지새워준 재간둥이 박주형, 연구실의 분위기 메이커이자 간죽대기 1인자 장재형, IT융합응용공학과 대학원의 터줏대감이신 김원희 선배, 평생 함께 볼 나의 징글징글한 학부 동기녀석들, 그리고 이외에 언급하지 못한 모든 분들에게 이글을 빌어 감사의 말씀을 전합니다.

IDB 연구실원들과 함께 여기에서 갈고 닦은 기술이 먼 미래에 성공의 주춧돌이 되길 모두에게 간절히 바라며, 마지막으로 꼭 해주고 싶은 말이 있습니다. 사랑합니다. 그리고 고맙습니다. 행복을 위해 열정적으로 앞으로 나아가는 당신에게 영원한 빛이 함께 하시길 바랍니다.

2010년 12월

김태용