

# RFID 시스템을 이용한 거리 비종속 위치추정기법 -도서위치추정을 중심으로

최정욱<sup>1\*</sup>, 오동익<sup>2</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교 컴퓨터공학과, <sup>2</sup>순천향대학교 의료IT공학과

## A Range-Free Localization Method using an RFID System -Applied to a Library Book Location System

Jung-Wook Choi<sup>1\*</sup> and Dong-Ik Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Science and Engineering

<sup>2</sup>Department of Medical IT Engineering

**요약** 본 논문에서는 RFID 시스템을 기반으로 거리 비종속(range-free) 방식의 위치추정기법을 제안한다. 이 기법에서는 위치가 알려져 있는 참조태그를 먼저 인식한 후, 함께 인식되는 대상태그들이 어떤 참조태그 주변에 존재하는지를 파악할 수 있도록 하는데, 이때 대상태그의 위치를 참조태그와의 관계(근접여부)로 표현할 수 있게 하여 위치를 추정한다. 이를 위해 RFID 시스템에서 인식 빈도에 따라 거리를 추정할 수 있도록 에이징 카운터(Aging Counter)를 이용한다. 제안하는 위치추정기법의 유효성을 증명하기 위해 본 논문에서 개발한 기법을 도서관에서 사용할 수 있는 도서위치추정 시스템과 연계하여 설명하도록 한다.

**Abstract** We propose an RFID system based on range-free localization method. This method recognizes pre-determined reference tags first, and then checks within which reference tag the target tag is placed closest. It estimates target tag's position relative to the reference tag's position. We use Aging Counter to estimate the distance between reference and target tags using the read ratio of RFID tags. Practicality of the proposed method is verified by applying it to a library book locating system.

**Key Words** : Aging Counter, RFID, Tag-only, Positioning, Localization, Library

### 1. 서론

위치추정 또는 측위(localization) 기술은 특정한 사물의 좌표공간에서의 위치를 파악하기 위한 기술의 총칭이다. 1991년 발발된 걸프전(Gulf War)에서 미군을 추측으로 한 UN군이 사막에서 GPS(Global Positioning System)를 활용해 자신의 위치를 확인하여 효과적인 공격을 수행한 예는 측위 기술을 응용한 대표적 사례이다[1]. 최근까지 위치추정은 주로 GPS를 기반으로 하는 실외 위치추정을 의미하였으나, 무선 통신의 발전과 재해 구조를 목적으로 한 미국 연방통신위원회(FCC)의 권고 Docket No. 94-102[2]에 따라 모든 911(응급구조) 요청자의 정밀한

위치를 파악할 필요성이 생기게 되었고, 이후 실외 뿐 아니라 실내에서의 위치추정에 관한 연구도 활성화 되었다[3,4]. GPS를 이용할 수 없는 실내와 같은 음영지역에서는 새로운 방식의 측위기술이 필요하며, 이를 위해서는 무선 네트워크 기반에서 다양하고 쉽게 서비스를 확장할 수 있는 위치추정 기술에 대한 연구가 필요하다.

현재 실내외 위치추정 기술은 이동통신, 홈 네트워크, 지능형 로봇, 의료, 텔레매틱스, USN(Ubiquitous Sensor Network) 등 산업 전 분야의 핵심 기술로 활용되고 있으며, 각각의 분야에서 다양한 통신 방식과 측정 기술들이 연구되고 있다[5,6]. 특히 USN 분야에서 위치 기반 서비스의 중요성은 매우 크다. USN 서비스에서는 곳곳에 편

본 논문은 2008년도 산학협동재단 학술연구비 사업의 지원에 의한 연구결과임

\*교신저자 : 최정욱(jwook.choi@ewha.ac.kr)

접수일 09년 12월 23일

수정일 10년 02월 09일

게재확정일 10년 02월 24일

재된 센서와 컴퓨터들이 수집한 각종 환경 정보를 효과적으로 공유하고, 이를 기반으로 사용자 및 주변 환경의 상황(context)을 알아내어, 그에 맞는 다양한 서비스를 창출하여 제공하는 상황 인식적(context-awareness) 컴퓨팅의 특성을 갖는다[5]. 이러한 상황 인식 서비스를 가능케 하기 위해서는 사용자 및 사물의 객체인식과 각 객체들의 위치파악은 필수적이다.

본 논문에서는 RFID 태그와 리더만을 이용하여 태그와 리더간의 거리를 유추할 수 있는 에이징 카운터(Aging Counter) 방식 위치추정 기법을 제안한다. 이 방식은 실내에서 사물의 위치추적에 사용될 수 있는 방법으로, 인식기와 인식 대상의 거리를 정확하게 계산할 필요가 없이(range-free) 기존의 USN 환경에서 사용되는 태그(tag)를 이용하는 것이어서 위치추정을 위한 추가적 하드웨어의 확보를 위한 비용이 최소화될 수 있는 방식이다. 구체적으로는 이동하는 리더를 사용해 기준이 되는 참조태그를 먼저 인식한 뒤 추후 인식되는 태그들이 어떤 참조 태그 주변에 존재하는지를 간접적으로 파악한다. 이 방식의 유효성 증명을 위해서는 RFID 도서관 내에서 도서의 위치를 추정 할 수 있는 솔루션을 제공한다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위치추정 기술들을 분류하고 본 논문의 방식인 거리 비종속 기법의 유용성에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 에이징 카운터 위치추정에 대해 설명한다. 4장에서는 에이징 카운터의 유효성 증명을 위해 구현한 도서위치추정 시스템에 대해 설명하고 이를 통해 어떻게 도서의 위치추정이 가능해지는지를 설명한다. 5장에서는 보다 안정적인 시스템 구축을 위해 제안한 위치추정 시스템의 동작에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 대해 설명한다. 6장에서는 연구의 결론을 맺는다.

## 2. 위치추정기술

### 2.1 대표적 위치추정 기술

GPS[7]는 인공위성이 주기적으로 전송하는 신호를 GPS 수신기가 수신하여 위치를 추정하는 방식으로서, 현재 상업적으로 가장 널리 쓰이고 있는 위치추정 기법이다. GPS를 이용한 대표적인 응용사례에는 차량 내비게이션이 있고, 미국에서는 이를 이용하여 도난 차량의 트래킹(tracking) 등의 서비스[8]를 상용화하였다.

MIT에서 개발한 크리켓(Cricket)은 실내 위치추정을 위해 개발되었다. 초음파를 사용하는 크리켓은 TOA(Time Of Arrival)나 TDOA(Time Difference Of

Arrival) 기법을 사용하여 무선 노드의 위치를 파악한다. 초음파의 경우 일반 신호(signal)에 비해 수신율이 떨어지고 전송거리가 짧기 때문에, 2~3m 정도의 가까운 간격으로 신호를 발생시키는 앵커를 배치해야 한다. 따라서 크리켓에서는 배치된 노드의 수와 무선 채널을 통해 전송되는 트래픽 양이 커지는 문제점이 발생한다[9].

IEEE 802.15.4a는 위치추정을 위한 거리측정을 다른 표준으로 현재에도 표준화가 진행 중에 있다. IEEE 802.15.4a에서 사용하는 UWB(Ultra Wide Band)와 CSS(Chirp Spread Spectrum)는 나노 초 단위까지 신호감지가 가능하여 시간을 기반으로 한 위치추정 기법의 정밀도를 높이는데 크게 기여한 시스템이다.

이러한 방식들을 기반으로 다양한 네트워크 컴퓨팅 환경에서 라우팅 방법[10], 방향성 안테나의 사용[11], 보안을 강화하여 음해성이 있는 공격 노드로부터 네트워크를 방어하는 기술[12] 등에 관한 연구들이 진행되었다. 이러한 연구들이 공통으로 가정하는 것은 네트워크상에 있는 무선 노드의 위치 정보가 제공 된다는 것이다[9]. 따라서 무선 노드의 정확한 위치 파악 방법은 여러 가지 무선 네트워크 응용들을 위해 매우 중요한 기반기술이다.

### 2.2 위치추정 기술의 분류

위치추정 기술은 크게 삼각측량(triangulation) 방식, 근접(proximity)방식 및 장면 분석(scene analysis) 방식으로 구분이 가능하다[13].

삼각측량 방식은 객체의 위치를 계산하는데 있어서 삼각형의 기하학적 속성을 사용하며, 측정 거리를 이용하는 lateration과 측정 각도를 이용하는 angulation으로 분류할 수 있다[13]. Lateration을 이용하기 위해서는 참조 포인트로부터 객체까지의 거리를 측정할 수 있어야 하는데, 이를 위해서 신호가 전송된 시간 또는 수신 신호의 세기를 거리로 환산한다. Angulation을 이용하기 위해서는 방향성 안테나를 사용하여 수신되는 신호의 각도를 측정한다. 이러한 삼각측량 방식은 다수의 참조 포인트로부터 객체까지의 측정된 거리 또는 각도를 기반으로 위치를 추정하기 때문에 거리 기반(range-based) 방식이라고도 한다.

근접 방식은 객체의 위치를 파악하는데 제한된 영역(range)에서의 물리적인 현상을 사용한다. 즉 알려진 위치 근처에 객체가 존재할 때 그 객체를 인식할 수 있고 이때의 그 알려진 위치를 사용하는 방법이다[13]. 근접 방식에서의 객체 위치 파악 방법은 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째는 가장 기본적인 방법으로서 객체의 물리적 접촉을 검출하는 방법이다. 물리적 접촉을 센싱하기 위해서는 압력센서, 터치센서, 전기 용량(capacitive) 검출기

등이 이용된다. 사람의 피부와 직접적인 접촉을 하는 객체들 간의 체내(intra-body) 데이터 통신을 위한 시스템인 Contact[14]가 이러한 물리적 접촉방법을 사용한 대표적인 예이다. 둘째, 무선 네트워크에서 모바일 장치가 하나 이상의 AP(Access Point) 범위 내에 있을 때를 모니터링 하는 방법이다. 사무실 환경에서 적외선 셀(cell)을 사용하는 Active Badge Location System과 XeroxParcTAB System, 802.11 무선 네트워크를 사용하는 Carnegie Mellon Wireless Andrew, Ad-hoc 네트워크에서의 APIT, Centroid 등이 대표적인 예이다. 셋째는, 자동 인식 시스템을 사용하는 방법이다. 신용카드 단말기, 컴퓨터 로그인 기록, 통화 기록 등과 UPC(Universal Product Code), 상품 코드, 고속도로 카드시스템, 주입 가능한 가축의 ID 캡슐과 같은 전자태그를 사용하는 것이 대표적인 예이다. 즉 레이블을 스캐닝 하거나, 태그에게 신호를 보내거나, 또는 알려진 위치에서의 트랜잭션을 모니터링 하여 모바일 객체의 위치를 추론하는 방법이다. 이 방식은 영역 혹은 셀 단위 분류에 의한 위치 결정 방법이기 때문에 Cell-ID 방식이라고도 하며, 거리를 기반으로 위치를 추정하지 않기 때문에 거리 비종속(range-free) 방식이라고도 한다.

장면 분석 방식은 미리 알려진 장면에서 객체나 관찰자의 위치추정을 위해 장면의 특징을 저장 해 놓은 후, 객체가 위치한 장면을 저장된 데이터와 비교해 파악하는 방식이다. 관찰된 장면들은 비교하기 쉽도록 특징만을 포함하여 단순화시킨다. 예를 들어 촬영된 장면의 실루엣이나 에지(edge)만 남김으로써 장면을 단순화시킨다. 관찰된 장면의 특징들은 미리 촬영되어 정의된 지도와 같은 데이터 세트(data set)에서 검색된다. 반면에, 장면차이(differential) 분석은 추정된 위치의 장면들과 현재 장면의 차이점을 찾아낸다. 장면에서 차이가 나는 것은 객체의 움직임에 해당하고, 만약 장면들로부터 특정 포인트를 알게 된다면 객체의 상대적 위치를 파악할 수 있다. 장면 분석의 장점은, 기하학적인 각도 또는 거리가 제공되지 않더라도 장면에서의 특징들과 수동적 관찰을 통해 객체의 위치를 추정할 수 있다는 것이다. 반면에 환경이 변화하면 이미 구축해놓은 장면들의 특징을 수정해야만 하는데, 어떤 경우에는 전체 데이터 세트를 수정해야 하는 상황이 발생할 수도 있다. 장면 데이터는, 시각적인 이미지, 예를 들어, 웨어러블(wearable) 카메라로부터 획득된 프레임들로 구성할 수 있다. 또는 다른 어떤 측정 가능한 물리적인 현상 예를 들어, 특정 방위(orientation)나 위치에 객체가 있을 때 발생할 수 있는 전자기적 특징들도 구성할 수 있다. 마이크로소프트 연구소의 RADAR 위치 추정 시스템은 후자의 예이다. RADAR는 건물 전체의

수많은 장소에서 802.11 무선 네트워크 장치의 radio 신호의 세기를 측정하여 구성된 데이터 세트를 이용한다. 다른 802.11 네트워크 장치들의 위치는 생성된 데이터 세트의 테이블에 대한 검색을 수행함으로써 계산될 수 있다. 이러한 방식을 fingerprint 방식이라고 한다[15]. 이 경우 관찰된 특징(신호 세기 값)들을 건물 내에서의 특정 위치와 연관 짓지만, 그 위치들에 대한 기하학적 거리나 각도 등의 측정을 필요로 하지는 않는다.

## 2.3 거리 기반 vs. 거리 비종속

2.2절에서 분류한 세 가지 위치추정 기술은, 측정된 신호 세기나 도착시간 등을 직접적으로 거리로 환산하여 객체의 위치를 추정하는 방식인 거리 기반(range-based) 방식과 신호 세기나 도착시간 등을 직접적으로 이용하지 않고 영역의 포함 여부만으로 객체의 위치를 추정하는 거리 비종속(range-free) 방식으로 크게 구분할 수 있다. 이에 따라, 삼각측량 방식은 거리 기반 방식에 포함되고, 근접 방식은 거리 비종속 방식에 포함된다. 장면 분석 방법은 측정된 신호의 세기를 직접적으로 이용하는 경우 및 이와 유사한 개념을 사용하는 경우이기 때문에 거리 기반 방식에 포함시킬 수 있다.

거리 기반 방식에서는 추가적인 하드웨어를 이용하여 각도 및 거리등을 측정한다. 하지만 위치추정 결과의 정밀도에 비해 거리 기반 방식의 솔루션에서 요구되는 하드웨어의 비용은 매우 높다. 이러한 특징과 문제점들에 대한 대안으로 거리 비종속 방식이 주목받게 되었고, 이 방식을 통해 거리 기반과 견줄 수 있는 수준의 위치추정 결과를 얻고자 하는 노력이 다양하게 이루어지고 있다 [16].

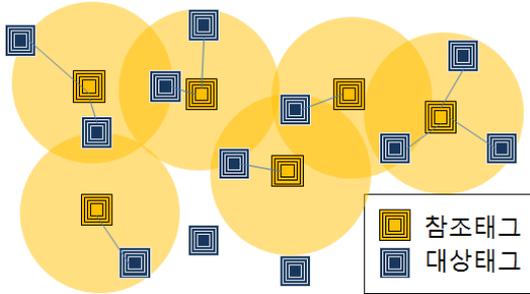
## 3. 에이징 카운터 위치추정

본 장에서는 무선 센서 네트워크에서 저 비용으로 객체의 위치를 파악할 수 있는 거리 비종속 방식 위치추정 시스템의 새로운 솔루션을 제안하고자 한다.

### 3.1 에이징 카운터 위치추정의 개요

본 논문에서 제안하는 에이징 카운터 위치추정은 RFID 시스템을 이용하여 객체의 위치를 추정하기 위해 위치가 알려져 있는 참조태그를 먼저 인식한 후, 함께 인식되는 대상태그들이 어떤 참조태그 주변에 존재하는지를 파악할 수 있도록 한다. 이때 태그의 위치를 참조태그와의 관계(근접여부)로 표현할 수 있게 하여 위치를 추정

한다. 그림 1은 에이징 카운터 위치추정의 개요를 나타낸다.



[그림 1] 에이징 카운터 위치추정의 개요

이 방식의 핵심 아이디어는 추정 대상태그와 리더간의 거리를 인식의 빈도를 통해 유추할 수 있도록 하는 것이다. 거리 비중속 방식에서도 인식의 빈도는 신호의 세기에 선형비례하므로[17,18] 이를 통해 대상태그의 거리의 멀고 가까움을 유추할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 현상을 잘 반영할 수 있도록 이동 중인 리더가 이전 주기의 스캔 결과까지 누적시켜 활용할 수 있는 에이징 카운터를 이용한다. 이 카운터를 이용해 현재 가장 가까운 참조객체가 무엇인지 파악하고, 동시에 이 범위에서 인식되는 태그들의 목록을 구축하여, 그들의 위치를 참조객체의 위치와 연관시켜 추정할 수 있게 하는 것이다.

### 3.2 위치추정 함수

에이징 카운터 위치추정의 핵심은 어떤 참조태그 즉, 셀태그 주변에 어떤 대상태그가 놓였는지에 관한 정보를 생성하는 것이다. 이를 위해 다음과 같이 함수  $f$ 를 정의한다.

$$f(ID_{target}) \triangleq ID_{cell} \text{ closest To The } ID_{target}$$

여기서,  $ID_{target}$ 은 위치추정대상 태그의 ID이고  $ID_{cell}$ 은 셀을 구분 짓는 태그의 ID이다.  $f$ 는  $ID_{cell}$ 을  $ID_{target}$ 과 매핑하는 함수로서,  $f(ID_{target})$ 가  $ID_{target}$ (대상태그 ID)이 놓인 가장 가까운  $ID_{cell}$ (셀태그 ID)를 반환한다.

여러 개의  $ID_{cell}$ 들에서  $ID_{target}$ 을 연관 짓는 개념은 이동전화통신의 셀룰러 시스템과 유사하다[19]. 이동전화 통신에서는 셀폰(cellular phone)으로부터 가장 강한 신호를 받은 기지국 즉, 가장 가까운 기지국이 단말기와 통신하기 위해 선택된다. 이때 하나의 기지국이 커버할 수 있

는 범위를 이 기지국의 셀(cell)이라 한다. 셀룰러 시스템의 방식을 에이징 카운터 위치추정에 적용한다면  $f$ 의 구성은 간단하다.

그러나 이 아이디어의 개념적 유사성은 두 가지 기능적 차이점을 가진다. 첫 번째 차이는 그들의 통신 방법이다. 셀룰러 시스템에서 기지국은 단말기와 직접적으로 통신한다. 그러나 RFID 시스템에서는 태그들 간의 직접 통신이 불가능하며, 단지 태그와 리더 사이에서만 통신이 수행된다. 두 번째 차이는 신호의 세기 측정이다. 셀룰러 시스템에서는 기지국과 단말기간의 신호 세기 측정이 가능하지만 RFID 시스템의 리더는 신호 세기를 측정할 수 있는 기능을 제공하지 않는다. 이러한 기능을 더하도록 시스템을 설계할 수는 있지만 이 경우 전체적 비용이 증가한다. 따라서 RFID 시스템을 이용해 위치추정을 구현함에 있어 소프트웨어적으로 유사한 기능을 제공하여 추가적인 비용이 발생하지 않도록 하고자 하는 것이 본 논문의 세부적인 목적이다.

### 3.3 RFID 시스템에서의 거리 추정

비록 RFID 시스템에서 신호 세기 측정이 불가능 할지라도, 리더에 가까운 태그들이 좀 더 자주 읽힌다는 사실을 이용한다면 리더와 태그간의 상대적인 신호 세기를 추측 할 수 있다. 이를 위해 다음의 명제를 활용한다.

명제 1 : 만약 리더 R과 태그 A의 인식률이 리더 R과 태그 B의 인식률보다 크거나 같다면, 리더 R과 태그 A간의 거리는 리더 R과 태그 B간의 거리보다 가깝거나 같다.

#### 3.3.1 명제의 유효성

RFID 시스템의 문제 중 하나는 환경 조건에 민감하다는 것이다. 주위에 금속 등이 있을 경우 RF 신호는 반사된다. 인식률은 신호가 수신되는 각도에 따라 매우 다양해 질 수 있고 장애물이 있을 경우 산란되거나 지연 도달하여 인식률이 떨어질 수 있다. 그러나 최소의 간섭이 있을 때 명제 1은 참이 된다. 실제로 최근 Nikitin의 연구 [17]에서는 거리와 인식률에 관한 관계를 설명하고, RFID 시스템의 환경에서 인식률은 리더와 태그간의 거리를 나타낼 수 있음을 증명했다. 또한 Wilson의 [18]에서도 리더와 태그간의 거리가 늘어나면 인식률이 감소한다는 것을 실험하여 설명한 바 있다. 다시 말해 거리가 멀어짐에 따라 인식률이 감소한다는 명제 1은 유효하다. 하지만 명제 1은 사용하는 리더와 태그 장비들에 의존적이기 때문에 명제 1의 유효성을 확인하기 위해 제4장의

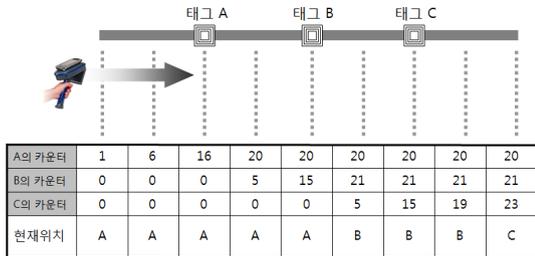
시스템 구현에 사용된 장비로서 실험을 수행하였다. 실험은 리더의 위치를 고정하고 리더와의 거리가 각각 다르게 태그들을 배치하여 약 30초간 인식 횟수를 누적하였다. 표 1은 이 실험의 결과를 나타내며 실제 환경에서도 명제 1이 만족된다는 것을 확인할 수 있었다.

**[표 1]** 거리에 따른 인식횟수 실험 결과 1

	태그 1	태그 2	태그 3
리더와의 실제 거리(Cm)	3	1	6
인식횟수	32	46	6

**3.3.2 거리 추정의 문제**

명제 1의 유효성이 성립되었음에도 불구하고, 만약 태그의 인식 횟수를 단순 누적 시킨다면 예상하는 결과를 얻지 못할 수 있다. 왜냐하면 단순한 카운터로는 리더의 움직임을 반영할 수 없기 때문이다. 그림 2는 이러한 문제점을 설명하는 그림이다. 이 예에서는 리더가 왼쪽에서부터 오른쪽으로 이동하면서 태그의 인식 횟수를 누적시킨다. 그러나 리더가 태그 B를 지나갈 때 가장 가까운 태그가 태그 B임에도 불구하고 인식횟수가 가장 큰 태그 A가 현재 셀(참조태그)로 결정 된다. 이는 모든 태그의 인식횟수를 단순 누적할 때에 과거에 인식한 것과 최근에 인식한 것을 구분하지 못하기 때문이다. 리더가 태그 C 앞을 지나갈 때도 동일한 문제가 발생한다. 따라서 이러한 이동성을 반영할 수 있는 방법이 필요하다.



**[그림 2]** 단순한 누적횟수를 사용한 위치파악

**3.4 에이징 카운터를 이용한 거리 추정**

앞서 언급한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 인식횟수를 이용해 상대적인 거리를 측정하는 방법에 이동성을 반영할 수 있는 방법으로 에이징 알고리즘[20]을 기반으로 한 에이징 카운터 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 인식 횟수를 기억하기 위해 비트 카운터를 사용한다. 일정한 시간 간격마다, 카운터를 오른쪽으로 시프트(shift)하고 현재 읽은 것에 관한 비트(1=인식, 0=미

인식)를 왼쪽에 덧붙인다. 이로써 비트 카운터 개수(사이즈) 만큼의 최근 기록만 남게 된다. 이 카운터에 인식 비트 값이 없다면 즉, 카운터의 비트 중 1이 없다면 최근에 읽힌 태그가 아니다. 이러한 방식으로 최근에 인식된 태그와 과거에 인식된 태그를 구별할 수 있다. 또한 카운터 내 비트 1의 개수에 따라 카운터의 합이 큰 태그가 카운터 합이 작은 태그보다 리더와 가까운 위치에 있음을 알 수 있기 때문에 이를 이용한 거리 추정도 가능하다. 또한 카운터의 인식비트가 채워지다가 미인식 비트가 채워진다면 즉, 전체 카운터 값이 감소된다면 태그가 리더와 가까워지다가 멀어지는 것을 알 수 있다. 따라서 이를 통해 리더가 이동한다는 사실을 반영할 수도 있다.

표 2는 8비트를 사용하는 에이징 카운터의 비트 분포에 따른 의미의 예이다. 비트 분포 중 ‘10100000’는 비트 분포가 5이상인 경우의 태그보다는 먼 거리에 있음을 나타내며, 인식 비트 값이 왼쪽에 몰려 있기 때문에 인식이 되기 시작한 태그임을 알 수 있다. 또한 카운터 값이 2인 ‘00000101’는 드문드문 인식되던 태그이나 현재는 인식이 되지 않아 0이 삽입되고 있는 즉, 점점 리더의 인식 범위에서 멀어지고 있는 태그임을 알 수 있다.

**[표 2]** 비트 분포에 따른 의미

비트 분포	비트합	의미
11111111	8	매우 가까운 거리
01101011	5	가까운 거리
10101010	4	중간 거리
00000101	2	먼 거리
10100000	2	먼 거리, 리더와 가까워짐
00000001	1	매우 먼 거리, 리더와 멀어짐
00000000	0	과거태그 또는 미인식 태그

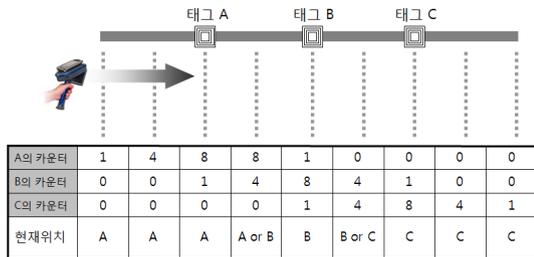
표 3은 표 1과 동일한 상황에서 8비트 에이징 카운터를 사용하여 상대적인 거리를 추정한 결과이다. 태그 2는 실제로 리더와 가장 가깝기 때문에 인식횟수가 가장 크고 태그 3은 리더의 인식 범위 끝에 놓여 있어 거의 인식이 되지 않아 인식횟수가 0이다. 에이징 카운터의 인식 횟수는 최근 8번의 기록만 유지하기 때문에 최대 8을 넘지 않는다.

[표 3] 거리에 따른 인식횟수 실험 결과 2

	태그 1	태그 2	태그 3
리더와의 실제 거리(Cm)	3	1	6
인식횟수	5	7	0

### 3.5 셀(셀태그)의 결정

에이징 카운터 위치추정에서는 3.4절에서 설명한 에이징 카운터의 비트 값을 이용해, 이동함에도 불구하고 가장 가까운 태그를 판단할 수 있고 이를 현재 셀로 결정한다. 그림 3은 8비트 에이징 카운터를 사용하여 현재 위치를 결정하는 예이다. 리더가 왼쪽에서 오른쪽으로 이동함에 따라 현재 위치에서 카운터 값이 큰 태그와 작은 태그를 구별할 수 있기 때문에 현재 셀을 결정할 수 있음을 알 수 있다.

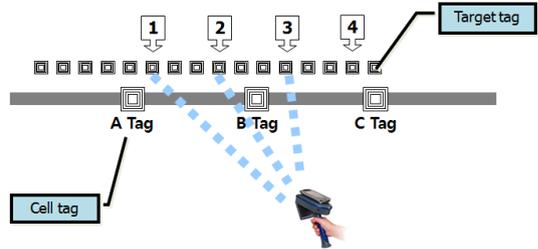


[그림 3] 8비트 에이징 카운터를 사용한 위치 결정

### 3.6 대상 객체의 위치 결정

에이징 카운터를 이용해 셀이 결정 되면 대상태그와의 관계를 결정한다. 대상태그는 여러 셀에서 읽힐 수 있다. 즉 리더의 위치가 다른(옆) 셀로 결정되었음에도 불구하고 동일한 대상태그가 읽힐 수 있다. 따라서 3.2절에서 설명한 함수  $f(ID_{target})$ 를 정의하기 위해  $ID_{target}$ 과 가장 가까운  $ID_{cell}$ 을 결정하는 방법이 필요하다. 그림 4에서 리더는  $ID_{cell}B$ 의 셀에 있으며 대상 1, 2, 3, 4의  $ID_{target}$ 들이 이 범위 내에서 읽힌다고 가정한다. 어떤 대상태그는  $ID_{cell}A$ 와  $ID_{cell}C$ 의 셀 안에서 인식되었을 수 있기 때문에  $ID_{cell}B$ 와 이것들 전부를 연관 지어서는 곤란하다. 따라서 관계를 수립할 때는 대상태그의 에이징 카운터 값이 가장 큰 것을 사용한다. 즉,  $ID_{target}$ 과  $ID_{cell}$ 의 관계가 한번 수립되면 관계 정의를 위해 사용된  $ID_{target}$ 의 에이징 카운터 값을 기록한다. 이후의 스캔에서, 만약 더 큰 값을 갖는  $ID_{target}$ 의 카운터가 나타난다

면 현재 셀의  $ID_{cell}$ 를 이용하여 관계를 수정한다. 예를 들어,  $ID_{cell}A$ 의 셀에서  $ID_{target}2$ 의 카운터 값이 1이면,  $f(2) = A$ 이다. 계속 스캔을 진행하고, 만약  $ID_{cell}B$ 의 범위에서  $ID_{target}2$ 의 카운터 값이 3이 된다면, 함수  $f$ 는  $f(2) = B$ 로 업데이트 된다.  $ID_{cell}C$ 의 범위에 있을 때, 만약  $ID_{target}2$ 의 값이 1이면 함수  $f$ 는 변하지 않고 그대로 남는다. 왜냐하면 카운터 값이 결정된  $f(2)$ 의 현재 값을 초과하지 않기 때문이다. 따라서 2번 태그는 셀 A, B, C 각각에서 인식되지만 셀 B와의 관계에서 가장 큰 에이징 카운터 값을 갖기 때문에 셀태그 B의 위치에 있다고 결정할 수 있다.



[그림 4] 대상태그와 셀태그의 관계 수립

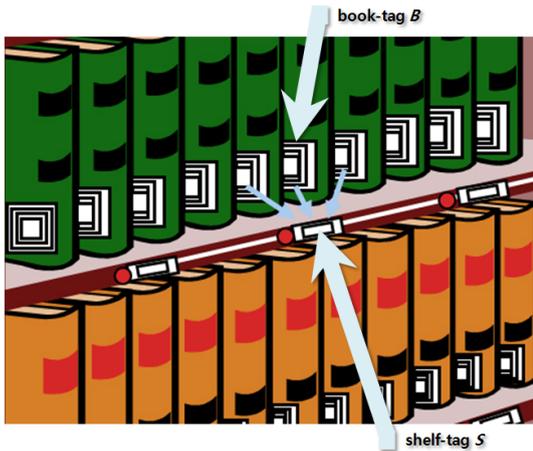
이 방식에서 주의할 점은 다른 곳으로 타겟이 이동된 경우이다. 비록 새로운 스캔 과정이 새로운 관계를 찾아낸다 할지라도 만약 새로운  $ID_{target}$  카운터 값이 현재 관계 정의에 사용한 것보다 작다면 재배치는 반영되지 않는다. 따라서 이러한 문제를 극복하기 위해 본 알고리즘은  $ID_{target}$ 가 읽힌  $ID_{cell}$ 의 집합을 유지한다. 만약  $ID_{target}$ 가 다른  $ID_{cell}$  집합 주변에서 읽힌다면, 알고리즘은 현재  $[ID_{cell}, ID_{target}]$  관계를 버리고 새로운 관계 수립을 시작한다.

## 4. 도서위치추정 시스템 구현

에이징 카운터 위치추정의 유효성 증명을 위해 본 연구에서는 RFID 기반 도서위치 파악 시스템을 구축하였는데, 이 시스템은 도서관내 도서자료의 현재위치를 선반에 부착된 태그를 기준으로 제공할 수 있도록 한 시스템이다. 구체적으로 3장에서 설명한 에이징 카운터를 이용하여, 리더와 가장 가까운 태그를 선택하는 알고리즘의 구현과, 선반태그와 도서태그의 연관관계를 설정하여 도서의 위치를 파악하는 시스템의 구현에 대해 설명한다.

### 4.1 시스템 구성

선반에 놓여있는 도서의 위치를 파악하기 위하여 위치 추정 대상인 각 도서에 태그를 부착하고 위치의 기준이 되는 참조태그는 각 선반에 일정한 간격을 유지하여 부착한다. 그림 5는 위치추정 대상인 도서태그와 셀을 구분 짓는 선반태그를 배치한 그림이다. 고정된 위치의 선반태그를 읽어 들이고 각 선반태그의 범위 안에 있는 도서태그를 구분함으로써, 도서위치추정은 DB에 [선반태그 ID, 도서태그 ID]의 쌍을 구성한다. 따라서 어떠한 도서가 어떠한 선반 주위에 놓여있는지를 파악할 수 있으며 이를 통해 도서의 위치정보를 제공할 수 있다.



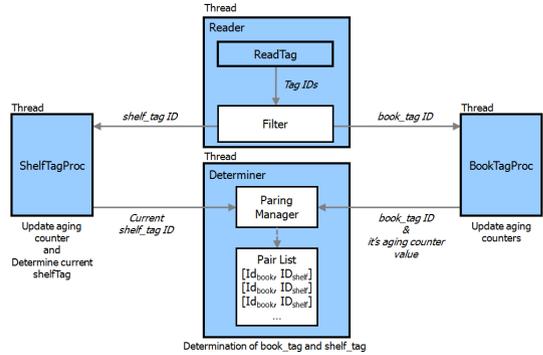
[그림 5] 선반태그와 연관된 도서태그의 배치도

### 4.2 시스템 구현

도서위치추정 시스템 구현을 위해 사용한 RFID 장비는 SkyeTek사의 M1으로서 크기는 약 30mm×48mm, 1.2V~5V 전원과 13.56MHz 주파수 대역을 사용하고 인식범위는 약 75mm 이내이다. 실험에 사용한 위치결정 모듈은 Java 언어를 이용해 구현하였다.

도서의 위치를 결정하기 위한 모듈은 그림 6과 같이 구성된다. 태그 인식 스레드(Reader thread)에서는 인식된 태그들을 선반태그와 도서태그로 분류하여 각각 선반결정(ShelfTagProc) 스레드와 도서위치결정(BookTagProc) 스레드로 전달한다. 선반결정 스레드는 전달받은 선반태그들을 에이징 카운터 알고리즘을 이용해 평가하고 현재 가장 가까운 선반태그의 값을 반환한다. 도서위치결정 스레드는 전달받은 도서태그들을 에이징 카운터 알고리즘을 이용해 현재 리더와 가까운 도서태그들만 분리하고 그 태그들의 위치를 선반결정 스레드에서 결정한 태그로 설정한다. 후에 도서 위치 결정 스레드(Determiner

thread)는 도서태그와 선반태그를 연동한다. 만약 도서태그의 에이징 카운터 값이 이전에 도서태그와 선반태그의 관계 결정에 사용되었던 카운터보다 크다면, 새로운  $[ID_{book}, ID_{shelf}]$  쌍을 생성하여 리스트에 추가한다.



[그림 6] 도서 위치 결정 모듈

다음은 위치 결정 모듈 중 Reader 모듈에 관한 의사코드이다.

```

while(!end-of-buffer)
    filter(readTag)
        if(readTag is shelf tag class)
            send readTag to shelfTagProc;
        else
            send readTag to bookTagProc;
    end filter(readTag)
    
```

다음은 위치 결정 모듈 중 Determiner 모듈에 관한 의사코드이다.

```

var currentShelf
if(The Aging Counter of the bookTag >
    previous association's counter value)
    set bookTag's position <- currentShelf;
    
```

다음은 위치 결정 모듈 중 shelfTagProc 모듈에 관한 의사코드이다.

```

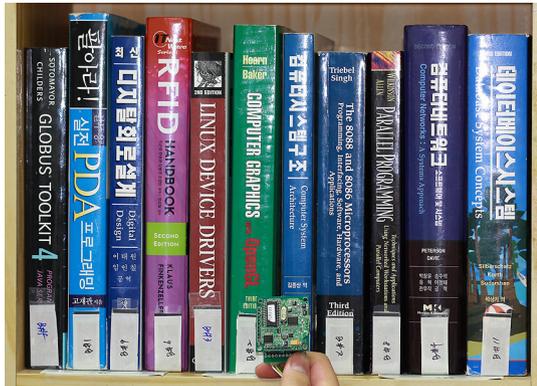
agingcounting(shelfTag)
    bit shift right();
    for the shelfTag, left slot <- '1';
    for all other shelfTag, left slot <- '0';
    shelf determination();
    return currentShelf;
end agingcounting(shelfTag)
    
```

다음은 위치 결정 모듈 중 bookTagProc 모듈에 관한 의사코드이다.

```
agingcounting(bookTag)
    bit shift right();
    for the bookTag, left slot <- '1'
    for all other bookTag, left slot <- '0'
    return bookTag id and
        it's Aging Counter value
end agingcounting(bookTag)
```

### 4.3 에이징 카운터 기반 도서위치추정 시연

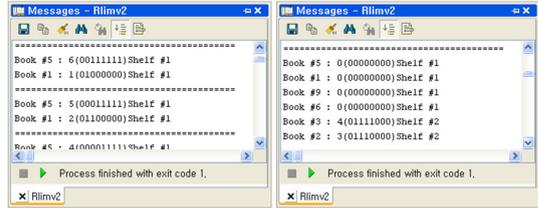
그림 7은 8비트 에이징 카운터를 이용한 도서위치추정 시스템의 시연장면이다. 총 11권의 도서 각각에 14mm×31mm 크기의 태그를 부착하였고 400mm 길이의 선반에는 인식 범위를 고려하여 54mm×85mm 크기의 태그 3개를 부착하였다. 선반에 부착된 선반태그는 왼쪽부터 Shelf #1, Shelf #2, Shelf #3 순으로 배치하였고, 테스트에 사용된 리더/안테나의 성능을 고려하여 이동속도는 약 1cm/초로 하였다.



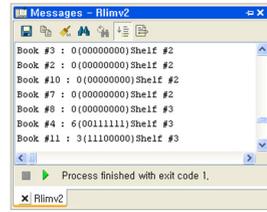
[그림 7] 도서위치추정 시스템 시연

그림 8은 위치추정 진행 과정의 캡처 화면이다. 그림에서 출력되는 메시지의 구조는, "도서태그ID : 에이징 카운터 값(에이징 카운터의 각 비트 값) 선반태그ID"이다. 예를 들어 첫 번째 메시지 "Book #5: 6(00111111) Shelf #1"는 현재 선반태그는 Shelf #1이고 도서태그 Book #5는 이 셀에서 6번 인식되었다는 것을 나타낸다. 만약 이 값보다 큰 에이징 카운터 값을 갖는 다른 선반태그가 등장한다면 도서태그 Book #5의 현재 선반태그는 변경될 것이다. 도서태그의 위치 결정 결과 출력에 대한 혼돈을 막기 위해, 본 시연에서는 선반태그에 대한 에이징 카운터 값 즉, 현재 셀(cell)을 결정하는 과정은 출력하

지 않고 그 결과만 도서태그의 결과를 출력할 때 함께 출력하였다.



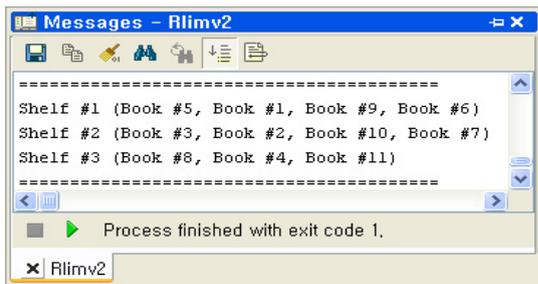
A. At the beginning of the scanning process B. In the middle of the scanning process



C. At the end of the scanning process

[그림 8] 선반 스캔(위치추정) 과정

이 실험에서는, Shelf #1 영역 안에 Book #5, Book #1, Book #9, Book #6을, Shelf #2의 영역 안에는 Book #3, Book #2, Book #10, Book #7을, Shelf #3의 영역 안에는 Book #8, Book #4, Book #11의 도서(도서태그)들이 포함 되도록 배치하였다. 그림 8-A는 스캐닝의 시작 단계로서, Book #5, Book #1, Shelf #1 등이 태그들이 인식되고 있는 과정이며 Book #5와 Book #1은 Shelf #1의 범위에 있다고 결정된다. 그림에서 보는 것과 같이 에이징 카운터는 왼쪽에서부터 오른쪽으로 채워짐을 알 수 있다. 그림 8-B에서 살펴보면 Book #3과 Book #2는 Shelf #2의 범위 내에 있다고 확인된다. 스캐닝의 과정의 끝 부분(그림 8-C)에서 에이징 카운터 값들이 0인 태그들은, 현재 Book #4의 위치에 있는 리더와 거리가 멀기 때문에 더 이상 읽히지 않는 태그들이므로 카운터 값들은 0으로만 채워지고 있다.



[그림 9] 선반 스캔(위치추정) 후의 결과

그림 9는 전체적인 스캔이 종료된 결과를 보여준다. 위치추정 프로세스는 Shelf #1의 범위에 Book #5, Book #1, Book #9, Book #6이, Shelf #2의 범위에 Book #3, Book #2, Book #10, Book #7이, Shelf #3의 범위에 Book #8, Book #4, Book #11이 각각 존재한다고 결정했다. 이 결과에 따라 에이징 카운터 기반의 위치추정 기법이 올바르게 파악됨을 확인 할 수 있다.

## 5. 성능 분석 요소

4장에서 구현한 도서위치추정 시스템은 명제 1의 유효성과 에이징 카운터 알고리즘에 기반을 두고 있다. 본 절에서는 도서위치추정 시스템의 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소들 즉, 명제 1과 에이징 카운터의 동작에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 대해 논함으로써, 보다 안정적인 시스템을 구축할 수 있는 방법에 대해 설명한다.

### 5.1 거리 추정과 연산 환경

일반적으로 리더와 태그간의 거리를 측정하는 것은 어려운 일이다. 리더는 신호의 손실, 감쇠, 다중 경로 전파 등의 무선 신호 전파 특성에 영향을 받으며, 인식률은 주변 환경 상황에 매우 민감하다. 예를 들어 금속 물질이 주변에 있다면 RF 신호는 반사된다. 인식률은 신호가 수신되는 각도에 따라 매우 다양해 질 수 있고 장애물이 있을 경우 산란되거나 지연 도달하여 인식률이 떨어질 수 있다. 그러나 많은 수의 도서관들은 비종속 재질의 서가를 사용하고 있고, 에이징 카운터 위치추정을 위해 스캔하는 작업은 대략 태그와 10cm 내외의 거리에서 이루어지기 때문에 장애물로 인한 방해가 있을 확률은 매우 적다. 따라서 도서관 시스템 환경에서는 이러한 환경 문제가 큰 고려의 대상이 아니다.

### 5.2 스캔 속도와 카운터 크기

위치추정을 위해 스캔하는 속도 또한 중요한 요소이다. 만약 매우 빠른 속도로 스캔해 나간다면 즉, 사용하는 장비의 신호 전송 주기보다 빠르게 이동한다면 에이징 카운터에 적절한 값들이 삽입되지 못할 것이다. 적당한 양의 인식률 정보를 누적하지 않는다면 시스템은 올바른 위치추정 정보를 제공하지 못할 것이다. 반대로 매우 느린 속도로 스캔해 나간다면 만족스러운 결과를 얻을 수 있겠지만 스캔 작업은 시간과 노력이 매우 많이 소모되는 작업이 될 것이다.

카운터의 비트 개수 또한 시스템의 성능에 영향을 끼

친다. 카운터의 사이즈를 늘려 더 많은 비트를 사용해 거리 정보를 표현 한다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있지만 초기 인식과 최근 인식의 구분이 어려워지며, 최근 정보들만을 이용하기 위한 에이징 카운터의 의미를 잃게 된다.

본 연구에서는 적당한 인식률과 카운터 사이즈(비트의 개수)를 찾기 위해 다양한 조합으로 반복 테스트를 수행하였는데, 1cm/초의 이동속도와 8 비트의 에이징 카운터를 사용하면 충분히 적합한 위치추정을 할 수 있음을 파악하였다. 리더는 매 10ms마다 태그를 인식할 수 있도록 프로그램 하였다.

### 5.3 실시간 처리와 비용 효율

스마트 선반을 기반으로 하는 위치추정 시스템[21,22]에 비해 에이징 카운터 위치추정 시스템은 한 가지 단점을 갖는다. R-LIM[21]과 같은 시스템은 선반에 RFID 안테나를 장착하므로 도서를 선반에 올려놓는 것만으로도 도서태그 위치 정보를 얻을 수 있어서 실시간적 위치추정이 가능하다. 에이징 카운터 위치추정 시스템에서는 태그가 스캔되었을 때만 태그 정보가 갱신되므로 실시간 위치추정이 불가능하다. 하지만 도서가 대출을 위해 선반에서 제거되어 이동 중에 있을 때 그 위치를 실시간으로 파악해야 하거나, 대출되는 도서의 현재 위치를 실시간으로 파악해야 하는 등의 상황이 불필요한 경우라면 굳이 모든 선반에 고가의 RFID 안테나를 장착할 필요는 없다.

저렴하게 구축할 수 있는 에이징 카운터 위치추정 시스템은 비실시간적 위치추정 시스템이기는 하지만 스캔이 여러 사람들에 의해 동시에 수행될 수 있고, 또 넓은 인식 범위의 다른 주파수 대역의 장비를 사용하여 더 많은 수의 태그를 동시에 스캔할 수도 있으며, 또는 스캔 작업을 자동화하는 기계적인 장치를 만들 수도 있다. 그러므로 실시간성이 크게 문제되지 않는 경우에 에이징 카운터 위치추정 시스템은 최소의 비용으로 유용한 도서위치추정 서비스를 제공하는 좋은 대안이 될 것이다.

실시간 처리와 비용 효율 중에서 어떤 항목이 더 중요한지는 선택사항이다. 실시간 위치추정이 필요한 경우에는 고비용이지만 스마트 선반을 사용하면 되고, 실시간 위치추정이 불필요하고 저렴한 비용으로 도서위치추정을 하고자 할 때는 에이징 카운터 위치추정 시스템을 적용하면 되므로 사용자에게 두 가지 기준간의 선택을 할 수 있도록 하는 옵션을 제공할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 RFID 태그와 리더만을 이용하여 태그

와 리더간의 거리를 유추할 수 있도록 하는 에이징 카운터를 이용하여 객체의 위치를 추정할 수 있도록 하는 방법을 제안하였다. 또 하나의 거리 비종속(range-free) 추정 방식인 이 방식에서는, RFID 리더로 위치의 기준이 되는 참조태그를 먼저 인식하도록 한 후, 추후 인식되는 대상 태그들이 어떤 참조태그 주변에 존재하는지를 파악할 수 있게 하여, 대상태그 위치를 참조태그 위치와의 관계로 표현할 수 있게 하였다. 이 방법의 유효성은 도서의 위치 파악을 위한 시스템에 적용함으로써 확보되었는데, 이를 위해 어떤 도서태그(위치파악이 필요한 태그)가 어떤 선반태그(위치 기준을 제공하는 참조태그)의 셀 범위에서 포함되는지의 여부를 파악하는 것을 기반으로 하는 에이징 카운터 위치추정 시스템을 구축하였다. 셀 검출을 위해서는 태그의 인식빈도를 통해 가장 가까운 셀을 결정할 수 있는 에이징 카운터 알고리즘을 제안하였다. 구현된 시스템의 테스트결과, 기준이 되는 선반태그를 중심으로 어떠한 도서태그들이 인식되는지를 잘 파악할 수 있어서 이 시스템의 유효성을 증명할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 유홍렬, 김태근, “이동통신망을 이용한 무선측위 기술 개발 동향,” *전파진흥*, 한국전파진흥협회, 1999. 8.
- [2] Public Notice, CC Docket No. 94-102, "WIRELESS TELECOMMUNICATIONS BUREAU PROVIDES GUIDANCE ON CARRIER REPORTS ON IMPLEMENTATION OF WIRELESS E911 PHASE II AUTOMATIC LOCATION IDENTIFICATION," Federal Communications Commission, 2000.
- [3] 안효성, 이재영, 유원필, 한규서, “지능형 로봇 공간을 위한 실내 측위기술,” *전자통신동향분석*, 22권, 2호, pp. 48-57, 2007. 4.
- [4] 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, “실내의 연속측위 기술 동향,” *전자통신동향분석*, 22권, 3호, pp. 22-28, 2007. 6.
- [5] 김성희, 김재호, 배정숙, 김대식, “유비쿼터스 네트워크 기반 서비스 기술,” *전자공학회지*, 30권, 11호, pp. 89-101, 2003. 11.
- [6] 박종현, 김문구, 백종현, “위치기반서비스(LBS)의 산업 구조 분석 및 시장개발전략방향,” *한국통신학회지*, 20권, 4호, pp. 92-102, 2003. 4.
- [7] B. H. Wellenhoff, H. Lichtenegger and J. Collins, "Global Positioning System: Theory and Practice," Fifth Edition. Springer Verlag, 382, 2008.
- [8] HunterPro, www.hunterpro.com
- [9] 백호기, 이지혜, 임재성, “LBS를 위한 무선 노드 위치 인식 기법,” *한국통신학회지*, 24권, 12호, pp. 56-64, 2007. 12.
- [10] KO, Y., AND VAIDYA, N., "Location-aided routing in mobile ad hoc networks," In *Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on MobiCom '98*, pp. 307-321, Aug. 1998.
- [11] V. Navda, A. P. Subramanian, K. Dhanasekaran, A. Timm-Giel, and S. R. Das, "MobiSteer: Using Steerable Beam Directional Antenna for Vehicular Network Access," In *Proceedings of the Fifth International Conference on MobiSys*, pp. 192-205, Jun. 2007.
- [12] L. Lazos and R. Poovendran, "SeRLoc: Secure range-independent localization for wireless sensor networks," In *Proceedings of the 2004 ACM Workshop on Wireless Security*, pp. 21-30, 2004.
- [13] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Sensing Techniques," *IEEE Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.
- [14] Kurt Partridge, Larry Arnstein, Gaetano Borriello, and Turner Whitted, "Fast intrabody signaling," Demonstration at WMCSA, Dec. 2000
- [15] Krzysztof W. Kolodziej, Johan Hjelm, "Local Positioning Systems: LBS Applications and Services," CRC press, 488, May 2006.
- [16] Tian He, Chengdu Huang, Brian M. Blum, John A. Stankovic, and Tarek Abdelzaher, "Range-free localization schemes for large scale sensor networks," In *Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 81-95, Sept. 2003.
- [17] P.V. Nikitin and K.V.S. Rao, "Performance limitations of passive UHF RFID systems," In *Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Symposium*, pp. 1011-1014, 2006.
- [18] P. Wilson, D. Prashanth, and H. Aghajan, "Utilizing RFID Signaling Scheme for Localization of Stationary Objects and Speed Estimation of Mobile Objects," In *Proceedings of IEEE International Conference on RFID*, pp. 94-99, 2007.
- [19] Jung-Wook Choi, Dong-Ik Oh, and Il-Yeol Song, "R-LIM: an Affordable Library Search System Based on RFID," In *Proceedings of the 2006 ICHIT*, pp. 103-108, Nov. 2006.
- [20] L.R. Bryant, R.J. Pedersen, and A. Weinberger, "Circuit for implementing a modified LRU replacement algorithm for a cache," US Patent 4,008,460, Patent and Trademark Office, Issued Feb. 1977.

- [21] 최정욱, 오동익, “RFID 기술을 적용한 도서관리 및 검색 솔루션 개발,” *한국산학기술학회 논문지*, 제6권, 제4호, pp. 105-109, 2005.
- [22] Xianming Qing, Zhi Ning Chen, and Ailian Cai, “Multi-loop antenna for high frequency RFID smart shelf application,” In *Proceedings of IEEE International Symposium on Antennas and Propagation Society*, pp. 5467-5470, 2007.

---

**최 정 욱**(Jung-Wook Choi)

[정회원]



- 2003년 2월 : 순천향대학교 컴퓨터학부(공학사)
- 2005년 2월 : 순천향대학교 전산학과(공학석사)
- 2009년 8월 : 순천향대학교 컴퓨터학과(공학박사)
- 2009년 11월 ~ 현재 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 박사후연구원

<관심분야>

위치추정, 운영체제, 유비쿼터스 컴퓨팅

---

**오 동 익**(Dong-Ik Oh)

[정회원]



- 1985년 7월 : 뉴욕시립대학교 전산학 (이학사)
- 1989년 7월 : 플로리다 주립대학교 전산학 (이학석사)
- 1997년 7월 : 플로리다 주립대학교 전산학 (이학박사)
- 1997년 2월 ~ 현재 : 순천향대학교 의료IT공학과 교수

<관심분야>

RFID, u-Healthcare 시스템, USN, 임베디드 시스템, 운영체제