



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

SDT
621.384
이 670
=2

공학 석사 학위 논문

Radio Interferometric 기반
능동형 RFID 위치확인 시스템의
설계 및 구현

지도교수 백 윤 주

2007년 2월

부산대학교 대학원

컴퓨터공학과

이 윤 현

3064846

이웅현의 공학 석사 학위 논문을 인준함

2006년 12월 8일

위원장

김 길 용

위 원

김 정 구

위 원

백 윤 주



<목 차>

1. 서론	1
2. 관련 연구	6
2.1. RFID 기술	6
2.1.1. RFID 기술의 개요 및 분류	6
2.1.2. 433 MHz 능동형 RFID 태그	10
2.2. 위치인식 기법	10
2.2.1. TOA(time of arrival)	11
2.2.2. TDOA(time difference of arrival)	11
2.2.3. AOA(angle of arrival)	12
2.2.4. ROA(RSSI of arrival)	12
2.2.5. RI(Radio interferometric)	13
2.3. RILS의 설계 및 구현 고려 사항	16
3. RILS 설계	18
3.1. Radio interferometric 위치확인	18
3.1.1. RIPS의 위치확인 기법과 그 문제점	18
3.1.2. RILS의 위치 확인기법	22
3.2. 전체 시스템 설계	25
3.2.1. 기본 시스템 구조	25
3.2.2. 확장 시스템 구조	27
3.3. 세부 시스템 구조	28
3.3.1. RILS를 위한 자료구조	28
3.3.2. 수집된 데이터 전송을 위한 라우팅 기법	30
4. RILS 구현 및 실험	31

4.1. RILS 구현	31
4.1.1. RILS를 위한 능동형 RFID 태그	32
4.1.2. Sink 시스템 구현	34
4.1.3. 서버 시스템 구성	35
4.2. 실험 및 성능 평가	36
4.2.1. 간섭주파수 생성을 위한 주파수 설정	37
4.2.2. 위치에 따른 RSSI 값 측정 및 오차	38
4.2.3. RSSI값을 상대적 위상차이 값으로 변환 및 오차 ..	40
4.2.4. 상대적 위상 차이 값을 d_{ABCD} 로 변환 및 오차	42
4.2.5. 위치 확인 프로그램의 정확도	43
4.2.6. d_{ABCD} 환산 오차에 따른 위치 확인 오차	45
4.2.7. 전체적인 위치 확인 정확도	46
5. 결론 및 향후 연구 방향	47

<표 차례>

[표 1] EPC-global RFID 태그 구분 [6]	9
[표 2] Topology 구성 및 주파수 설정을 위한 자료구조	28
[표 3] 시각동기화를 위한 자료구조	29
[표 4] 수집된 데이터 전송을 위한 자료구조	29
[표 5] 능동형 RFID 태그 하드웨어 구성	32

〈그림 차례〉

[그림 1] RFID 시스템 개념도	8
[그림 2] 신호를 이용한 두 지점간의 거리 측정	13
[그림 3] 간섭신호 생성을 위해 발생시키는 주파수	14
[그림 4] 수신 되는 합성 주파수	14
[그림 5] 고성능의 하드웨어에서 수신한 간섭신호	15
[그림 6] 능동형 RFID에서 측정한 간섭신호	16
[그림 7] RIPS의 기본구성	19
[그림 8] 여러 주파수에서 측정한 에서 n 구하기	20
[그림 9] 쌍곡선의 정의	23
[그림 10] \pm 값에 따른 쌍곡선의 선택	23
[그림 11] 쌍곡선을 이용한 위치 확인 방법	24
[그림 12] RILS 기본 시스템 구조	26
[그림 13] RILS 확장 시스템 구조	27
[그림 14] RILS의 위치확인 순서	31
[그림 15] 능동형 RFID 태그의 하드웨어	32
[그림 16] 태그 응용 프로그램 순서도	33
[그림 17] 싱크 시스템의 하드웨어	34
[그림 18] 싱크 응용 프로그램 구조도	35
[그림 19] 서버 응용 프로그램 순서도	36
[그림 20] 서버 응용 프로그램의 GUI	36
[그림 21] 간섭 신호 발생을 위한 주파수 설정	38
[그림 22] 노이즈 값이 섞인 RSSI 측정 결과	39
[그림 23] 노이즈 값을 배제한 후의 RSSI 측정 결과	39
[그림 24] 두 개의 태그에서 측정한 RSSI 신호	40
[그림 25] d_{ABCD} 값에 따른 상대적 위상차이	41
[그림 26] 위상차를 d_{ABCD} 값으로 변환 시 오차 값의 분포	42
[그림 27] 위치 확인 프로그램 자체의 위치 계산 오류	43
[그림 28] 위치확인 프로그램상의 오차 원인	44
[그림 29] d_{ABCD} 환산 오차에 따른 위치 확인 오차	45
[그림 30] 실제 위치 측정 환경	46

1. 서론

최근 몇 년 사이 IT 선진국을 중심으로 기존의 바코드를 대체하기 위한 기술로 RFID(radio frequency identification)에 대한 관심과 투자가 증가하고 있다. 우리나라 역시 정부의 주간하에 IT839 정책 중 9대 성장 동력 군에 RFID/USN(ubiquitous sensor network)을 지정하여 연구 개발을 본격화하고 있으며, 물류 자동화 등을 위해 많은 투자가 이루어지고 있다.

RFID 기술은 사물에 전자태그를 부착하고, 각 사물에 할당된 고유 ID를 무선으로 인식하여, 해당 정보를 수집, 저장, 가공, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 처리, 관리 및 사물 간 정보교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다 [1]. RFID 기술은 물류 분야, 판매, 정보 유통, 식품, 금융, 교육, 문화 등 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다.

RFID 기술의 국제 표준은 국제 표준화 기관인 ISO/IEC와 민간 표준화 기구인 EPC-global에서 지속적으로 추진하고 있고, 응용에 대해서도 표준화를 진행하고 있다.

RFID 기술은 태그의 전원의 유무, 사용 주파수 대역, 주파수 방식 (air interface), 태그 모양 등에 따라 여러 가지 분류 방법이 있는데, 이중 태그의 전원의 유무에 따라 크게 수동형 RFID 시스템과 능동형 RFID 시스템으로 구분할 수 있다.

수동형 RFID 시스템은 각 RFID 태그가 배터리로부터 전원을 공급받는 것이 아니라 리더에서 보내오는 전파를 변형하여 데이터의 처리 및 데이터를 전송하는 방식을 따른다. 이런 전원공급의 한계성 때문에 10m 이하의 단거리 환경에서만 적용할 수 있다. 1\$ 미만의 저가격에 소형으로 제작이 가능하며 물류 관리, 교통, 상거래 등과 같이 대단위 숫자의 물품을 다루는 응용에 사용되고 있다.

수동형 RFID 시스템과 반대로 능동형 RFID 시스템은 각 RFID 태그가 별도의 배터리를 소유하고 있다. 자체 배터리를 소유 하고 있음으로 해서 수동형 RFID 태그보다 많은 저장 공간의 활용, 데이터 처리속도의 고속화, 정보 보안 등의 많은 이점이 있으며, 환경변수를 고려할 수 있도록 센서와 결합을 할 수 있다. 특히 내장 배터리를 이용한 장거리 데이터 전송은 100m - 200m의 장거리 전송이 가능함으로 항만 물류 환경에서 컨테이너에 부착되어 사용되고 있다. 그러나 별도 배터리에 의해서 태그의 크기가 커지고, 수명제한이 있으며 상대적으로 고가라는 단점이 있다.

일반적으로 능동형 RFID 태그는 433MHz와 2.4GHz의 주파수 대역을 사용하는데, 이 중 433MHz 주파수 대역의 능동형 RFID는 ISO/IEC 18000-7 [2]에서, 2.4GHz 주파수 대역의 능동형 RFID는 ISO/IEC 18000-4에서 각각 무선 규격을 제정하고 있으며, 이의 시험 방법 및 API 등에 대한 표준은 계속해서 진행 중이다.

433MHz 능동형 RFID는 다른 주파수 대역을 사용하는 RFID에 비해 뛰어난 인식거리와 인식률, 방향성을 가지고 있어 주로 항만이

나 물류 기지에서 컨테이너나 팔레트 관리에 사용되고 있으며 더욱 많은 분야에 사용하기 위해 활발한 실험이 이루어지고 있다. 이러한 433MHz 능동형 RFID 응용의 하나로 능동형 RFID 태그가 부착되어 있는 대상의 위치를 확인할 수 있는 기법들이 연구되고 있다.

위치 확인을 위한 기법은 여러 종류가 있다. 이들 중 전파의 성질을 이용하는 기법에서는, 전파의 도달 시간차를 이용하는 TDOA(time difference of arrival) 방식과 송신 전파의 강도를 사용하는 ROA(RSS of arrival)의 두 가지 범주 내의 위치확인 방법이 주로 다루어졌다.

본 논문에서는 RILS(radio interferometric locating system) 이라고 하는 전파의 radio interferometric 기법을 이용하여 위치를 확인하는 시스템을 설계 및 구현하고자 한다. Radio interferometric 기법은 신기술이 아닌 타 분야에서 많이 연구되고 있는 기술 중 하나이다. 이미 1930년대부터 천문학자들에 의해서 사용되어 왔고[3][4], 2차 세계대전 후에 많은 발전을 이루어왔다. 새로운 은하계를 찾아내는 방법으로 전파천문학자들에 의해 각광받고 있으며, GPS의 출현으로 GPS의 위치확인에 중요한 위치를 차지하고 있다.

Radio interferometric 기법을 능동형 RFID에 적용할 경우 TDOA 방식에서 문제가 되는 매우 정밀한 시각 동기화가 크게 문제가 되지 않으며, 거리에 따른 신호강도 차이를 이용하는 ROA 방식보다 정밀한 위치 확인이 가능해진다.

위치확인 시스템은 GPS와 같은 고가의 장비를 적용하여야 하거나, LOS(line of sight)가 보장이 되어야 하는 기술도 있으며, 추가적인 하드웨어를 요구하기도 하는, 방식에 따른 여러 가지의 요구 들이 있다. radio interferometric 기법은 추가적인 하드웨어를 필요로 하지 않으며 위치확인의 성능 역시 높다.

현재까지 radio interferometric 기법을 이용한 위치확인 시스템에 대한 연구는 국내에서는 전혀 없는 형편이며, 바로 응용할 수 있는 능동형 RFID를 이용한 radio interferometric 위치확인 시스템 역시 설계나 구현이 전혀 이루어지고 있지 않다.

본 논문에서 구현하고자 하는 RILS(radio interferometric locating system)를 위하여, radio interferometric 기법을 사용하기 위한 기본적인 이론에 대하여 연구하고, 기존의 radio interferometric을 이용한 위치확인 시스템의 문제점을 분석한다. 이런 문제점을 해결하기 위한 방법을 제시하고, 기존의 능동형 RFID에 추가적인 하드웨어를 부착하지 않고 시스템을 설계하고자 한다. 이때, 능동형 RFID 태그의 역할에 따른 구성을 하는 데이터 구조를 고려하여, 차후에 연구 될 대단위 숫자의 능동형 RFID 필드 내에서 본 기법이 사용될 수 있도록 확장성을 고려하여 설계하고, 이를 위한 방법론 또한 설명한다. 이러한 설계 내용을 바탕으로 실제적인 사용이 가능한 능동형 RFID 태그의 하드웨어 플랫폼에 맞추어 응용 프로그램을 구현하고 나서, radio interferometric 기법을 이용하여 태그의 위치를 계산할 것이다.

Radio interferometric 기법은 두 개의 주파수 간에 발생하는 신호를 이용함으로, 실제적인 신호 측정을 해보고, 실험 환경을 구축한다. 이를 이용하여 태그의 위치를 계산하고, 그 정확도에 대해서 알아볼 것이다. 추가로 태그 위치 계산 기법을 적용할 시에 나타나는 기본적인 정확도 차이에 대해서 시뮬레이션을 수행하고, 하드웨어적인 측정 오류에 따라서 나타나는 위치 확인의 정확도 차이에 대해서도 시뮬레이션을 수행 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 RFID 기술의 개요와 분류에 대해 살펴보고, radio interferometric 기법에 대한 기존의 연구에 대해서 언급한다. 3장에서는 radio interferometric 기법에서 사용되는 위상 차이를 이용한 위치확인 방법론의 수학적 배경을 설명하고, 본 논문에서 제안하는 radio interferometric 기반 능동형 RFID 위치확인 시스템의 기본적인 RILS(radio interferometric locating system) 시스템의 설계를 보이고, RILS의 확장 시스템에 대한 설계를 제시한다. 4장에서는 설계한 시스템을 실제 구현한 내용과 실제 환경에서 설계한 RILS 시스템의 성능을 평가하고, 시뮬레이션을 통한 위치확인 프로그램의 성능을 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 언급하고 논문의 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

이번 장에서는 관련 연구로서 기본적인 RFID 기술과 433MHz 능동형 RFID 태그에 대해 알아본다. 그리고 radio interferometric 방법의 기본적인 원리를 간단히 설명한 후 기존의 센서 네트워크를 위한 radio interferometric positioning에 대한 연구를 살펴본다. 마지막으로 radio interferometric 기반 능동형 RFID 위치확인 시스템인 RILS(radio interferometric locating system)의 설계와 구현에 고려해야 할 사항에 대해 알아본다.

2.1. RFID 기술

2.1.1. RFID 기술의 개요 및 분류

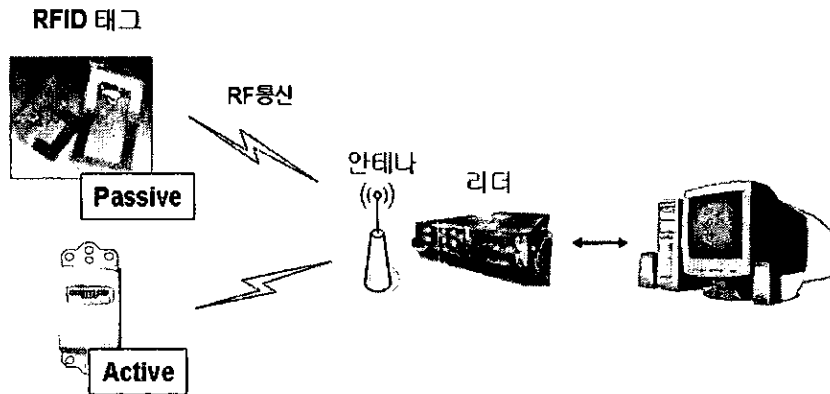
RFID 기술은 각 사물에 전자태그를 부착하고, 사물의 고유 ID를 무선으로 인식하여, 해당 정보를 수집, 저장, 가공, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 처리, 관리 및 사물 간 정보교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다 [1]. 다음은 RFID 기술의 응용 분야를 나타낸 것이다 [5].

- 물류 분야 : 물류 관리, 일반 택배, 컨테이너, 우편
- 판매 유통 : 상품 관리, 고객 관리
- 정보 유통 : 포스터, 광고
- 도로 교통 : 항공·철도 여객 지원, 위치정보
- 식품 : 상품 이동 경로 추적, 식품 자동 관리 및 구매 유도

- 금융 : 지폐 · 유가증권의 위조 방지
- 의료 · 약품 : 의료 · 약품 복용 지원, 약품 관리
- 환경 : 폐기 및 재활용
- 교육 · 문화 : 도서 관리, 교육 콘텐츠 관리, 문화재 보고

나열한 응용 분야 외에도 RFID 기술은 계속해서 그 사용 범위를 넓혀가고 있으며 가까운 미래에 사회 대부분의 분야에서 활용될 전망이다.

이렇듯 RFID 기술이 각광받는 이유는, 기존의 기술보다 훨씬 우수한 성능을 보여주고 있기 때문이다. 기존의 비접촉식 기술인 바코드는 사물을 투과하여 인식이 불가능하고, 약 4초간의 인식속도와 최대 50cm의 인식 거리, 그리고 95% 이하의 인식률을 가지고 있어 아주 낮은 성능을 보여주었다. 그러나 RFID 기술은 이러한 단점들을 개선하여 금속을 제외한 대부분의 장애물을 통과할 수 있고 빠른 0.1초 이하의 빠른 응답속도와 최대 27m의 인식거리, 그리고 99.9% 이상의 인식률을 보여주고 있다.



[그림 1] RFID 시스템 개념도

RFID 시스템은 [그림 1]에서 보듯이 크게 대상 사물에 부착하는 태그(tag), 태그의 정보를 식별하는 리더(reader), 그리고 수집된 데이터를 관리하는 미들웨어 또는 응용 소프트웨어로 구성된다.

RFID의 국제 표준은 국제 표준화 기관인 ISO/IEC와 민간 표준화 기구인 EPC-global의 두 기관에서 지속적으로 추진하고 있으며 여러 가지 응용 표준도 제정 중이다.

RFID 태그는 전원의 유무, 사용 주파수 대역, 기록 가능 여부, 리더-태그 사이의 주파수 방식(air interface), 태그 모양 등에 따라 여러 가지로 분류할 수 있다. 최근 EPC-global에서 제시한 RFID의 다양한 특징 및 용도를 기준으로 class 0부터 class 5까지 6단계로 구분하여 각각의 특성을 말하고 있다.

[표 1] EPC-global RFID 태그 구분 [6]

구분	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
개요	제조사입력/ 읽기전용	사용자입력/ 읽기전용	읽기쓰기가능/ 수동형	반수동형/ 읽기쓰기가능	능동형/읽기 쓰기 가능	능동·독립형/ 읽기쓰기가능
능동/수동	수동형			반수동형	능동형	
읽기/쓰기	읽기 전용		읽기 쓰기 가능			
전송성공률	낮다			높다		
배터리	없음			리튬/마그네슘 전지		전원확장성
수명	길다		짧다	길다		
도달거리	짧다		길다	중간	길다	
무선망 네트워크	가능 없음					네트워크구성 가능

RFID 태그의 여러 분류 방법의 하나로 배터리의 사용 여부에 따라 수동형, 반 수동형, 능동형으로 구분할 수 있다.

수동형 RFID 태그는 별도의 배터리가 없이 동작하며 전원은 리더로부터 송출되는 전자파를 정류하여 생성시킨다. 배터리를 사용하지 않기 때문에 보통 10m 이내의 근거리 통신용으로 사용되고 구조가 비교적 간단해 소형화, 저가의 구현이 가능하다. 일반적으로 물류 관리나 교통, 전자 상거래 등에 사용되고 있다. 반 수동형 RFID 태그는 배터리를 가지고 있지만 리더로부터 신호를 받을 때까지는 동작을 하지 않는 태그다. 따라서 오랜 시간 동안 사용할 수 있으며 지속적인 추적이 필요하지 않은 제품에 사용된다. 능동형 RFID 태그는 자체적으로 내부 배터리 및 송신 장치를 내장하고 있어 자체 무선 주파수의 송신과 장거리의 데이터 전송이 가능하고 센서와 결합을 할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 433MHz, 860MHz~960MHz의 극초단파 대역과 2.4GHz의 마이크로파 대역에서 사용할 수 있지만 인식률과 도달 거리의 우수함으로 인해 433MHz 대역이 주로 이용된다.

2.1.2. 433 MHz 능동형 RFID 태그

433MHz 능동형 RFID 태그는 ISO/IEC 18000-7 [2]에서 무선 규격을 제정하고 있으며, 이의 시험 방법 및 API 등에 대한 표준은 계속해서 진행 중이다. 433MHz 능동형 RFID 태그는 433.92MHz의 중심 주파수와 FSK(frequency shift keying) 변조 방식을 사용한다. 그리고 100m 이상의 긴 인식거리를 가지고, 다른 주파수에 비해 인식률과 방향성이 우수하여 금속이나 수분 등의 환경에서도 사용할 수 있다. 통신에서는 1대 1의 직접적인 통신 및 주위의 모든 리더에게 브로드캐스팅이 가능하다.

433MHz 능동형 RFID 태그는 공항이나 항만의 팔레트 및 화물 컨테이너의 관리, 물류·유통 분야, 군수 분야 등에서 대상의 관리나 추적 시스템에 적용되어 사용되고 있다.

2.2. 위치인식 기법

사물의 위치를 측정하기 위한 연구가 다방면에서 진행되고 있다. 위치 확인을 위한 기법은 여러 종류가 있다. 이런 기술들을 크게 분류해 보자면, 두 지점간의 거리를 측정하는 distance based 계열의 기술들과 반대로 거리를 측정하지 않는 distance free 계열의 위치확인 방식으로 분류를 할 수 있다. Distance based 계열의 기술은 그렇지 않은 기술보다 상대적으로 위치확인 정밀도가 높다. 이런 distance based 계열의 기술에는 TOA(time of arrival), TDOA(time difference of arrival), AOA(angle of arrival), RSSI(receive signal strength indicator) 그리고 RI(radio interferometric)와 같은 기법들이 있다.

2.2.1. TOA(time of arrival)

TOA(time of arrival) 방식은 가장 간단한 원리를 이용한 위치 확인 방식이다. 약속된 시간에 전송이 시작된 신호를 수신하는 위치에서 얼마 후에 신호를 받았는지를 측정, 신호의 속도를 이용하여 두 지점간의 거리를 계산 한다. 기본적인 원리는 매우 간단하지만 이런 TOA방식의 위치확인을 하기 위해서는 두 지점이 매우 정확한 시각 동기가 이루어져 있어야 한다. 시각 동기는 그 정밀도를 높이기 위해서 매우 고성능의 하드웨어가 필요하거나 또는 시각 동기를 이루려고 하는 노드 간에 아주 많은 수의 제어 명령의 교환이 필요하다.

2.2.2. TDOA(time difference of arrival)

위치확인을 위한 기법 중 TDOA는 둘 이상의 정해진 신호를 주기적으로 발생하는 소스와 그 신호를 받아들이는 노드로 구성되어 진다. 주기적으로 발생하는 신호는 빛, 전파, 소리 등이 될 수 있는데 신호를 받아들이는 노드의 위치에 따라서 해당 신호의 전파 속도에 따라서 읽히는 시간의 차이를 이용하는 방식이다. 방식 자체가 도달하는 신호의 시간차를 이용하기 때문에 TOA에 비해서 정밀한 시각 동기가 요구되지는 않는다. 하지만 두 개 이상의 신호의 도착 시간차를 이용해야 한다는 것 자체가 의미하는 바대로 수신자와 송신자 모두 두 종류의 신호를 발생시키고 수집할 수 있는 하드웨어가 필요하다.

2.2.3. AOA(angle of arrival)

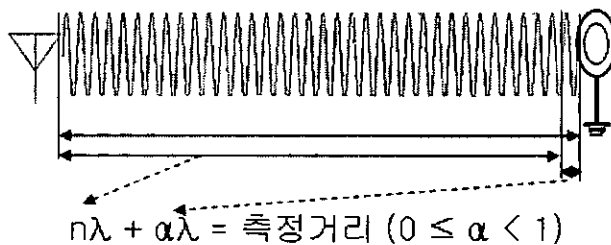
AOA(angle of arrival) 방식은 신호의 입사각을 측정하는 위치 확인 방식이다. 여러 위치를 아는 노드로부터 전송되어 지는 각각의 구분이 가능한 신호를 방향성을 가지고 있는 안테나가 수신을 해서 어떤 각도에서 어느 노드의 신호가 들어왔는지를 종합해서 위치를 판단한다. AOA방식을 이용하기 위해서는 방향성이 있는 안테나와 그 안테나를 회전시켜줄 물리적 장치가 필요하다.

2.2.4. ROA(RSSI of arrival)

다음으로, ROA 기법을 이용한 위치확인 방법은 전송 신호의 전송 거리에 따른 자연적인 감쇠 현상을 이용하는 방법이다. 환경적 영향에 따라서 전송되는 신호의 강도는 선형적 혹은 log 지수 적으로 감쇠를 하게 된다. 요즘 개발되고 있는 RF 칩의 대다수는 전송 받은 신호의 RSS(received signal strength)를 디지털적인 값으로 변환해주는 회로를 가지고 있다. 이것을 이용하여 위치를 아는 셋 이상의 노드에서 순차적으로 신호를 발생시켜 위치를 추적하고자 하는 노드에서 그 신호를 분석하여 신호의 감쇠 정도에 따라서 노드의 위치를 확인하는 방법을 사용한다. 능동형 RFID 를 위한 ROA를 이용한 기법은 많은 연구가 진행되고 있다[7]. 신호는 날씨에 의한 영향, 중간 장애물과 다중경로 효과에 의한 영향, 간섭 신호에 의한 영향 등의 여러 가지 이유로 정확한 값을 얻어 내기가 매우 힘들다. 그리하여 TOA, TDOA, AOA 와 같은 하드웨어적으로 거리를 계산하는 방식에 비해서 위치 확인의 정확도가 떨어지는 편이다.

2.2.5. RI(Radio interferometric)

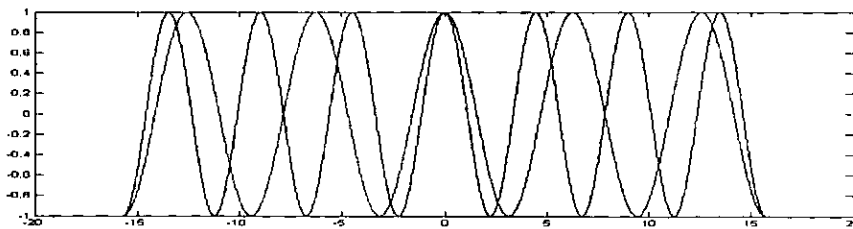
일반적인 radio interferometry는 물리학, 지리학, 천체관측 등의 많은 응용 분야에서 사용되고 있다. 기존의 방식은 두 개의 방향성 안테나로 하나의 전파 발생원이 발생하는 신호를 측정하여 측정된 두 전파 간의 상관관계를 계산하는 방식이다. 이를 통해서 멀리 떨어져 있는 물체나 거대 물체의 외관을 라디오 영상으로 표현할 수 있고, 또한 두 수신자의 위치와 상관관계를 계산하면 매우 정확하게 전파 발생원과의 거리를 측정해 낼 수 있다[3][4]. 하지만, 기존의 방식은 매우 고가의 장비를 필요로 하고, 고속의 측정 시스템을 요구하며 방향성 안테나와 그 안테나를 움직일 수 있는 장치 또한 필요로 한다. 그런 이유 때문에 저가 구현을 목표로 하는 능동형 RFID 태그에는 바로 적용하기에 무리가 있다.



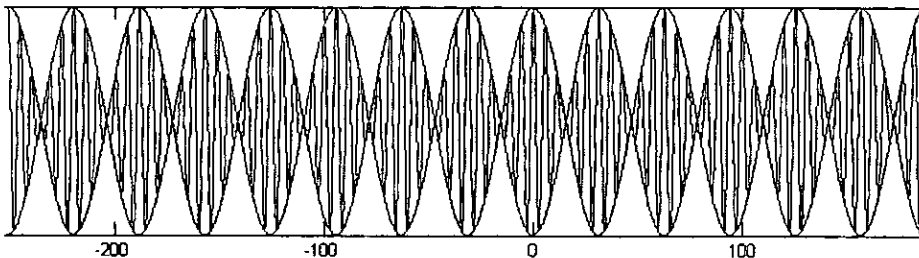
[그림 2] 신호를 이용한 두 지점간의 거리 측정

Radio Interferometric Geolocation[8]에서는 이러한 radio interferometric 기법의 구현장해를 극복하고자 별도의 방향성 안테나가 필요하지 않는 radio interferometric 측정 방식을 제안하고 있다. RIP의 RI를 이용한 거리 측정 방식에 대해서 알아보기 전에 먼저 신호를 이용한 거리측정 방식에 대해서 알아둘 필요가 있다. 어떤 두 지점간의 거리

를 신호를 이용하여 측정하기 위해서는 일단 사용할 신호의 주파수 λ 를 알아야 한다. 이 주파수 λ 를 알면 사용하는 신호의 파장 길이를 알 수 있다. 신호를 전송한 이후에 몇 번째 파장을 보낼 때 맨 처음 보낸 신호가 도착하는 가를 이용하여 두 지점간의 거리를 측정 한다. [그림2]는 신호 하나를 이용한 두 지점간의 거리를 측정하는 방식에 대한 간단한 그림이다. 만약 사용한 신호의 길이가 10m이고 36개의 파장과 7/8만큼의 위상송신 후에 수신자가 첫 신호를 받았다면 두 점간의 거리는 368.75m가 되는 것이다.



[그림 3] 간섭신호 생성을 위해 발생시키는 주파수

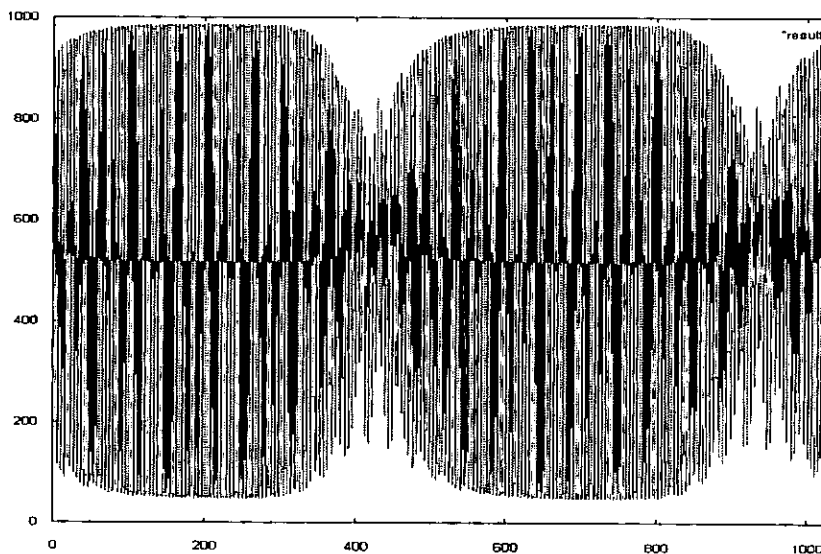


[그림 4] 수신 되는 합성 주파수

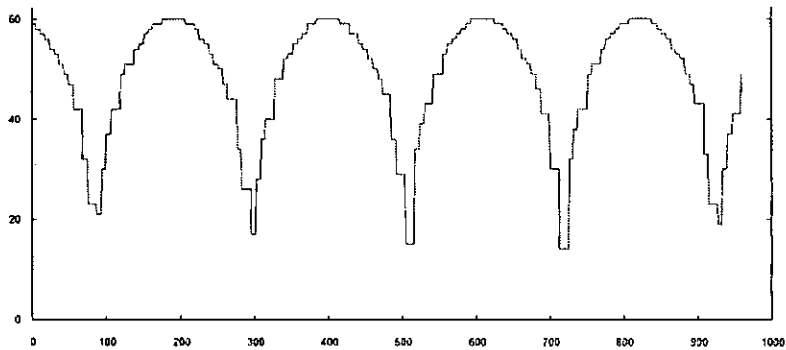
만약 두 지점간의 거리를 측정하기 위해 사용할 수 있는 전파가 고주파수 뿐일 경우에는 고주파 신호의 파장의 개수와 위상을 측정하기 위해서는 고성능의 하드웨어가 필요하게 된다. 이런 고가의 하드웨어의 필요성을 피하기 위해서 RIL에서는 합성신호를 이용한 거리측정을 수행한다.

어떤 신호 두 개가 있을 때, 두 신호를 합성하면 [그림 4]와 같은 합성신호가 생성된다. 이 합성 신호는 합성을 시키는 두 신호가 가진 주파수 값의 사이 주파수 값을 가지게 된다. 또한 그림에서 보이는 것과 같이 어떤 주기성을 가지고 모양이 변하는 것을 볼 수 있는데 이런 모양을 선으로 연결한 것이 [그림 4]의 바깥쪽 선이다. 이런 신호를 둘러싼 모양의 신호를 envelope 신호라고 하고, 이 envelope 신호는 기존의 고주파 신호를 덩어리로 묶어서 측정하는 것과 같다고 할 수 있다. envelope 신호는 합성을 시키는 두 신호의 주파수 차이만큼의 주파수를 가진다. 예를 들자면 400MHz 신호와 401MHz 신호를 합성할 경우 합성신호의 envelope 주기는 1MHz가 된다.

이런 envelope 신호는 낮은 성능의 하드웨어에서 RSSI를 읽는 것만으로도 수신이 가능하다[그림 6]. 이 envelope 신호를 이용하여 앞에서 설명한 신호를 이용한 거리 측정을 수행하게 된다.



[그림 5] 고성능의 하드웨어에서 수신한 간섭신호



[그림 6] 능동형 RFID에서 측정된 간섭신호

2.3. RILS의 설계 및 구현 고려 사항

지금까지 능동형 RFID를 위한 위치확인 기법과 radio interferometric 기술에 대하여 알아보았다. 기존의 센서 네트워크를 위한 radio interferometric 기반 위치확인 시스템은 한 번의 위치 확인을 위해서 매우 많은 수의 측정과 복잡한 계산과정을 거쳐서 위치를 확인하는 방법을 사용하고 있다. 하지만, 능동형 RFID를 위한 radio interferometric 기반 위치확인 시스템인 RILS (radio interferometric locating system)를 위해서는 다음과 같은 점이 고려되어 설계 및 구현되어야 한다.

- 측정에 따른 주파수 점유시간 : 위치 확인을 위해서 오랜 시간 동안 사용 주파수를 점유하고 있을 경우 다른 응용과 전파의 충돌현상이 발생할 가능성이 커지는 점을 고려하여 최대한 짧은 시간 동안 측정을 위한 전파를 송수신하도록 데이터 구조를 설계한다.

- 능동형 RFID 태그의 사용시간 : 능동형 RFID 태그는 한정된 배터리를 소유 하고 있다. 그러므로 데이터의 수집, 데이터의 전송 등에 소모되는 전력을 최대한 줄일 수 있는 구조를 설계 및 구현 한다.

- Radio interferometric 기법 : 위치 확인의 오버헤드와 비용이 적은 radio interferometric 기법을 사용하여 능동형 RFID 태그의 위치를 확인하는 시스템을 설계 및 구현한다. 이때, 실제적인 하드웨어에서의 radio interferometric을 사용한 상대적 위상 차이 값을 측정하고 이를 이용하여 태그의 위치를 확인해 보고 오차의 범위에 대해 알아본다.

- 확장성 : 기본적인 적은 수의 태그를 가지고 위치를 측정하는 시스템을 실제 능동형 RFID 시스템에서 적용하기 위해 대규모 개수의 능동형 RFID 태그를 위한 확장이 가능한 데이터 구조를 설계한다.

3. RILS 설계

본 장에서는 radio interferometric 기반 능동형 RFID 위치확인 시스템인 RILS를 위한 전체적인 시스템 개념과 실제 능동형 RFID 하드웨어에 구현하기 위한 시스템 구조에 대해서 살펴본다. 먼저 앞장에서 설명한 RI의 기본 원리를 이용하여 위치를 확인 하는 방법에 대해서 알아보고 기존의 연구인 RIPS에서 적용된 위치확인 방법을 설명한다. RIPS 위치확인 방법의 문제점을 열거하고 이에 대한 해결 방법으로 제안하는 RILS의 위치확인 방법에 대해서 설명한다.

3.1. Radio interferometric 위치확인

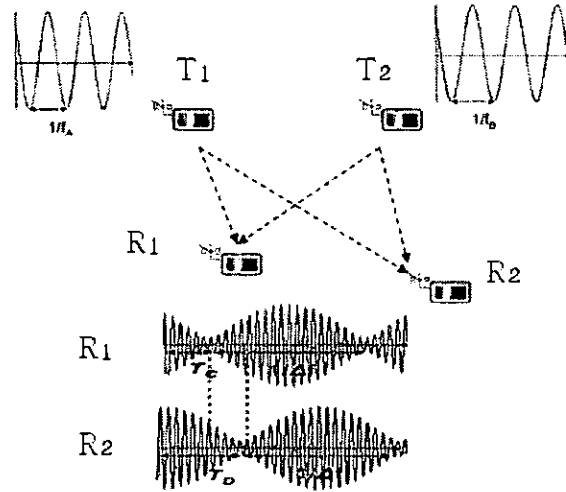
3.1.1. RIPS의 위치확인 기법과 그 문제점

3.1.1.1. RIPS의 위치확인 기법

RIPS는 위치를 알고 있는 트랜스미터 노드 2개와 위치를 찾고자 하는 리시버 노드들의 조합으로 구성되어 있다. 트랜스미터들은 RI의 기본인 합성신호를 만들기 위한 신호를 발생한다. 그리고 리시버 노드에서 그 합성신호를 RSSI로 받아들여 envelope 신호를 추출한다.

하나의 신호를 이용하여 두 점간의 거리를 측정하는 것은 어떤 점과 어떤 위치 사이의 거리를 측정하는 것인지가 확실하다. 하지만 RI는 합성신호를 이용하기 때문에 측정을 수행하여도 어떤 거리를 측정 한 것인지를 잘 알 수가 없다.

[그림 7]은 RIPS의 기본적인 구성을 나타낸 것이다. 점선으로 표시된 것과 같이 합성된 신호를 받아들이는 리시버들이 존재한다.



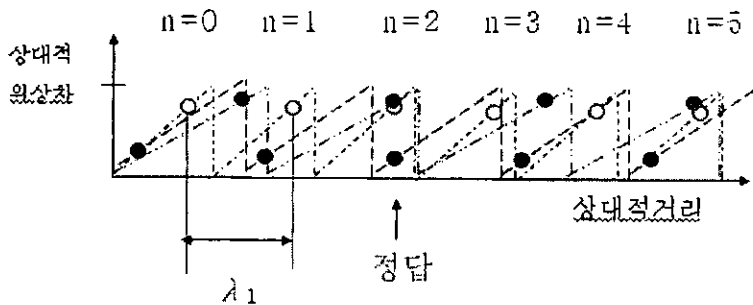
[그림 7] RIPS의 기본구성

두 개의 위치를 알고자 하는 리시버 노드에서 받아들인 합성신호는 그림에서와 같이 동일한 모양으로 수신이 되어 있지 않다. 합성신호는 해당 시간에 두 트랜스미터의 신호가 합해져서 나타는 것이고, 두 리시버 노드는 상대적으로 두 트랜스미터와 거리가 존재하기 때문이다. RIPS는 이 부분을 위치확인을 위해 사용한다. 즉 두 점간의 거리를 측정하기 위한 공식인 $n\lambda + \alpha\lambda = \text{지점간 거리}$ ($0 \leq \alpha < 1$) 에서 R_1 , R_2 가 측정한 파형은 $T_1 - R_1 + T_2 - R_2$ 에 해당한다는 것을 증명하였다[8].

또한 두 리시버에서 측정된 두 파형간의 상대적인 위상 차이는 $n\lambda + \alpha\lambda = \text{지점간 거리}$ ($0 \leq \alpha < 1$) 에서 α 에 해당한다는 것을 증명하였다[8].

거리 공식에서 λ 는 합성에 의해서 얼마 인지 알 수 있고, α 는 상대적 위상차이라고 하였다. 계산결과인 지점간 거리는 $T_1 - R_1 + T_2 - R_2$ 이었고 그럼 거리측정 공식에서 남은 것은 n 이다.

$n\lambda + \alpha\lambda = \text{지점간 거리}$ ($0 \leq \alpha < 1$) 에서 α 는 값이 커지면 n 이 증가하고 다시 0으로 바뀌는 주기성을 가지고 있다. 어떤 지점에서 측정된 상대적 위상 차이를 α 로 두고 n 이 0일 때 측정되었다고 하면 $\alpha\lambda$ 를 구해볼 때 특정 C_m 의 길이로 나온다. 앞서 α 는 주기성을 가지는 값이 됨으로 n 이 0에서 1, 2, 3, 4, ..., k 로 증가되어 감에 따라 λ 단위로 반복해서 나타나게 된다. 이 때 기존에 측정한 λ_1 이 아닌 주파수가 다른 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_k$ 로 측정을 하게 되면 α 역시 서로 다른 값을 가진 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_k$ 가 측정이 된다. 이런 값들을 그래프로 표현을 해 보자면 [그림 8]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 8] 여러 주파수에서 측정한 α 에서 n 구하기

[그림 8]에서와 같이 여러 주파수에서 측정한 α 를 그래프로 표현을 해보면 각각의 α 값들과 λ 에 따라서 그 간격이 다르게 나타나고 어느 순간에 모든 α 가 모여지는 지점이 생겨나게 된다. 그 지점은 모든 주파수에 대해서 α 를 만족하기 때문에 실제로 찾으려고 하는 상대적 거리가 된다. 이런 상대적 거리를 이용하여 RIPS는 위치를 측정한다 [8].

3.1.1.2. RIPS의 위치확인 기법의 문제점

RIPS의 위치확인 관련논문과 논문을 발표한 반더빌트 대학의 사이트에서 확인해본 결과 정확하게 어떤 기법을 사용하였는지 알 수가 없었다. 따로 메일로 문의를 해 보았지만 답변이 없다. 논문상에는 genetic algorithms(GA)를 사용하여 위치를 측정하며 또한 하나의 위치가 측정이 되었을 때 그 위치를 바탕으로 다른 위치를 계산하고 그 결과가 맞는지 다시 계산을 하는 귀납적인 방법을 사용한다고 설명하고 있다. 이는 지나치게 복잡한 방법이며, 약 3분에 걸친 위치계산 시간은 실시간 위치확인을 목적으로 하는 위치확인 시스템에서는 적용할 수 없다.

시스템의 구조는 위치를 알고 있는 트랜스미터 노드두개와 위치를 찾고자 하는 리시버노드 두 개를 하나의 쌍으로 처리를 하게 된다. 아직은 해당 노드들 간의 역할은 고정적이다. 또한 논문상에 하나의 위치를 찾고자 하는 노드에 대해서 측정해야하는 상대적 위상차이를 만들어 내기 위한 트랜스미터-리시버 조합의 수를 $2n-3$ ($n \geq 4$)라고 명시하고 있다. 즉 위치를 알고자 하는 노드가 늘어나면 늘어날수록 위치를 알고 있는 트랜스미터 노드의 수 역시 증가하여야 하며 이는 대규모의 태그가 존재하는 RFID에서는 적용할 수가 없다.

위치확인 시스템의 정밀도 향상을 위해서 인지 약 32000회에 달하는 매우 오랜 시간에 걸친 측정을 하게 되어 있는데 이는 빈번한 ID확인 작업이 이루어 져야하는 RFID에서는 역시 RIPS의 적용을 방해하는 요소이다.

3.1.2. RILS의 위치 확인기법

기존의 센서 네트워크상에서 radio interferometric 기법을 이용한 위치 확인 방법은 센서 노드들 간의 상대적인 위치를 매우 많은 수의 간섭신호 측정을 통해서 약 1시간에 걸친 계산을 통해서 서로의 위치를 측정해 나간다[8].

기존의 기법이 지나치게 오래 걸리는 문제를 보완하기 위해서 RISL에서는 위치를 알고 있는 능동형 RFID 태그 세 개를 이용하여 보다 간단하고 빠르게 위치 확인을 수행한다.

3.1.2.1. 태그 위치 확인을 위한 쌍곡선 접근법

태그가 읽어 들이는 간섭 주파수의 상대적 위상 차이는 A, B, C, D 의 네 개의 태그가 존재할 때 태그 A, B가 송신의 역할을 C, D 가 수신에 역할을 수행한다고 가정한다. 태그 C와 D에서 읽힌 RSSI 신호의 상대적 위상차는

$$d_{ABCD} = d_{AB} - d_{BD} + d_{BC} - d_{AC} \quad (1)$$

이다. 이때 이미 태그 A, B, C는 위치를 알고 있으며 d_{ABCD} 는 측정을 통하여 읽힌 값이다. 그러면 미지수는

$$\alpha = d_{AD} - d_{BD} + \beta - \gamma \quad (2)$$

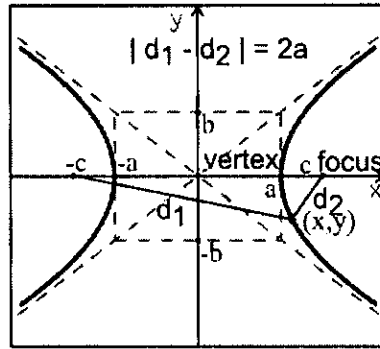
의 수식으로 정리된다. 이미 알고 있는 값을 정리하면

$$d_{AD} - d_{BD} = \alpha - \beta + \gamma \quad (3)$$

이고, 수식에서 $\alpha - \beta + \gamma$ 는 일정한 값이므로 마지막으로,

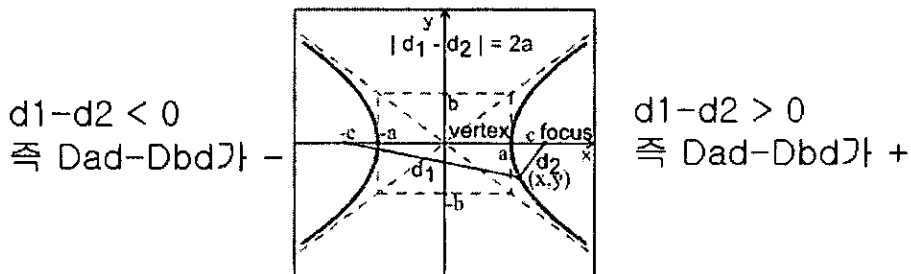
$$d_{AD} - d_{BD} = X \quad (4)$$

가 된다. 수식에서 X는 알고 있는 값 $\alpha - \beta + \gamma$ 이다.

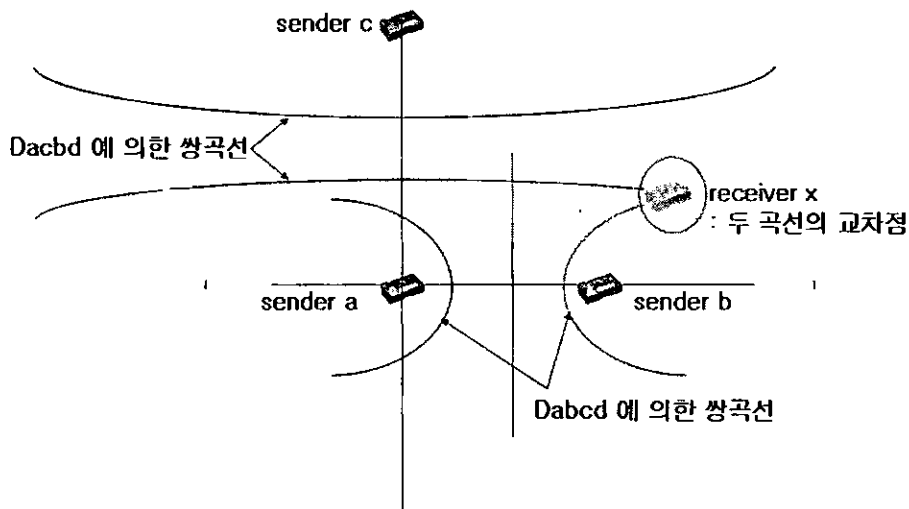


[그림 9] 쌍곡선의 정의

평면 위의 두 정점에서의 거리의 차가 일정한 점의 자취를 그래프로 표현해 보면 쌍곡선이 된다. 쌍곡선의 정의에 의해서 $d_{AD} - d_{BD} = X$ 는 태그 A와 B를 초점으로 가지는 일정한 쌍곡선을 그리게 된다. 즉, 위치를 알지 못하는 능동형 RFID 태그 D의 위치는 d_{ABCD} 에 의해 그려진 쌍곡선 상의 한 점 위에 있게 된다. 평면상의 쌍곡선은 두 개가 그려지게 되는데 d_{ABCD} 값이 0보다 크거나 작은 것의 구분에 따라서 1/4, 4/4 분면을 지나가는 쌍곡선인지 2/4, 3/4 분면을 지나가는 쌍곡선 인지를 선택할 수 있게 된다.



[그림 10] \pm 값에 따른 쌍곡선의 선택



[그림 11] 쌍곡선을 이용한 위치 확인 방법

이렇게 위치를 알고 있는 노드 세 개와 위치를 모르는 노드 하나 간의 상대적 위상차를 구하게 되면 하나의 곡선을 구할 수 있게 되고 이런 원리를 통해서 d_{ABCD} 와 유사하게 A 노드와 B 노드가 전파를 송신하는 것을, A 노드와 C 노드를 전파를 송신하게 변경하고 B노드와 D노드가 전파를 수신하게 할 경우 d_{ABCD} 를 구할 수 있게 되어 또 다른 쌍곡선을 얻을 수 있게 된다. 이 쌍곡선 중 하나의 곡선을 d_{ABCD} 의 값에 따라서 결정할 수 있게 되고, 앞에서 구한 d_{ABCD} 의 곡선 하나와 d_{ABCD} 의 곡선의 교점을 구하게 되면 위치를 모르는 능동형 RFID 태그의 위치를 확인할 수 있게 된다. 만약 필드 내에 위치를 알 수 있는 RFID 태그가 더 존재한다면 위와 같은 방법을 연속해서 더 많은 수의 쌍곡선을 생성하여, 위치를 확인하는데 그 정밀도를 높일 수 있게 된다.

3.1.2.2. 쌍곡선의 점근선으로의 대체

두 정점 $-c, c$ 에서 거리 차 $(d_1 - d_2)$ 가 일정한 쌍곡선은

$$x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1 \quad (c^2 = a^2 + b^2) \quad (5)$$

로 정리 될 수 있다. 이런 쌍곡선의 수식을 두 개 이상 사용하여 위치를 계산할 경우 고차원 방정식에 의해서 매우 복잡한 수식을 계산해야만 한다. 이런 복잡한 계산 과정을 피하고자 쌍곡선의 점근선을 사용하여 단순화된 위치 계산을 수행함으로써 계산 속도를 높인다. 일반적으로 쌍곡선의 해

$$y = \pm b/a(\sqrt{1 - (a^2/x^2)})x \quad (6)$$

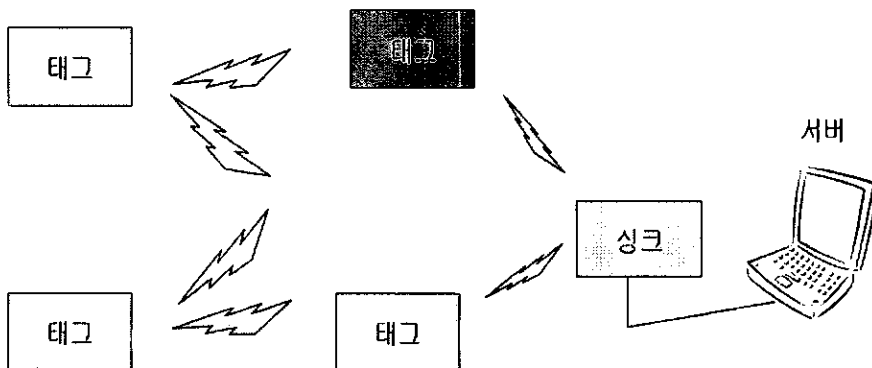
에서 x 값이 커지면 $(a/x)^2$ 은 0에 가까워진다. 이 값을 0이라 가정하면 $y = \pm(b/a)x$ 가 된다. 이 직선을 쌍곡선의 점근선이라고 한다. 쌍곡선은 원점에서 멀어짐에 따라 이 직선에 한없이 가까워진다. 이런 쌍곡선의 점근선을 이용하여 빠른 속도로 위치를 모르는 태그의 위치를 계산해 낼 수 있다.

3.2. 전체 시스템 설계

3.2.1. 기본 시스템 구조

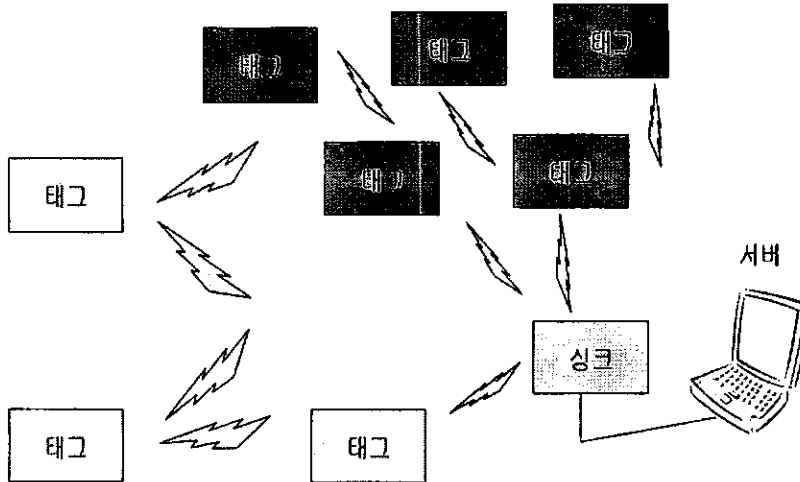
[그림 12] 에서 와 같이 기본 시스템은 위치를 알고 있는 능동형 RFID 태그 3개와 위치를 알고자 하는 태그 1개, 싱크, 서버로 구성된다. 우선 싱크는 서버로부터 위치를 알고 있는 태그의 역할과 측정하고자 하는 주파수에 대한 정보를 담은 명령을 받는다. 이 명령을 ISO/IEC 18000-7에서 정의된 데이터 링크 계층을 따르는 데이터 구

조로 변환하여 각 태그들에 전송한다. 싱크로부터 내려진 명령을 수신한 태그는 받은 데이터를 분석하여 자신의 역할에 맞는 구조로 데이터 송수신을 할 준비를 한다. 이어서 서버로부터 시작 명령을 받은 싱크가 데이터 수집 시작 패킷을 전송하게 되면 각 태그들은 앞서 정의된 역할에 따라서 간접 주파수 생성을 위한 송신자 역할을 하거나 데이터 수집을 위한 수신자 역할을 시작한다. 이때 수신자 역할을 하고 있던 태그들은 수집된 데이터를 자신에게 설정된 RFID용의 고유한 ID보다 낮은 ID 순서를 가진 태그부터 싱크로 데이터를 전송하게 된다. 수신 태그로부터 보내진 데이터를 받은 싱크는 바로 서버로 자신이 받은 데이터를 전달하게 되고 서버는 받은 데이터를 분석하여 위치를 알고자 하는 태그의 위치를 계산하게 된다.



[그림 12] RILS 기본 시스템 구조

3.2.2. 확장 시스템 구조



[그림 13] RILS 확장 시스템 구조

확장 시스템 구조는 [그림 13] 에서와 같이 보다 많은 수의 위치를 알고자 하는 태그가 존재하고 있다. 기본 시스템 구조에서는 하나의 태그만이 위치를 모르고 있었는데 확장시스템에서는 여러 개의 태그의 위치를 동시에 계산하는 구조이다. 기본 구조에서와 같이 위치를 알고 있는 태그는 3개이며 위치를 알고자 하는 태그 다수와 싱크, 서버로 구성된다. 다수의 위치를 모르는 태그의 위치를 측정하기 위해서는 각 태그가 자신의 데이터를 싱크로 보낼 시에 생길 수 있는 데이터 충돌 등을 고려하여 시스템이 설계 돼야 한다.

3.3. 세부 시스템 구조

3.3.1. RILS를 위한 자료구조

3.3.1.1. Topology 구성 및 주파수 설정을 위한 자료구조

최초에 서버는 능동형 RFID 필드 내에 위치를 알고 있는 태그 3개의 ID는 알고 있어야 한다. 서버는 위치 확인 프로세스의 시작 시에 싱크에 d_{ABCD} , d_{ACBD} 를 만들어 내기 위한 명령을 내리게 된다. 명령을 받은 싱크는 각 태그들에 ISO/IEC 18000-7 [2]의 데이터링크 계층구조를 따르는 패킷을 생성하여 브로드캐스팅 하게 된다. 이때 다른 능동형 RFID 응용과의 충돌을 피하고자 protocol ID 부분을 기존의 응용 상에 사용하지 않는 것으로 설정한다.

Protocol ID	Target Frequency	Tag ID	Role	Tag ID	Role	Tag ID	Role	...
0x82	2 byte	4byte	0/1	4byte	0/1	4byte	0/1	...

[표 2] Topology 구성 및 주파수 설정을 위한 자료구조

위의 [표 2]에서 protocol ID 는 다른 표준들과 구분을 하기 위한 정보로 '0x82'의 값을 가지고, target frequency는 현 단계에서 측정하고자 하는 주파수를 나타낸다. Tag ID는 리더가 알고 있는 태그들의 개별 ID 이며 Role은 송신자 역할을 할 것인지 수신자 역할을 할 것인지를 나타낸다. 읽기 시작 시에 위 topology 구성 데이터에 자신의 ID가 나타나지 않는 태그는 기본적으로 모두 수신자 역할을 하게 된다.

3.3.1.2. 시각 동기화를 위한 자료구조

Radio interferometric 기반 능동형 RFID 위치확인 시스템은 기본적으로 매우 정밀한 시각 동기화가 필요하지 않다. 그래서 싱크 노드에서 시작신호를 전송하여 그 신호를 받은 태그들이 일제히 자신의 역할을 수행 하는 것으로 자료 수집을 시작한다.

Protocol
ID
0x88

[표 3] 시각동기화를 위한 자료구조

위의 [표 3]에서 protocol ID 는 다른 표준들과 구분을 하기 위한 정보로 '0x88'의 값을 가진다.

3.3.1.3. 수집된 데이터 전송을 위한 자료구조

각 수신자 역할을 하는 능동형 RFID 태그로부터 전송되는 데이터는 두 종류의 정보를 가질 수 있게 설계되었다. 첫 번째는 서버에서 각 태그가 정확하게 데이터를 수집하는지를 검증하기 위한 데이터구조로 RSSI 값 자체를 모두 싱크로 전송하는 구조이고, 두 번째는 측정한 RSSI 값의 peak 값과 valley 값들만을 전송하는 실제 응용에서 사용될 적은 데이터를 가진 데이터 구조이다.

Protocol ID	Tag ID	Packet number	Packet kind	Data field
0x80	4byte	2byte	0/1	120byte

[표 4] 수집된 데이터 전송을 위한 자료구조

위의 [표 4]에서 protocol ID 는 다른 표준들과 구분을 하기 위한 정

보로 '0x80'의 값을 가진다. Tag ID는 데이터를 전송하는 태그의 ID를 표시하는 영역이며, packet number는 현재 전송하는 데이터가 몇 번째 데이터 인지를 표시하는 것이다. packet kind는 뒤따라오는 data field 의 데이터가 RSSI값을 읽은 것인지, peck 값과 valley 값만을 포함하고 있는 것인지를 구분하기 위한 부분이다.

3.3.2. 수집된 데이터 전송을 위한 라우팅 기법

데이터 수집이 완료된 이후에 각 태그는 자신이 수집한 데이터를 싱크로 전송해야 한다. 이때 모든 태그가 동시에 데이터를 전송하게 된다면 충돌 현상에 의해서 어떠한 데이터도 싱크로 전송을 하지 못하게 된다. 이를 극복하고자 본 논문에서는 간단한 구조의 라우팅 기법을 사용하였다.

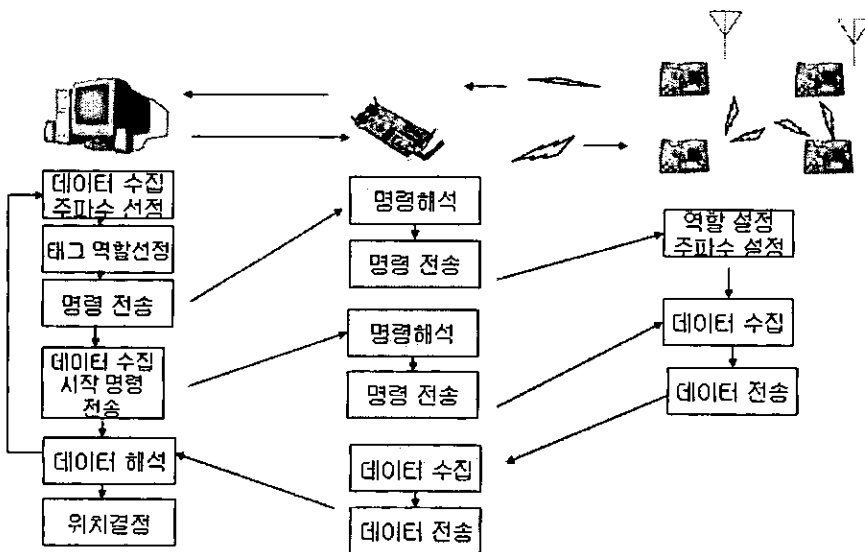
데이터 수집을 완료한 태그들은 자신들의 태그 ID와 비례하는 만큼의 시간 동안 기다리게 된다. 그 이후에 다른 태그들이 전송하는 데이터가 있는지를 조사하게 된다. 만약 이때 다른 태그의 데이터 전송이 존재하게 되면 그 데이터를 분석하여 자신의 ID 보다 낮은 ID를 가진 태그가 데이터를 전송하고 있다면 자신의 전송차례가 돌아올 때 까지 다시 기다리게 된다. 즉 0번에 가까운 ID를 가진 RFID 태그가 제일 처음 데이터를 전송하게 되고 0번 태그의 전송이 끝나게 되면 그다음으로 낮은 ID를 가진 태그가 자신의 데이터를 싱크로 전송한다.

4. RILS 구현 및 실험

본 장에서는 3장에서 설계한 RILS를 구현하고 실제 환경에서 실험을 통하여 그 정확도를 측정한다. 4.1 장에서는 3장에서 설계한 RILS를 위한 RFID 태그, 싱크, 서버 프로그램에 대하여 구현한다. 사용한 태그와 리더는 본 연구실에서 제작된 하드웨어를 변형없이 그대로 사용한다[9][10]. 4.2 장에서는 4.1에서 구현한 RILS가 실제 환경에서 어느 정도의 정밀도를 보여주는 지를 실험을 통해서 그 성능을 측정해 보았다.

4.1. RILS 구현

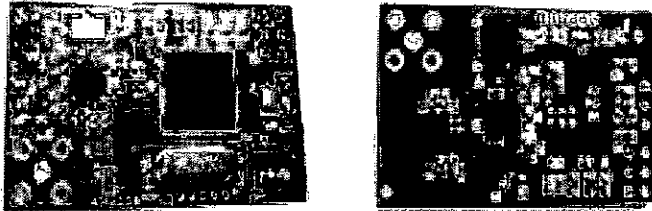
4.1.1. 전체적인 RILS의 위치확인 순서



[그림 14] RILS의 위치확인

4.1.2. RILS를 위한 능동형 RFID 태그

위치확인을 위한 능동형 RFID 태그는 추가적인 하드웨어가 불필요하며 위치 확인을 위해서 소프트웨어의 구성이 달라져야 한다.

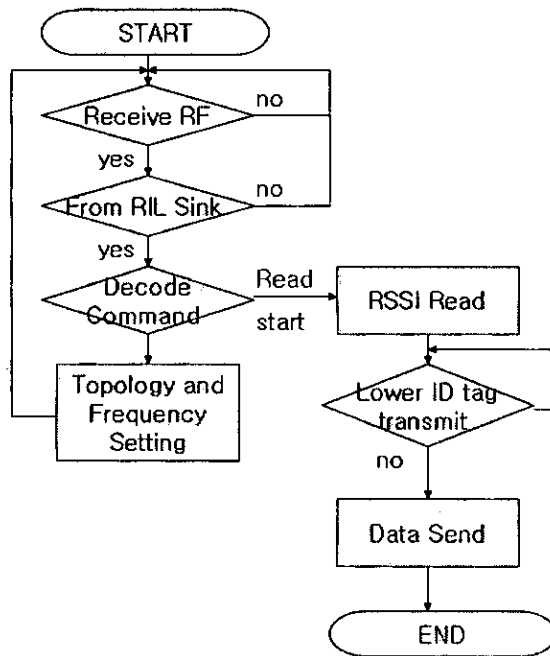


[그림 15] 능동형 RFID 태그의 하드웨어

하드웨어는 기본적으로 연산을 할 수 있는 프로세서와 무선 통신을 위한 RF 칩으로 구성된다. 다음의 [그림 15]은 태그 시스템의 하드웨어를 나타낸 것이다. 하드웨어의 주요 구성은 다음의 [표 5]와 같다

구분	사용 모델	특징
프로세서	Atmega 128L	<ul style="list-style-type: none"> • 8bit RISC • 소비전력 <ul style="list-style-type: none"> - 액티브 : 8mA - 슬립 : 15uA
RF Chip	Chipcon CC1100	<ul style="list-style-type: none"> • 433MHz UHF • FSK, 500kbps • 소비전력 : 15.6mA in RX

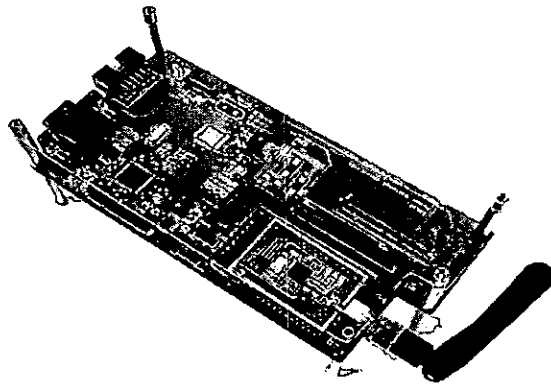
[표 5] 능동형 RFID 태그 하드웨어 구성



[그림 16] 태그 응용 프로그램 순서도

Radio interferometric 위치확인을 위한 능동형 RFID 태그의 소프트웨어 부분은 다음의 [그림 16]의 능동형 RFID 태그 응용 프로그램 순서도를 따른다. 능동형 RFID 태그는 전원이 켜진 뒤 외부에서 전달되는 라디오 신호를 기다린다. 신호를 받으면 메시지를 분석하여 리더에서 왔는지 판단을 하고 리더 이외의 곳에서 보낸 것이면 무시한다. 그리고 리더에서 온 메시지 중에서도 RILS를 위한 것인지를 분석하여 다른 응용 표준에 관한 것일 경우 그에 적합한 정보를 보내고 radio interferometric 기법을 위한 것일 경우 해당 명령을 분석하여 명령에 따르는 동작을 수행한다.

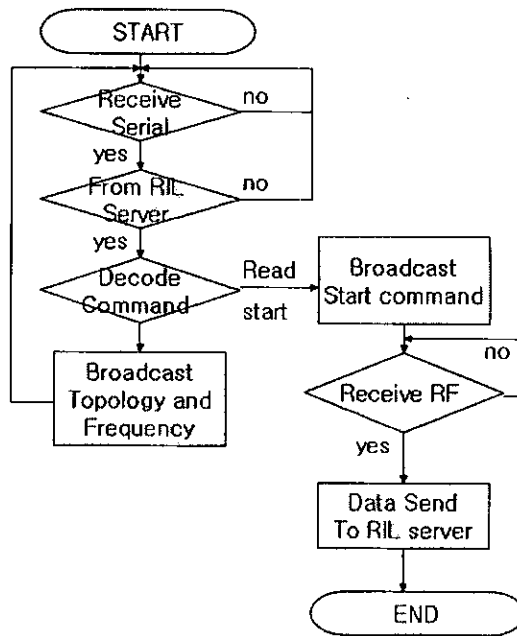
4.1.3. Sink 시스템 구현



[그림 17] 싱크 시스템의 하드웨어

Sink 시스템의 하드웨어는 태그 하드웨어와 같은 프로세서와 RF 칩으로 구성되어 있다. 여기에 유선과의 통신을 위하여 USB 컨트롤러, 또는 RS-232 컨트롤러를 부착한 형태이다. [그림 17]은 싱크 시스템의 하드웨어를 나타낸 것이다.

싱크 시스템의 소프트웨어는 서버로부터 내려진 정보를 분석하여 각 태그에게 보낼 메시지를 생성하여 전송하는 역할과 각 태그로부터 입력되는 정보를 받아서 리더로 보내주는 역할을 수행한다. 구체적인 응용 프로그램의 흐름은 [그림 18]의 싱크 응용 프로그램 순서도와 같다.

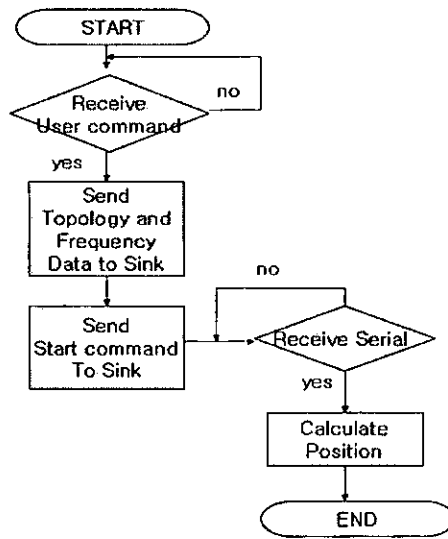


[그림 18] 싱크 응용 프로그램 구조도

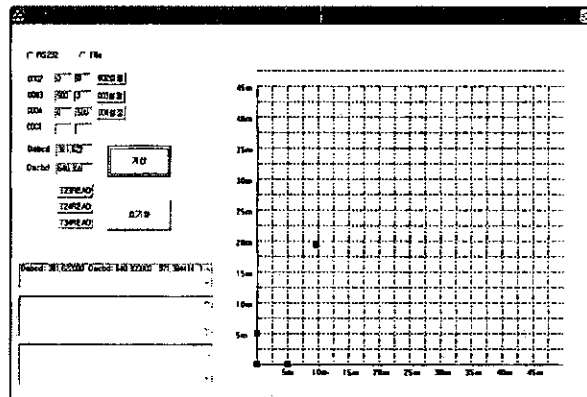
4.1.4. 서버 시스템 구성

Radio interferometric 위치확인을 위한 서버는 싱크와 USB 혹은 RS-232를 이용한 통신을 수행해서 각 태그의 역할을 지정하고 읽기 시작 명령을 내리며 싱크로부터 전송되는 각 태그의 수집 데이터를 저장하고 분석하여 위치를 알고자 하는 태그의 위치를 계산하는 역할을 수행한다.

서버 응용 프로그램은 [그림 19]의 응용 프로그램 순서도를 따른다. 서버에서는 사용자의 명령을 받아서 위치를 알고 있는 노드의 역할과 측정하고자 하는 주파수가 담긴 명령을 싱크로 전달하고 측정 시작 신호를 보낸다. 싱크로부터 전달된 데이터를 분석하여 위치를 알고자 하는 노드의 위치를 측정한다.



[그림 19] 서버 응용 프로그램 순서도



[그림 20] 서버 응용 프로그램의 GUI

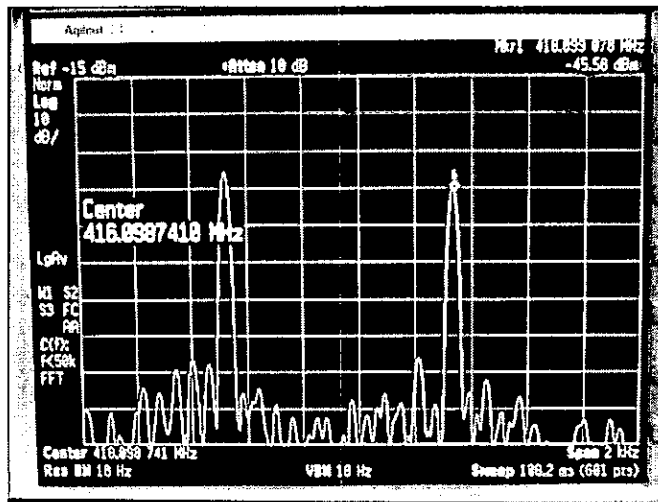
4.2. 실험 및 성능 평가

이번 장에서는 3장과 4장에서 설계하고 구현한 RILS를 실제 테스트 공간에 구현하여 실험해 보고 성능에 대해 알아본다. 실험은 크게 일곱 가지로 나누어 진행하였다. 먼저 간섭 주파수를 생성하도록 능동형 RFID 태그의 주파수 변경범위 측정 및 간섭신호 생성 여부를 확인하였다. 두 번째로 설정한 RFID의 역할에 따라서 9m X 9m

의 환경에서 radio interferometric에 의한 RSSI 값을 측정하는 실험을 진행한다. 세 번째로 측정한 RSSI 신호를 바탕으로 상대적 위상차를 구해내는 과정을 수행하였다. 네 번째로 변환된 상대적 위상차를 이용하여 d_{ABCD} 와 d_{ACBD} 값을 만들어 내는 실험을 하였다. 다섯 번째로 본 논문에서 사용하는 위치 확인 알고리즘의 오류요소에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 여섯 번째로 변환된 d_{ABCD} 값의 오차에 따라 서버 프로그램에서 계산한 위치의 오차율에 대해서 측정해보고, 마지막으로 최초 주파수 설정부분부터 위치확인까지의 모든 요소를 고려하여 위치확인 시에 생겨나는 오차에 대한 결과를 살펴본다.

4.2.1. 간접주파수 생성을 위한 주파수 설정

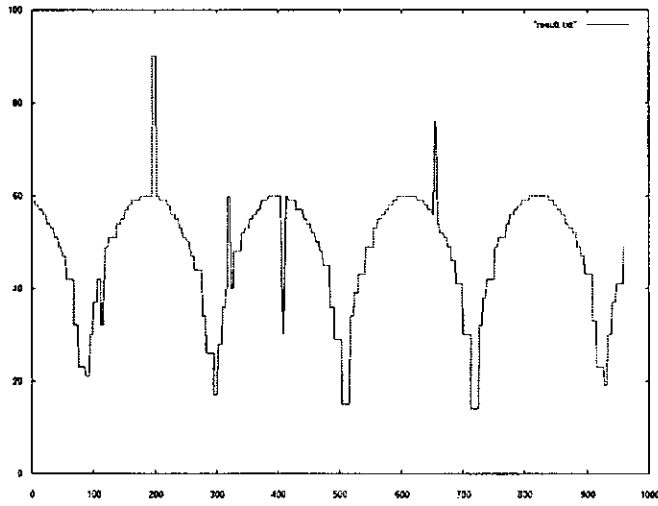
Radio interferometric 기법을 사용하기 위해서는 1KHz 미만의 차이를 가지는 정밀한 주파수 설정이 요구되어 진다. 능동형 RFID에서 사용되는 RF 칩인 CC1100은 기본적인 주파수의 설정 범위가 397Hz 단위로 이루어지게 설계되어 있다. 수신하는 태그의 주파수는 간섭을 만들어 내는 송신 태그가 가지는 주파수의 정 중앙에 위치해야 하는데 CC1100의 설정범위에서는 송신 태그가 416MHz - 397Hz 하나와 416MHz +397Hz 로 설정되고 수신 태그는 416MHz로 설정을 하였다.



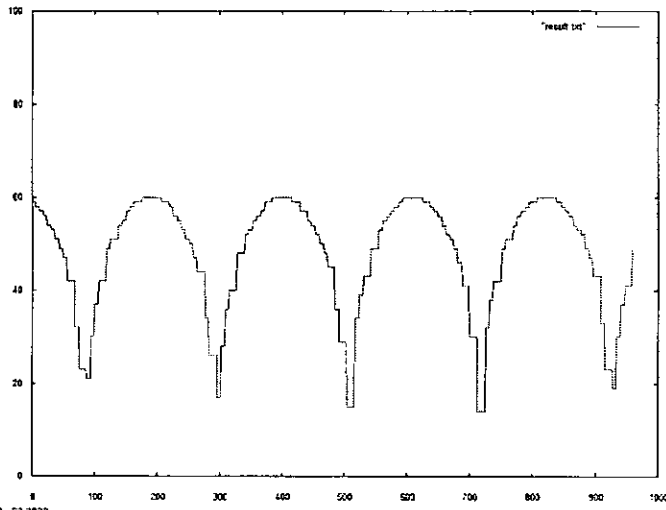
[그림 21] 간섭 신호 발생을 위한 주파수 설정

4.2.2. 위치에 따른 RSSI 값 측정 및 오차

RSSI 값 측정을 수행할 경우 배터리의 잔량, 송신 태그와 수신 태그와의 상대적인 거리에 대해서 매우 민감한 변화를 보인다. 또한, 순간 노이즈 등에 의해서 RSSI 값에 의한 파형에 벗어난 값을 나타내는 경우가 많이 있는데, 이런 값들은 계산 시에 배제하기 위해서 직전 단계에서 읽어 들인 RSSI 값보다 50% 이상의 차이를 나타내는 값에 대해서는 소프트웨어 적인 방식을 통해서 값을 배제하고 상대적 위상 차이를 구하였다.



[그림 22] 노이즈 값이 섞인 RSSI 측정 결과



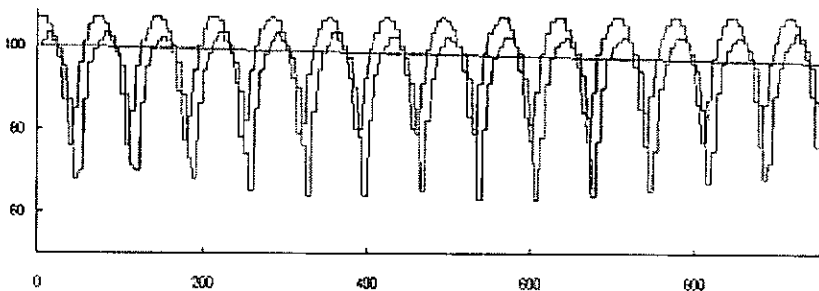
[그림 23] 노이즈 값을 배제한 후의 RSSI 측정 결과

한번의 RSSI 값을 측정하는데 걸리는 시간은 $9.2\mu\text{s}$ 이고 간섭 신호가 평균 140번의 측정 시간당 한 번씩 다음 주기로 이행 되었다. 이것은 약 800Hz로 생겨나는 간섭신호를 측정한 결과인 것을 증명할 수 있다.

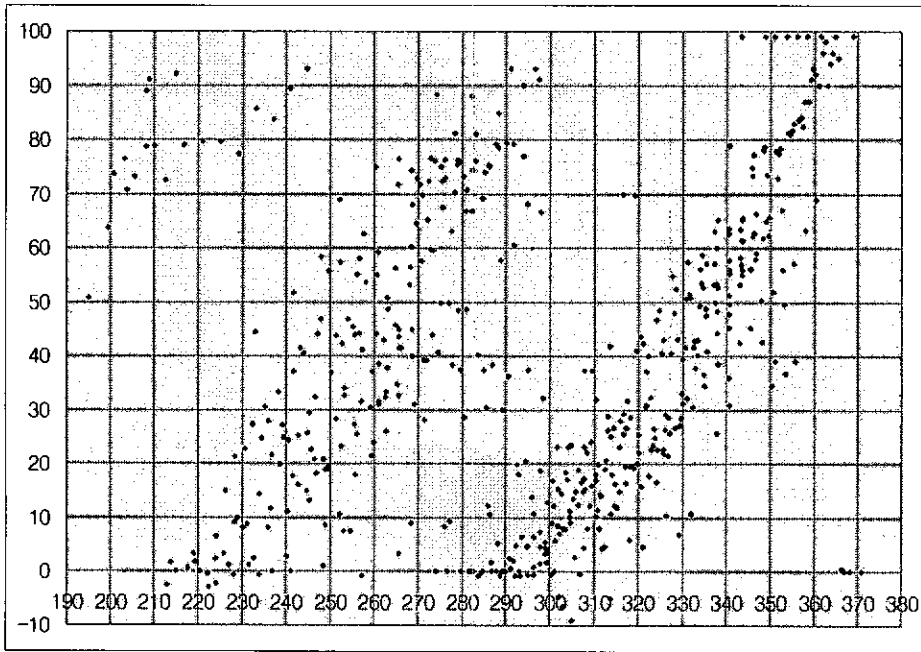
4.2.3. RSSI값을 상대적 위상차이 값으로 변환 및 오차

근거리에서 상대적 위상 차이를 구할 경우 416Mhz 의 파장의 길이인 70cm 이하에서는 정확한 데이터를 수집 할 수 없었다. RSSI 값은 전파 송신 거리에 따른 log 함수적으로 그 크기가 감소하게 된다. 간섭 신호에 의한 RSSI 값 역시 유사한 경향을 보이게 되는데 만약 1m 내에서 간섭 신호를 측정할 경우 송신 태그와 수신 태그가 너무 근접한 관계로 더 가까운 쪽의 주파수에 큰 영향을 받아서 올바른 간섭신호를 받을 수 없게 된다. 또한, 야기 안테나 등에 사용되는 기술처럼 안테나 간에 반사, 굴절 등의 현상에 의해서 측정하고자 하는 파장의 길이인 72cm 이하의 거리에서 측정을 수행할 경우 큰 영향을 받게 된다.

그런 이유로 9m × 9m 의 환경에서 RSSI 값을 측정하였다. 위치를 아는 능동형 RFID 태그는 총 세 개이고, (0, 0), (300cm, 0)에 두 개의 송신 태그를 위치시키고, (0, 300cm)의 위치에 간섭 주파수를 수신하는 능동형 RFID 태그를 위치시켰다. 네 번째 태그는 (300cm, 300cm)에서 (600cm, 600cm)의 구간을 10cm 단위로 이동하면서 각 위치에서 읽혀지는 간섭 주파수에 의한 상대적 위상 차이를 측정하였다.



[그림 24] 두 개의 태그에서 측정한 RSSI 신호



[그림 25] d_{ABCD} 값에 따른 상대적 위상차이

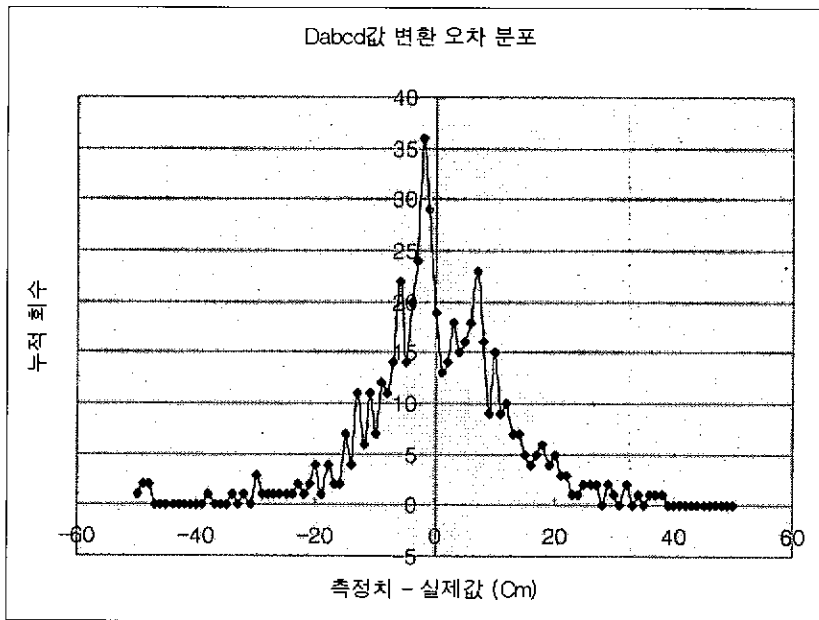
[그림 25]과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 가로축은 측정 위치가 가지는 d_{ABCD} 값이며 세로축은 측정한 상대적 위치 차이를 점으로 나타낸 것이다. 세로축은 두 번째 읽어 들인 RSSI 파형이 첫 번째 읽어 들인 RSSI 파장보다 몇 퍼센트 더 이후에 측정되는 가를 나타내는 것으로 단순한 시간의 차이를 나타내지 않은 이유는 신호 송신 태그 및 수신태그가 순간적으로 보내거나 받는 주파수가 달라질 가능성 때문이다. 시간 값으로 나타낼 경우 전체 간섭주파수의 차이가 벌어질 때는 제대로 된 데이터를 얻을 수 없었고, 실험을 통해서 한 파장의 길이 대비 측정을 할 경우 일정한 결과를 얻을 수 있었다. 기존의 Radio interferometric 연구에서와 유사한 결과를 얻었으며,

$$phase\ offset/2\pi \cdot \lambda = (d_{AB} - d_{BD} + d_{BC} - d_{AC}) \bmod \lambda \quad (1)$$

앞서 3.1.2 장에서 설명한 (1)의 식에서와 같이 파장의 길이인 72cm의 주기를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

4.2.4. 상대적 위상 차이 값을 d_{ABCD} 로 변환 및 오차

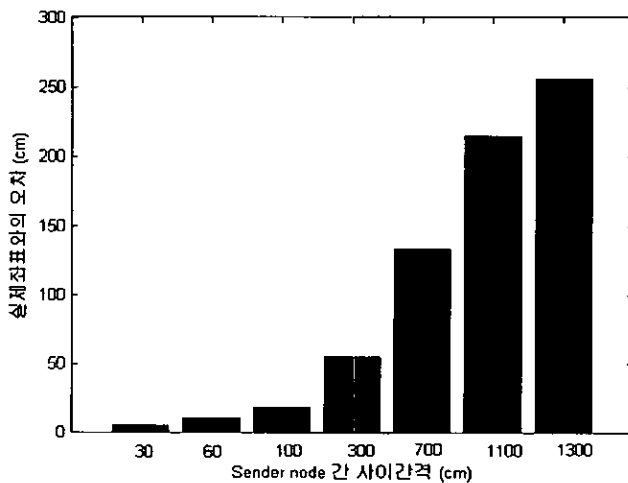
실제 측정한 데이터를 d_{ABCD} 로 변환 하는 과정에서 생기는 오차의 평균은 1cm 이고 표준 편차는 12.24cm이다. 즉 d_{ABCD} 로 변환시 발생할 수 있는 오차는 약 13cm 내외라고 할 수 있다. 또한 오차에 대한 분산을 도식화 해보면 [그림 26]와 같이 가우시안 분포를 따르는 것을 알 수 있다. 실제 위치를 계산하기 위해서 변환 오차를 포함한 d_{ABCD} 값을 적용한 결과는 다음 장에서 언급하도록 한다.



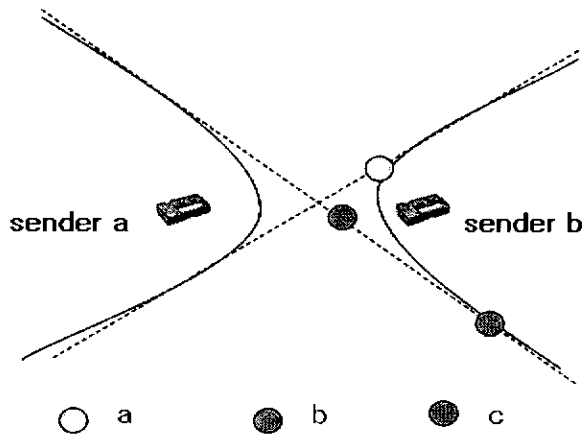
[그림 26] 위상차를 d_{ABCD} 값으로 변환시 오차값의 분포

4.2.5. 위치 확인 프로그램의 정확도

본 논문에서 위치확인 프로그램은 쌍곡선의 점근선을 이용하여 위치를 계산 하는 방식을 사용한다. 이로 인해서 근거리에서는 쌍곡선이 점근선과의 값의 차이를 가지게 되는데 이런 접근방법에 의한 오차를 시뮬레이션 해 보았다. 실험 환경은 송신 태그사이의 간격을 cm 단위로 30, 60, 100, 300, 700, 1100, 1300 으로 두고 위치를 알고자 하는 태그를 50m x 50m 필드에 30cm 간격으로 두고 측정을 하여 정확한 Dabcd 값이 측정 된다고 가정을 하고 이를 이용하여 위치를 계산 하였을 때 생겨나는 위치 확인 프로그램 자체의 에러를 통계를 내었다.



[그림 27] 위치 확인 프로그램 자체의 위치 계산 오류

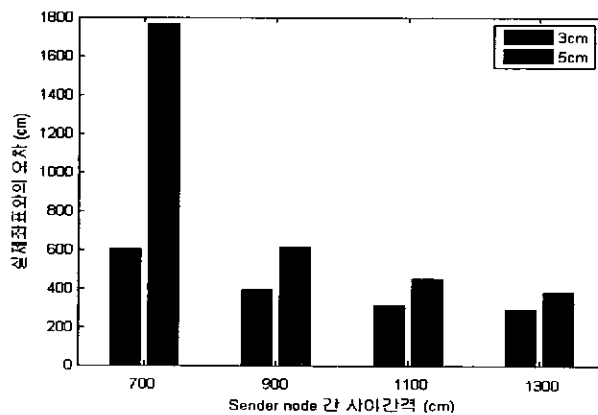


[그림 28] 위치확인 프로그램상의 오차 원인

[그림 27]의 결과와 같이 송신 태그의 위치가 멀어지면 멀어질수록 위치를 계산한 결과가 오차가 커지게 된다. 이런 결과가 나타나는 이유는 3.2.2장에서 설명한 쌍곡선의 계산을 빠르게 하기 위해서 사용한 점근선의 원리 때문이다. 송신 태그간의 위치가 멀어지면 멀어질수록 생겨나는 쌍곡선은 회전 반경이 커지게 되는데 $y = \pm b/a(\sqrt{1 - (a^2/x^2)})x$ 의 쌍곡선의 해 부분에서 x 값이 커지면 $(a/x)^2$ 은 0에 가까워지고, 이 값을 0이라 가정하고 $y = \pm(b/a)x$ 인 점근선을 이용하여 위치를 계산하였기 때문이다. 즉 $(a/x)^2$ 의 값이 근거리에서는 0에 수렴하지 않기 때문이다. [그림 28]는 위치확인 프로그램이 오차가 나는 이유를 그림으로 설명한 것이다. C 점의 위치에 위치를 알고자 하는 태그가 존재 할 경우 $(a/x)^2$ 의 값은 0에 가깝기 때문에 점근선과 쌍곡선의 값의 차이가 크지 않다. 그러나 a점과 b점의 경우 $(a/x)^2$ 값이 크기 때문에 점근선과 쌍곡선의 차이가 생겨나게 된다. 그런 이유로 송신 태그의 위치가 멀어지면 쌍곡선 자체가 크게 형성이 되기 때문에 위와 같은 결과를 나타낸다.

4.2.6. d_{ABCD} 환산 오차에 따른 위치 확인 오차

4.2.4에서 d_{ABCD} 로 변환된 값은 오차가 생길 수 있다는 것을 확인하였다. 이런 오차가 실제 위치확인 프로그램 상에서 계산하였을 때 실제 위치와 계산된 결과 값의 차이에 대해서 시뮬레이션 해 보았다. 시뮬레이션 환경은 4.2.5 에서 수행한 것과 동일하다.



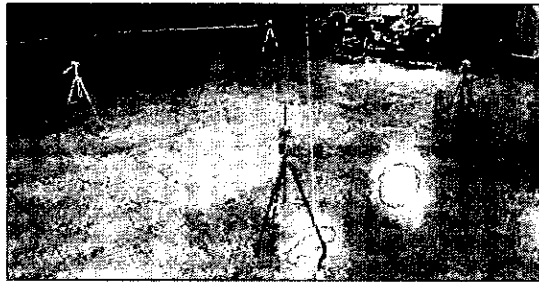
[그림 29] d_{ABCD} 환산 오차에 따른 위치 확인 오차

[그림 29]이 시뮬레이션을 수행한 결과 이다. Sender node 간의 간격이 넓어질수록 d_{ABCD} 값의 입력 오차에 따른 영향이 적어지는 것을 볼 수 있다. d_{ABCD} 환산 값으로 쌍곡선을 생성 하는데 Sender 간의 간격이 넓어질수록 생성되는 쌍곡선이 d_{ABCD} 값의 영향을 적게 받는 큰 곡선을 그리는 쌍곡선이 생성되기 때문이다. 즉, 4.2.5과 4.2.6의 결과를 종합해 보았을 때 측정되는 d_{ABCD} 값이 정밀하다면 송신 태그의 간격을 좁게 잡아 주는 것이 더 좋은 결과를 볼 수 있고, 만약 d_{ABCD} 의 측정값이 정밀하지 못하다면 송신 태그의 간격을

넓게 잡아주는 것이 좋다는 것을 알 수 있다.

4.2.7. 전체적인 위치 확인 정확도

앞의 4.2.1부터 4.2.6까지의 결과를 종합하여 실제 환경에서 RSSI 값을 측정하여 위치를 계산해 본 결과 이다. 실험 환경은 4.2.5, 4.2.6의 결과를 고려하여 3m 간격으로 송신 태그를 위치시키고 위치를 모르는 태그는 송신 태그들로부터 3m ~ 6m 지점까지의 위치에서 측정을 하였다.



[그림 30] 실제 위치 측정 환경

실험 결과로 약 1m의 오차를 가지는 위치를 측정 할 수 있었다. 아직 까지 radio interferometric 기술을 이용하여 위치를 확인 하는 방법에 대한 연구의 시작 단계인 관계로 위치 확인의 정밀도를 높이는 것 보다, 기존의 연구 결과보다 더 빠르고 간편한 방법으로 위치를 확인 하는 시스템의 구현에 주목표를 두고 있었고, 각종 필터링 기법들이 보완되어 진다면 기존의 연구와 유사한 정밀도를 얻어 낼 수 있을 것이라고 생각된다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

물류 컨테이너나 유통 분야에서 물품의 위치를 확인하는 것은 매우 큰 이점이 있다. 전체 시스템을 원활하게 조정할 수 있고 이동 경로의 전체적인 흐름을 알게 하여 비용절감의 효과를 나타낼 수 있다. 그러나 이러한 위치확인을 위해서 기존의 연구되고 제안된 기법들은 매우 정밀한 고성능의 하드웨어나 추가적인 하드웨어가 필요하다라는 등의 많은 제약사항이 따른다.

본 논문에서는 radio interferometric 기법을 사용하여 추가적인 하드웨어가 필요 없이 기존의 개발된 능동형 RFID 하드웨어 기반 위에서 적용이 가능한 RILS(radio interferometric locating system)을 제안하고 성능을 평가하였다.

기존의 radio interferometric 기법을 사용한 연구에서는 측정시간의 장기화와 계산시간의 비대함 등에 의해서 빠른 속도로 사물의 위치를 결정할 수 없는 단점을 가지고 있었는데 이를 보완하여 보다 간단한 구조를 가지고 위치 측정을 함으로 이전의 연구보다 빠르게 위치를 확인할 수 있었다.

radio interferometric 기법을 이용하여 위치를 확인 해본 결과 기존의 연구 결과와 유사한 정밀도를 가지는 결과를 확인할 수 있었다. 하지만 각종 데이터 수집에 따르는 필터링 기법 등이 보안되면 수 cm 이내의 정밀도를 보일 것으로 예상된다.

현재 본 논문에서는 하나의 위치를 모르는 태그의 위치를 확인할 수 있게 시스템이 설계 구현되어 졌다. 향후에는 확장 시스템에서 언급한 위치를 알고자 하는 태그가 다수일 때 위치를 확인할 수 있는 시스템을 구현하고 실험하여야 할 것이다. 또한 이때 발생할 수 있는 전송거리, 충돌 등에 대한 라우팅 기법 역시 연구되어야 한다. 끝으로 각종 필터링 기법 등을 사용하여 더 정밀한 측정을 위한 보완책 등이 추가 되어야 한다.

참고문헌

- [1] 손해원, 모희숙, 성낙선, "UHF RFID 기술," *전자통신동향분석* 제 20권 제 3호, pp. 67-80, 2005년 6월
- [2] ISO/IEC 18000-7, Information Technology - Radio frequency identification for item management - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz, 2004.
- [3] T. J. Cornwell, "Radio-interferometric imaging of very large objects." *Astronomy and Astrophysics*, vol. 202, no. 1-2, pp. 316-321, Aug. 1988
- [4] P. R. Krehbiel, R. J. Thomas, and W. Rison, "Radio interferometric observations of cloud-to-ground lightning phenomena in Florida," *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, vol. 100, no. D2, pp. 2749 - 2784, Nov. 1995
- [5] 유승화, *유비쿼터스 사회의 전자 태그(RFID)*, 1판, 전자신문사, pp. 158-159, 2004년 5월.
- [6] 이은곤, "RFID 확산 전망 및 시사점", *정보통신정책*, 제 16권 13호 통권 351호, pp. 1-23, 2004년 7월 16일
- [7] 정동호, 지동환, 정연수, 백윤주, "능동형 RFID 태그를 이용한 433 MHz RTLS의 설계 및 구현," *한국정보처리학회지*, pp. 1061-1064, 2006. 11
- [8] M. Miklós, V. Péter, D. Sebestyén, K. Branislav, N. András, L. Ákos, B. György, and M. Károly, "Radio interferometric

- geolocation," *Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems*, San Diego, CA, USA, pp. 1-12, Nov. 2005.
- [9] H. T. Cho, Y. J. Baek, "Design and Implementation of an Active RFID System Platform," *Proceedings of the International Symposium on Applications and the Internet Workshops*, pp. 23-27 Jan. 2006.
- [10] H. T. Cho, H. Choi, W. H. Lee, Y. S. Jung, and Y. J. Baek, "LITeTag: Design and Implementation of an RFID System for IT-based Port Logistics," *JOURNAL OF COMMUNICATIONS* , vol. 1, Issue 4, pp. 48-57, July 2006.

Design and Implementation of Active RFID Localization System based on Radio Interferometric

Woong-Hyun Lee

Department of Computer Science and
Engineering
Pusan National University

Abstract

Localization is one of applications for active RFID systems which are attached to something like container, pallet, or all the things. For localization application, 2.4GHz or 433MHz radio bandwidth can be used. This thesis focuses on the localization operating at 433MHz radio frequency. Study on localization is scarce and many challenges are required for port logistics. Previous system for localization uses TOA (time of arrival), TDOA (time difference of arrival), AOA (angle of arrival), RSSI (receive signal strength

indicator). Previous study for localization have some problems that are required extra hardware, or high resolution time synchronization. That problems are not proper to apply active RFID systems. Because active RFID is aim to low price to make one tag under 10\$.

Recently RI (radio interferometric) is studied at wireless sensor network. RIPS (radio interferometric positioning systems) present sensor localization method for wireless sensor networks based on the radio interference technic. The technique relies on a pair of nodes emitting radio waves simultaneously at slightly different frequency. The carrier frequency of the composite signal is between the two frequencies, but has a very low frequency envelops. Neighboring nodes can measure the energy of envelope signal as the signal strength. The relative phase offset of this signal measured at two receivers is a function of the distances between the four nodes involved and the carrier frequency. RIP's positioning algorithm need many measurement of that carrier frequency and other different frequency also need. further more calculation need more than 1 hour. So in this paper presents the design and the implementation of an Radio interferometric active RFID system that use simple localization algorithms and need few time less than RIP. Our system developed using RFID platform.

In order to perform the evaluation, in addition, some experiments in indoor are performed and results such as error metric and distance are also included. Futhermore, simulation for the error of localization algorithms and distance measurement.

<감사의 글>

처음으로 긴 글을 적고, 퇴고를 하고, 제본을 하게 되었습니다. 아이디어를 내고, 그것을 구체화 시키고, 수정했습니다. 논문을 쓴다는 것은 참 의미 있는 작업인 것 같습니다. 자신이 얼마나 부족한지도 뼈저리게 느끼고, 마감이 임박해서 발표 준비를 하는 것도 그렇고 힘들었기 때문에 뭔가 많은 것을 배울 수 있었던 것 같습니다.

길면 길고 짧으면 짧은 시간동안 부족한 저를 지도해 주신 백윤주 교수님께 감사 드립니다. 그리고 심사를 해주신 김길용 교수님과 김정구 교수님께도 감사드립니다.

여유롭지 못한 시간동안 이것저것 많은 부분을 지적해 주시고 실험도 도와주시고 방향을 잡을 수 있도록 해주신 정효형 감사드립니다. 소영누나 잘 챙겨 드리고 예쁜 아기(형 안 닮은), 건강하게 출산 하시기 바랍니다. 옆에서 '졸업 안할라고?'로 바짝 쫓아주시던 현태 형님 창원에서 뵙겠습니다. 종종 진행상황 물으시면서 파이팅 해주 시던 소영누님 꼭 좋은 사람 만나세요. 학부 후배이자 같이 입학해서 함께 이런 저런 것들을 겪으면서 지낸 훈이랑 연수에게도 감사 합니다. 마지막이라고 휴일에도 학교 나오게 해서 실험시켜도 별소리 안하고 잘 도와준 동환이에게 감사하고 인구, 새나도 감사합니다.

항상 바쁘다는 핑계로 연락도 잘 안하고 집에도 자주 못 갔지만, 그래도 항상 신경 써 주시고 챙겨주시는 부모님 사랑합니다. 군 전역하고 사회적응 하고 있는 동생도 생각나고, 논문 기간 동안 참고 기다려준 여자 친구에게 고맙다는 말을 하고 싶습니다.

2006.12.8