

논문 2005-42CI-5-2

## 적외선 기반 실내 사용자 위치 추적 시스템

(Infrared-based User Location Tracking System for Indoor Environments)

정 석 민\*, 정 우 진\*\*, 우 운 택\*\*\*

(Seokmin Jung, Woojin Jung, and Woontack Woo)

## 요 약

본 논문에서는 실내에서 이동하는 사용자를 적외선에 기반을 둔 근접방법으로 추적하는 시스템인 ubiTrack을 제안한다. 현재까지 개발된 대부분의 실내 위치 추적 시스템들은 성능 및 정확도 향상을 위해 중앙 집중적인 방식으로 사용자를 추적하고 있다. 그러나 이와 같은 방식은 수많은 센서들이 환경에 편재되는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 프라이버시 문제를 야기할 수 있으며 다수의 사용자로 위치 추적을 확장하는 경우 연산의 부하가 크다는 문제점이 있다. 제안된 ubiTrack은 사용자의 모바일 기기에서 위치정보를 획득하는 passive mobile 구조로 설계되어 프라이버시 문제를 완화하며, 이동하는 사용자에 적합한 영역 기반의 근접방법을 사용하여 위치 추적을 위한 연산의 효율을 높인다. 이를 위해 ubiTrack은 센싱 영역을 시분할 방식(Time-Division Multiplexing)으로 중첩시켜 사용자에게 적합한 영역을 생성하며, 시분할 방식에 따른 성능 저하를 막기 위해 짧은 발신 주기를 가지는 적외선 통신 방식을 사용한다. 아울러 ubiTrack은 위치 추적의 정확도와 정밀도를 높이기 위해 하드웨어로 구현된 수신기와 소프트웨어로 구현된 활용 모듈에서 외부로부터의 충격이나 신호 강도 약화에 의해 발생하는 노이즈를 필터링하는 방법들을 각각 사용한다. ubiTrack은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 서로 다른 어플리케이션들의 통신을 지원하는 네트워크 모듈과 연계되어 있어, 단순히 위치 정보에 의존적인 어플리케이션뿐만 아니라 사용자 컨텍스트 정보를 활용하는 어플리케이션 등의 다양한 서비스들에서 쉽게 응용될 수 있다.

## Abstract

In this paper, we propose ubiTrack, a system which tracks users' location in indoor environments by employing infrared-based proximity method. Most of recently developed systems have focussed on performance and accuracy. For this reason, they adopted the idea of centralized management, which gathers all information in a main system to monitor users' location. However, these systems raise privacy concerns in ubiquitous computing environments where tons of sensors are seamlessly embedded into environments. In addition, centralized systems also need high computational power to support multiple users. The proposed ubiTrack is designed as a passive mobile architecture to relax privacy problems. Moreover, ubiTrack utilizes appropriate area as a unit to efficiently track users. To achieve this, ubiTrack overlaps each sensing area by utilizing the TDM (Time-Division Multiplexing) method. Additionally, ubiTrack exploits various filtering methods at each receiver and utilization module. The filtering methods minimize unexpected noise effect caused by external shock or intensity weakness of ID signal at the boundary of sensing area. ubiTrack can be applied not only to location-based applications but also to context-aware applications because of its associated module. This module is a part of middleware to support communication between heterogeneous applications or sensors in ubiquitous computing environments.

**Keywords:** ubiquitous computing, location, infrared, proximity method

학생회원, 삼성전자 디지털 미디어 총괄  
(Department of Digital Media, Samsung  
Electronics)

\*\* 학생회원, \*\*\* 중신회원, 광주과학기술원  
정보통신 공학과  
(Department of Information and Communication,  
GIST)

※ 본 과제는 삼성전자의 DSC 와 GIST의 지원으로  
수행되었음

접수일자: 2005년2월11일, 수정완료일: 2005년9월6일

## I. 서 론

유비쿼터스 환경에서는 환경이 스스로 사용자 또는 환경의 맥락(context)을 파악하고, 개인화된 서비스를 언제 어디서나 사용자에게 제공할 수 있다. 이와 같은 환경 구현을 위해 많은 연구기관에서 맥락 인식(context awareness)에 대한 연구를 진행하고 있으며

맥락 정보를 이용한 다양한 어플리케이션을 개발하고 있다<sup>[1][2][3]</sup>. 이들 어플리케이션에서 다루는 맥락 정보는 서비스의 목적에 따라 서로 다르지만 모두 위치 정보를 활용한다는 공통점을 가진다. 이처럼 사용자나 대상물의 위치 정보는 언제 어디서나 개인화된 서비스를 제공하기 위해 연구되는 맥락 인식 서비스에서 중요한 요소로 다루어지고 있다. 현재 GPS나 CDMA 기술의 발전으로 실외에서 위치 추적에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이미 교통 정보 서비스나 911과 같은 서비스 등이 활성화되고 있다. 그러나 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 구현을 위해서는 실내에서도 사용자나 대상물의 위치 정보를 획득하기 위한 많은 연구가 필요하다.

현재, 실내에서 사용자를 추적하기 위해 다양한 위치 추적 시스템들이 개발되고 있다. 위치 추적을 위해 사용되는 대표적인 기술에는 삼각측량법, 장면 분석법 그리고 근접방법 등의 세 가지가 있다<sup>[4]</sup>. 삼각 측량법에 기반한 시스템에는 AT&T의 Active Bat, MIT의 Cricket 그리고 MSR의 RADAR 등이 있다<sup>[5][6][7]</sup>. 이와 달리 장면 분석법으로 사용자를 추적하는 시스템에는 MSR의 EasyLiving이 있다<sup>[8]</sup>. 마지막으로 근접방법을 사용하여 위치를 추적하는 시스템에는 AT&T의 Active Badge, Georgia 대학의 Smart Floor 등이 있다<sup>[9][10]</sup>. 이와 같은 시스템들은 모두 실내에서 사용자의 위치를 추적하기 위해 개발되었으며, 서비스의 목적에 따라 다양한 방법을 적용하고 있다. 그러나 대다수의 시스템들이 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사용자를 추적하는 경우 야기될 수 있는 프라이버시 문제를 고려하지 않고 있다. 또한 위치 추적의 단위가 수 센티미터로 조밀하여 위치 추적을 위한 연산의 부하가 크거나, 방 단위의 넓은 영역으로 사용자를 추적하여 정확도가 매우 낮다는 문제점이 있다. 따라서 프라이버시 문제를 고려하며, 효율적인 위치 추적이 가능한 실내 위치 추적 시스템에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 적외선 기반의 근접방법을 사용하여 이동 중인 사용자의 위치를 추적하는 시스템인 ubiTrack을 제안한다<sup>[11]</sup>. ubiTrack은 passive mobile 구조로 설계되어 사용자가 스스로 위치 정보의 노출을 제어할 수 있다<sup>[12]</sup>. 또한 센싱 영역을 더욱 조밀하게 나누어 기존의 근접 방법보다 더욱 정확하게 사용자의 위치를 추적한다. ubiTrack은 실내 사용자 위치 추적을 위해 적외선 송신기, 분배기, 적외선 수신기 그리고 활용 모듈 등의 네 가지의 구성 요소로 이루어져 있다. 각 요소의 동작은 다음과 같다. 우선 적외선 송신기 (IR

transmitter)는 천장에 격자 형태로 설치되어 각각의 센싱 영역을 형성하며, 각 센싱 영역은 고유 ID로 구성된다. 이때 모든 송신기는 위치에 따라 네 개중 하나의 그룹에 각각 속하게된다. 분배기 (Divider)는 각 그룹을 시분할 방식으로 동작시켜 센싱 영역의 중첩에 의해 발생하는 신호의 충돌 문제를 해결한다. 적외선 수신기 (IR receiver)는 전송되는 ID 신호를 수신하여 매 주기마다 하나의 패킷을 생성한다. 주기는 송신기에서 발생시키는 일괄적인 신호에 의해 구분 가능하다. 마지막으로 활용 모듈 (utilization module)은 수신기에서 전송되는 패킷을 위치 정보로 매핑하여 사용자의 위치를 파악한다. 활용 모듈은 획득된 위치 정보를 다양한 응용 서비스에서 사용할 수 있도록 ubi-UCAM의 네트워크 모듈과 연동되어있다<sup>[13]</sup>.

ubiTrack은 위치 추적의 정확도와 정밀도를 향상시키기 위해 세 가지 방법을 사용한다. 첫째로 적외선 발신기에서 생성하는 센싱 영역을 시분할 방식으로 중첩시켜 분할된 센싱 영역을 만든다. 이로 인해 ubiTrack은 분할된 영역을 기반으로 더욱 조밀한 위치를 추적할 수 있다. 둘째로 신호 강도의 약화로 발생하는 오류 ID 신호를 샘플링 기반으로 필터링하여 위치 추적의 정밀도를 높인다. 이와 같은 실시간 오류 필터링 방법은 센싱 영역의 가장 자리에서 발생하는 신호의 강도 약화에 따른 오류를 최소화시켜 더욱 강건한 위치 추적을 가능하게 한다. 마지막으로 ID 비교 및 변위 벡터 크기 비교 방법을 사용하여 패킷의 오류를 최소화 시킨다. 따라서 ubiTrack은 사용자가 이동 중에도 정확하게 사용자의 위치를 추적할 수 있다. 실험을 통하여 이와 같은 센싱 영역의 중첩과 필터링 방법의 사용은 ubiTrack의 정확도와 정밀도를 향상시킴을 알 수 있었다. 이와 같은 특징을 가지는 ubiTrack은 향후 도서관, 전시관, 병원, 실버타운 또는 백화점 등에서 다양한 실내 위치 기반 응용 서비스의 제공에 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 제안된 ubiTrack의 구조, 제안된 방법 그리고 구현에 대하여 각각 설명한다. 그리고 III장에서는 다양한 실험을 통하여 제안된 시스템의 성능을 검증하고 타 시스템과 비교를 통해 제안된 시스템의 강건함을 보여준다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문을 결론짓고 추후 과제에 대하여 언급한다.

## II. ubiTrack

ubiTrack은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 중요한 사용자 컨텍스트 중의 하나인 위치 정보를 맥락 인식 어플리케이션에 제공하기 위해 개발되었고 현재 광주과학기술원의 ubiHome 테스트 베드에 설치되어 개발 중인 맥락 인식 어플리케이션 등에 위치 정보를 제공하고 있다<sup>[14]</sup>. 특히, ubiTrack은 ubi-UCAM (Unified Context Application Model for ubiquitous computing)의 네트워크 모듈을 이용하여 위치 정보를 다양한 어플리케이션에 이름대 없이 제공한다<sup>[13]</sup>.

### 1. ubiTrack의 구조

ubiTrack은 프라이버시 문제를 완화하기 위해 passive mobile 구조로 설계되었다. Passive mobile 구조에서는 환경에 송신기를 설치하고 사용자가 지닌 수신기를 통해 위치를 파악한다<sup>[12]</sup>. 따라서 위치 정보가 사용자의 모바일 기기에서 도출되기 때문에 사용자가 자신의 위치정보 사용에 대한 우선권을 가질 수 있다. 예를 들면 카메라를 이용해 사용자의 위치를 추적하는 경우 사용자는 자신의 위치 노출을 막을 수 없지만, ubiTrack에서 사용된 방법의 경우는 사용자가 자신의 의사에 따라 위치 정보 노출을 직접 선택할 수 있다. 또한 passive mobile 구조는 위치 정보 획득에 필요한 연산이 각각의 모바일 기기에서 담당하기 때문에, 다수 사용자의 위치 정보를 파악하는 경우 연산의 부하가 분산된다는 장점이 있다.

ubiTrack은 적외선 기반의 근접방법을 사용하며, 시분할 방식으로 센싱 영역을 중첩시켜 신호의 충돌 없이 사용자 위치를 추적한다. 이를 위해 천장에 설치된 송신기들은 위치에 따라 A, B, C 그리고 D 그룹으로 각

각 지정되며, 각 그룹은 분배기에 의해 순차적으로 동작된다. 따라서 전체 영역은 센싱 영역의 중첩에 의해 더욱 작은 영역으로 분할되어 더욱 높은 정확도의 위치 추적이 가능하다.

그림 1은 천장에 배치된 송신기들에 의해 생성되는 2차원 센싱 영역을 나타낸다. 큰 원은 센싱 영역을 나타내며 내부의 작은 원은 적외선 송신기를 나타낸다. 송신기들은 A, B, C 그리고 D 그룹으로 나누어지고, 하나의 그룹에 속한 송신기들이 생성하는 센싱 영역은 서로 간에 충돌이 일어나지 않도록 일정하게 유지된다. 현재, A', B', 그리고 C' 등의 분할된 영역이 위치 추적의 기본 단위로 사용되고 있다.

ubiTrack은 네 개의 세부 요소로 구성되어 있다. 적외선 송신기는 종 모양 (bell shape)의 센싱 영역을 형성하며, 고유 ID (unique ID)와 동기화 ID (synchronizing ID)로 구성된다. 고유 ID는 영역을 구분지며, 동기화 ID는 ID 시퀀스의 주기를 대표한다. 분배기는 네 개의 그룹을 각각 순차적으로 동기화 시켜 신호 충돌을 해결한다. 그림 2은 분배기가 생성하는 펄스 시퀀스를 보여주며, 네 개의 그룹을 약 130ms 마다 순차적으로 동작 시킨다.

적외선 수신기는 송신기로부터 전송되는 ID 신호를 수신하여 매 주기마다 하나의 패킷을 생성한다. 패킷의 크기는 최대 5 bytes로 구성되며, 동기화 신호 (1 byte)와 고유 ID (Max 4 bytes)로 구성된다. 패킷의 크기는 사용자의 위치에 따라 가변적이다. 예를 들면, 사용자가 그림 1의 C' 영역에 있는 경우 패킷의 크기는 4 ~ 5 bytes가 되며, B'에 위치한 경우는 3 bytes가 된다. 생성된 패킷은 매 주기마다 시리얼 통신을 통해 모바일 기기로 전송된다. 활용 모듈 (utilization module)은 모

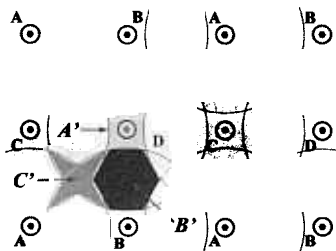


그림 1. 센싱 영역의 중첩을 통해 분할된 영역의 예  
Fig. Example of sub-areas by overlapping sensing area.

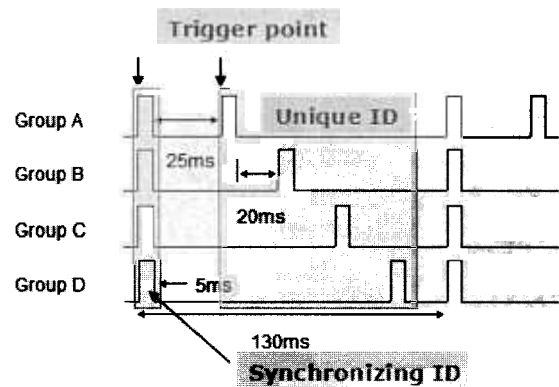


그림 2. 적외선 송신기를 동기화 시키는 분배기의 펄스 시퀀스

Fig. 2. Pulse sequence synchronizing IR transmitters.

바일 기기에서 실행되는 소프트웨어로 입력된 패킷을 이미 저장되어 있는 맵 데이터와 비교하여 사용자의 위치를 도출한다. 도출된 위치 정보는 모바일 r기기의 서비스뿐만 아니라 ubi-UCAM의 네트워크 모듈을 통해 외부의 다양한 서비스에서 사용될 수 있다. 그림 3의 (a)는 ubiTrack의 전체 구조를 보여주며, (b)는 테스트 베드에 설치된 ubiTrack을 나타낸다. 천장에는 적외선 송신기와 이를 동작시키는 분배기가 설치되며, 적외선 수신기가 부착된 모바일 기기에서는 활용모듈이 실행된다.

ubiTrack은 매 주기마다 사용자의 위치를 파악한다. 따라서 주기의 길이가 위치 추적의 성능에 영향을 미치며, 주기는 ID 신호의 전송 시간과 밀접한 관계가 있다. ubiTrack은 실시간으로 위치를 추적하기 위해 약 20ms 정도의 전송 시간을 가지는 ID 신호를 사용한다. 따라서 ubiTrack은 동기화 ID 신호의 전송 시간을 포

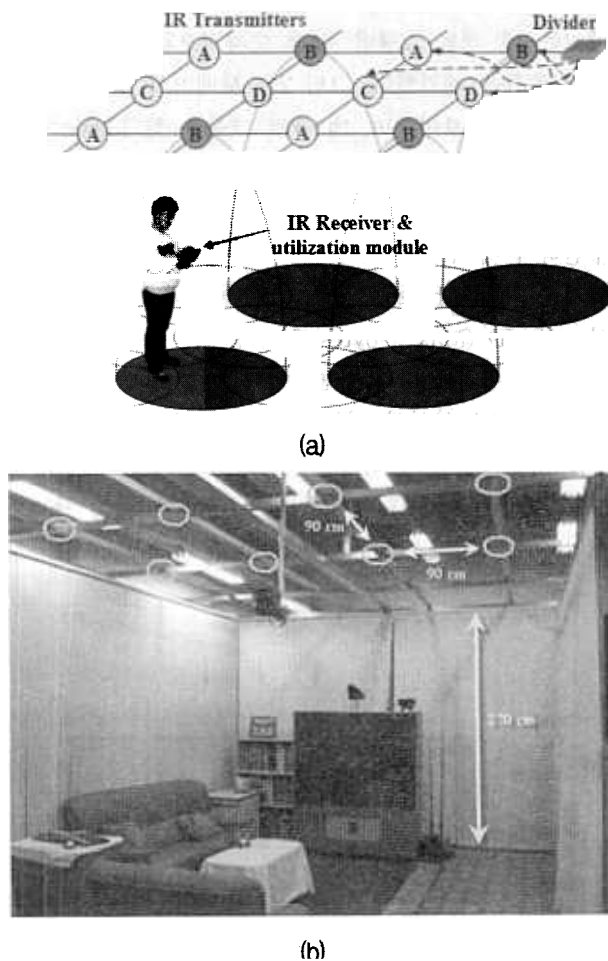


그림 3. ubiTrack (a) ubiTrack의 구조 (b) ubiTrack이 ubiHome 테스트 베드에 설치된 모습  
 Fig. 3. ubiTrack (a) Architecture of ubiTrack (b) ubiTrack in ubiHome test-bed.

함하여 약 130 ms 마다 사용자의 위치를 획득한다. 그림 4의 (a)는 송신기에서 관측된 ID 신호를 보여주며 그림 4의 (b)는 수신기에서 관측된 ID 신호를 나타낸다. 이때 ID 신호는 수신기에서 반전되어 나타난다. ID 신호는 "Trigger bits"와 "Data bits"의 두 개의 세부 신호로 구성된다. "Trigger bits"는 RF 통신의 preamble과 같이 ID 신호의 입력을 알리는 동시에 뒤따른 "Data bits"를 안정화시킨다. "Data bits"는 각 송신기에 할당된 ID를 나타내며, 각 비트는 펄스폭의 길이에 따라 달라진다. 즉, "0" 비트는 1440 $\mu$ s의 low 펄스와 720 $\mu$ s의 high 펄스로 구성되며, "1" 비트는 720 $\mu$ s의 low 펄스와 1440 $\mu$ s의 high 펄스로 구성된다.(그림 4의 (b)).

2. 오류 최소화 방법

ubiTrack은 수신기와 활용 모듈에서 강건한 위치 추적을 위해 세 가지 방법을 사용한다. 수신기에서는 샘플링 기반 필터링 방법으로 정밀도를 높이며, 활용 모듈에서는 순차적 ID 할당 방법과 변위 벡터 크기 비교 방법을 통해 정확도를 향상 시킨다.

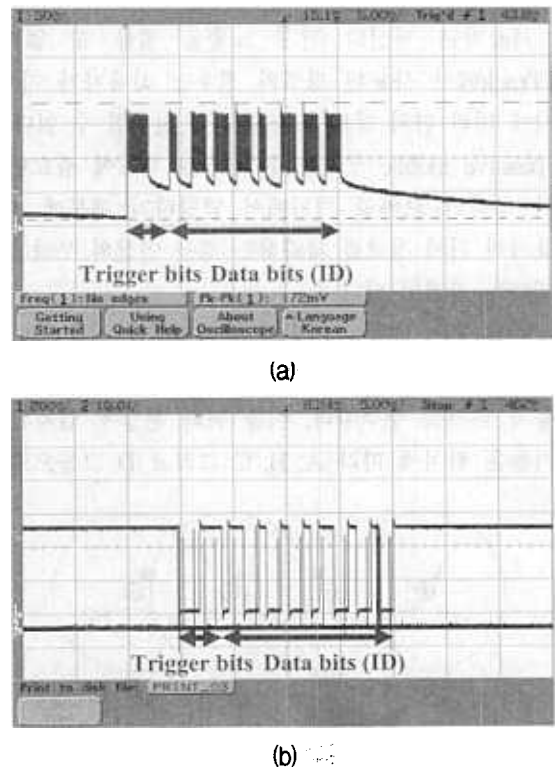
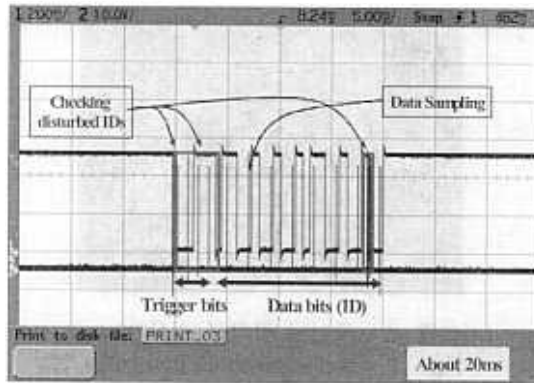
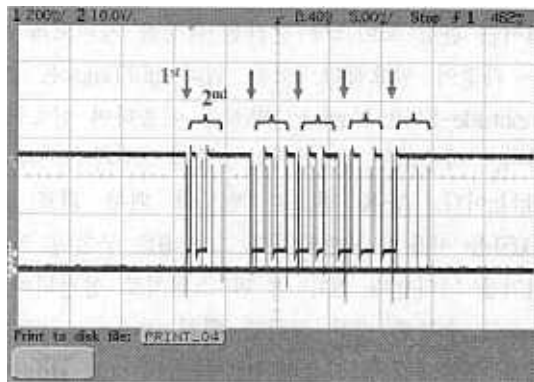


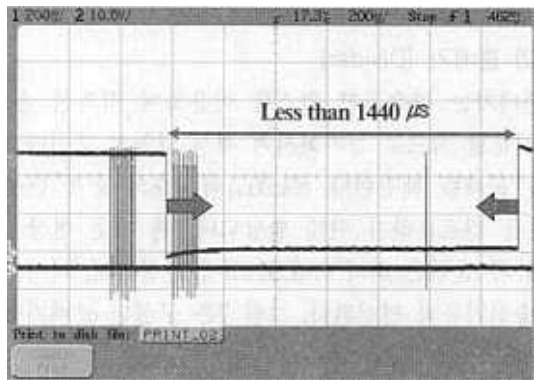
그림 4. ID 신호의 파형 (a) 적외선 송신기에서 전송되는 ID 신호 (b) 적외선 수신기에서 관측된 ID 신호  
 Fig. 4. Waveform of ID signal (a) Transmitted ID signal at IR transmitter (b) Observed ID signal at IR receiver.



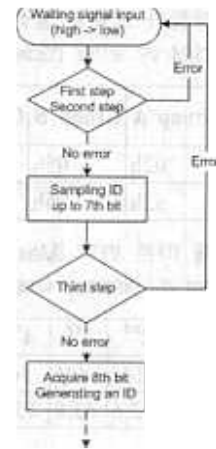
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 샘플링을 이용한 오류 ID 신호의 필터링 (a) ID 신호에서 샘플링이 수행되는 구간 (b) 병합된 단계를 통한 오류의 회피 (c) 신호 강도 약화에 따른 ID 신호의 흔들림 (d) ID를 획득하는 동작 순서

Fig. 5. Filtering methods of error ID signal by sampling (a) Sampling points of received ID signal (b) Jump over remained part of error ID signal by exploiting two steps (c) Fluctuation of ID signal by intensity weakness (d) Data flow to acquire ID.

제 단계에 "Trigger bits"에서 발생하는 오류를 검출하며, 1ms 간격으로 4-bit 샘플링을 수행한다. 또한 두 번째 단계는 오류 ID 신호의 잔여 구간을 벗어날 때에도 이용된다 (그림 5의 (b)). 즉, "Data bits"의 매 비트가 1ms 보다 작은 구간을 포함하기 때문에, 언제나 샘플링된 값이 항상 "Trigger bits"과 다르다. 세 번째 단계는 신호 강도가 약해져 신호의 전체 길이가 변하는 경우에 유효하다. 6.67 μs 간격의 8-bit 샘플링이 7번째 비트 펄스의 하강 모서리 전후에서 수행되며, 8-bit 샘플링 간의 간격은 160 μs이다. 제안된 방법은 변화가 ID 신호의 판단에 근접할수록 민감하게 반영되는 실험적 관찰에 의해 제안되었다 (그림 5의 (c)). 그림 5의 (d)는 제안된 방법의 동작 순서를 보여준다.

(1) 샘플링 기반 필터링 방법

실험에 따르면 수신기는 충격에 의한 임펄스 노이즈와 신호 약화에 영향을 받는다. 이를 극복하기 위해 수신기에서는 샘플링을 이용해 오류 ID 신호를 실시간으로 제거한다. 제안된 필터링 방법은 세 가지 단계로 구성되며 ID 신호를 입력받음과 동시에 순차적으로 수행된다. 그림 5의 (a)는 ID 신호에서 샘플링이 수행되는 시점을 나타낸다. 우선 첫 번째 단계는 임펄스 노이즈에 유효하다. 즉, 전압이 high (5V)에서 low (0V)로 떨어지는 순간에 6.67 μs 간격으로 8-bit를 샘플링하여, 일시적으로 발생하는 임펄스 노이즈를 검출한다. 두 번

(2) ID 비교 및 변위 벡터 크기 비교 방법

ID 비교 방법은 패킷의 ID를 서로 비교하여 패킷의 오류를 제거한다. ubiTrack은 그룹의 순서에 (A, B, C 그리고 D) 따라 ID를 오름차순으로 할당한다. 따라서 A 그룹에 속한 ID는 B 그룹에 속한 ID 보다 작아야 하며, 이를 위배하는 경우는 오류로 간주한다. 활용 모듈에서는 패킷을 구성하는 ID를 순차적으로 상호 비교하

표 1. 정상적인 패킷과 오류가 발생한 패킷  
Table 1. Correct packet vs. error packet.

Packet	Synch. ID	Group A	Group B	Group C	Group D
Correct	00h	02h	05h	0ah	0ch
Error	00h	a2h	05h	0ah	0ch

표 2. 경과 시간에 따른 변위 (Max. 150cm/sec.)  
Table 2. Displacement by elapsed time.(Max. 150cm/sec.)

	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>
Elapsed time (ms)	142	284	426	568	710	852	994
Displacement(cm)	21.3	42.6	63.9	85.2	107	128	149

는 방법을 사용하여 패킷의 오류 유무를 판단 한다. 표 1은 정상적인 패킷과 오류가 발생한 패킷의 예를 보여 준다. A 그룹의 ID (a2h)가 B 그룹의 ID (05h) 보다 큰 값을 가지고 있어 패킷에 오류가 있음을 알 수 있다.

변위 벡터 크기 비교 방법은 현재 좌표와 바로 전 단계의 좌표로부터 변위 벡터를 획득하고, 벡터의 크기를 기준치와 비교하여 위치 정보의 오류 유무를 판단한다. 식 (1)은 제안된 방법의 조건을 나타내며, 변위 벡터의 크기가 기준치를 초과할 경우 오류로 판단한다.

$$working\ speed \times Elapsed\ time > Length\ of\ displacement \quad (1)$$

여기서, 경과 시간은 ubiTrack이 위치 정보를 획득하는 주기이다 (약 130ms). 표 2는 사용자의 이동 속도를 150cm/sec.로 설정한 경우 계산된 기준 거리를 나타낸다. 제안된 방법은 측정된 시간 간격과 거리를 기준치의 ± 1% 오차 범위에서 비교한다. 이와 같은 기준은 사용자의 평균 이동 속도가 약 100cm/sec. 임을 감안할 때 적용 가능하다.

### 3. ubiTrack의 구현

ubiTrack은 네 가지의 세부 모듈로 구성되며, 그 중 세 가지가 하드웨어로 구현된다: 적외선 송신기, 분배기 그리고 적외선 수신기. 모든 세부 모듈의 메인 CPU는 8-bit 마이크로 컨트롤러인 ATMEL의 89c2051로 제작되었다. 89c2051은 내부에 내장된 2K bytes의 플래시 메모리가 있어 별도의 외부 어드레스 포트가 필요 없기 때문에 모듈을 작게 설계할 수 있는 장점이 있다.

#### (1) 적외선 송신기 (IR Transmitter)

적외선 송신기는 할당 받은 ID를 전송하는 역할을 한다. ID 신호는 II장 1절에서 설명한 펄스 시퀀스로

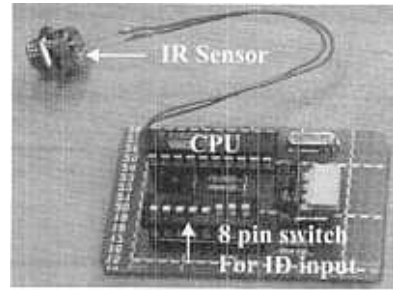


그림 6. 구현된 적외선 송신기  
Fig. 6. Implemented IR transmitter.

구성된다. 송신기가 ID 신호를 먼 거리까지 전송하기 위해서는 환경 노이즈에 강건한 특성을 지니도록 변조하는 과정이 필요하다. 이를 위해 ubiTrack은 ASK (Amplitude-Shift Keying) 방식을 이용하여 신호를 변조하며, 사용되는 캐리어의 중심 주파수 대역은 37.9kHz이다. ASK 변조는 별도의 외부 회로 없이 89c2051을 이용해 구현되었다. 그림 6은 구현된 적외선 송신기를 나타낸다. ID는 8 핀 스위치로 설정되며, IR sensor는 충분한 전류 공급을 위해 common collector 회로로 구현되었다. 사용된 IR sensor는 CL-1L5R이며 반각은 15°이다.

#### (2) 분배기 (Divider)

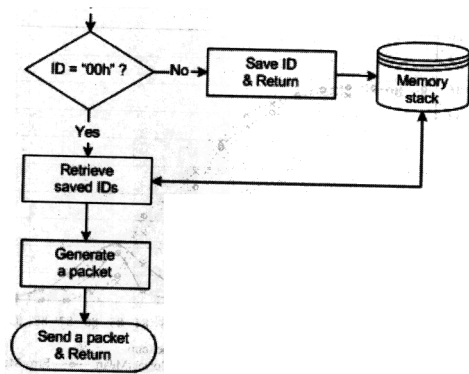
분배기는 연속적인 펄스를 이용하여 적외선 송신기를 시분할 적으로 동기화시켜 센싱 영역의 중첩에 의한 충돌 문제를 해결한다. 89c2051의 4개의 출력 핀이 각 그룹을 컨트롤하기 위해 할당되며, 팬 아웃 현상을 고려해 각 출력은 버퍼 (74LS245)에 연결되며, 다시 적외선 송신기들과 연결된다. 그림 7은 구현된 분배기를 보여준다.



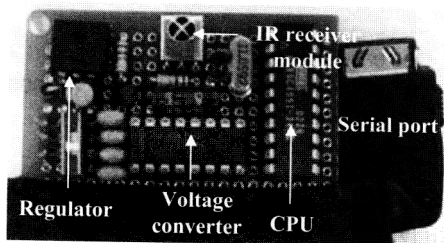
그림 7. 구현된 분배기  
Fig. 7. Implemented divider.

#### (3) 적외선 수신기 (IR Receiver)

적외선 수신기는 ID 신호를 전송받아 주기마다



(a)



(b)

그림 8. 적외선 수신기 (a) 패킷 생성을 위한 동작 순서 (b) 구현된 적외선 수신기

Fig. 8. IR receiver (a) Data flow to acquire a packet (b) Implemented IR receiver.

하나의 패킷을 생성하고, 이를 활용 모듈로 넘기는 역할을 한다 (그림 8의 (a)). 수신기는 그림 5의 (d) 과정을 통해 획득한 ID가 동기화 ID (00h)인지 여부를 판단한다. 동기화 ID가 아닌 경우는 패킷을 생성하기 위해 ID를 메모리 스택에 저장하고, 동기화 ID인 경우는 그동안 저장된 ID를 모두 회수하여 하나의 패킷을 만든다. 생성된 패킷은 시리얼 통신으로 연결된 모바일 기기에 전송된다. 그림 8의 (b)는 구현된 적외선 수신기를 보여준다. 사용된 적외선 수신 모듈(KSM603LM)은 전송되는 적외선 신호의 캐리어와 동일한 주파수 대역을 가지는 LPF (Low Pass Filter)를 내장하고 있어 캐리어 신호를 제거한 후 디지털 신호를 출력한다.

#### (4) 활용 모듈 (Utilization Module)

활용 모듈은 모바일 기기에서 동작하는 소프트웨어로 적외선 수신기에서 생성된 패킷을 현실 공간의 좌표값으로 변환한다. 그림 9는 활용 모듈의 동작 순서를 보여준다. 우선 모바일 기기의 시리얼 버퍼로부터 읽어 들인 패킷의 ID가 순차적 할당되었는지를 검사한다. 오류가 없는 경우는 DB에 저장되어 있는 좌표와의 매핑을 통해 위치 정보를 획득한다. 위치 정보는 이전의 위

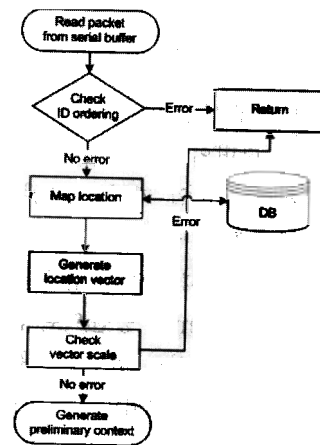


그림 9. 위치를 도출하는 활용 모듈의 동작 순서

Fig. 9. Data flow of utilization module to acquire location information.

치 정보와의 연산으로 변위 벡터로 생성되며, 변위 벡터의 크기를 기준치와 비교하여 오류를 제거한다. 이와 같은 과정을 통해 ubiTrack은 사용자의 위치뿐만 아니라 이동 방향까지 알 수 있다. 생성된 위치 정보는 외부의 다양한 서비스에서 사용되기 위해 ubi-UCAM이 제안하는 초벌 컨텍스트 (preliminary context)의 포맷으로 변환되어 사용된다<sup>[12]</sup>.

### III. 실험 및 실험 결과

제안된 ubiTrack의 기본적인 특성 및 사용된 알고리즘의 강건함을 파악하기 위해 다양한 실험을 하였다. 실험은 다음과 같은 목적을 가지고 순차적으로 진행되었다. 우선 테스트 베드에 ubiTrack을 설치하기 위한 이론을 확립하기 위해 수신기의 높이 변화에 따른 센싱 영역의 면적 변화를 측정하였고, 차후에 수신기에서 사용된 알고리즘의 강건함을 실험하였다. 그리고 측정된 센싱 영역을 기반으로 발신기의 효과적인 배치를 기하학적으로 분석하였다. 기본적인 실험 결과에 기반을 두어 ubiTrack을 테스트 베드에 설치한 후의 실험은 다음과 같다. 우선 ubiTrack에서 위치 추적의 기본 단위로 사용하는 분할된 영역 (A', B' 그리고 C')에서 수신되는 패킷의 안정도를 측정하였고, 임의의 지점에서 수신기 각도에 따른 패킷 수신율의 변화를 측정하였다. 그리고 실제 사용자가 이동하는 경우에 분할된 영역의 정합을 confusion matrix를 이용하여 파악하였다. 마지막으로 로봇과 사용자를 대상으로 이동에 따른 변화를 관측하고, 활용 모듈에서 적용되는 순차적 ID 할당 방법 및 변위 벡터 크기 비교 방법의 강건함을 검증하였다.

1. 기본적인 특성 실험

근접 방법을 이용하여 사용자의 위치를 일관성 있게 추적하기 위해서는 센싱 영역의 단면이 일정해야하며, 높이 변화에 따른 단면의 면적 변화가 미소해야 한다. 이를 파악하기 위해 모바일 기기에 수신기를 부착하여 사용자가 사용하는 평균 높이를 측정하였다. 170cm~180cm의 사용자 9명을 대상으로 한 실험에서 모바일 기기의 사용 높이가 120cm를 중심으로 분포함을 알 수 있었다. 그림 10의 (a)는 실험 환경을 나타낸다. 적외선 발신기는 270cm 높이에 설치되었으며, 매초 16번의 ID 신호를 전송하였다. 그리고 수신기를 100cm 높이에 설치하고, x축을 따라 1cm 간격으로 이동시키며, 매 1초 간격으로 10초 동안 받은 ID의 개수를 평균하였다. 그 후 적외선 센서를 45°도씩 변화 시키며 동일한 과정을 반복하였다. 마지막으로 140cm까지 10cm 씩 높이를 증가시키며 상기 과정을 반복하였다.

그림 11은 센싱 영역의 3차원 측정 결과를 보여준다. 측정 오차를 고려할 때 센싱 영역의 단면은 대칭성을 가지는 원형임을 알 수 있었고, 높이에 따라 반지름의 변화율이 최대 3cm 미만으로 미소함을 알 수 있었다. 그리고 사용자가 모바일 기기를 사용하는 평균 높이인 120cm 구간에서 센싱 영역 단면의 반지름이 약 74cm

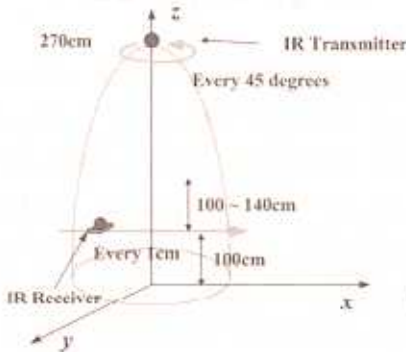


그림 10. 센싱 영역 측정하기 위한 셋팅  
Fig. 10. Setting to measure sensing area.

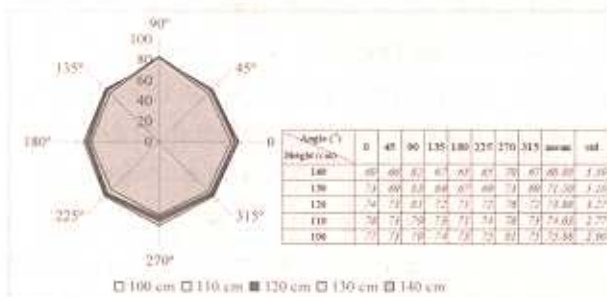


그림 10. 센싱 영역 측정하기 위한 셋팅  
Fig. 10. Setting to measure sensing area.

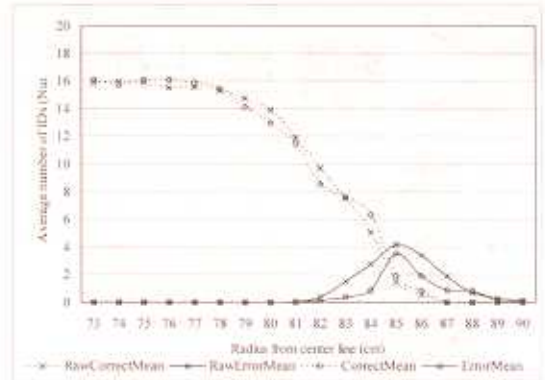


그림 12. 샘플링 기반 필터링 방법에 의한 오류 ID의 감소  
Fig. 12. Decrease of the number of the error ID by exploiting sampling-based filtering method.

임을 파악하였다.

신호의 강도가 약해지는 센싱 영역의 가장자리에서는 오류 ID가 발생하는 구간이 분포하였다. 두 번째 실험에서는 샘플링 기반 필터링 방법을 적용하는 경우에 따른 오류 ID 구간의 변화를 관찰하였다. 실험 환경은 센싱 영역 측정 실험과 동일하며, 측정 결과를 제안된 필터링 방법을 제거한 경우의 결과와 비교하였다. 그림 12는 실험 결과를 나타낸다. 'o'로 표현되는 그래프는 제안된 방법을 적용한 경우의 옳은 ID의 개수와 에러 ID의 개수이다. 'x'로 표현되는 그래프는 제안된 방법이 제거된 경우의 결과이다. 필터링 방법을 적용한 경우 오류 ID의 발생이 10% 미만인 구간과 이에 따른 오류 ID의 누적이 3cm와 43.5%로 각각 감소함을 알 수 있었다.

ubiTrack은 송신기를 각자 형태로 배치하여 센싱 영역을 분할하고, 이 분할된 영역을 기반으로 위치를 추적한다. 따라서 송신기의 간격에 따라 분할되는 영역의 균동함 여부를 파악하기 위해 기하학적인 분석을 하였다. 우선 분할되는 영역의 면적을 계산하기 위해 근사적으로 l, x, y, z 그리고 w 등의 변수를 할당하였다 (그림 13의 ①). 그리고 센싱 영역의 중첩에 의해 분할되는 영역인 A', B', C', D' 그리고 E' 등의 면적을 송신기 간의 거리 (d)과 센싱 영역의 반지름 (r)의 함수로 나타내었다 (그림 13의 ②). 반지름은 74cm로 설정하였다. 분할된 영역은 거리의 함수로 나타나며, 거리의 변화는 센싱 영역 간의 중첩이 일어나는 조건을 만족한다. (그림 13의 ③).

그림 14는 제안된 조건에서 송신기 간의 거리를 변화시키는 경우 얻는 분할된 영역의 변화이다. 센싱 영역

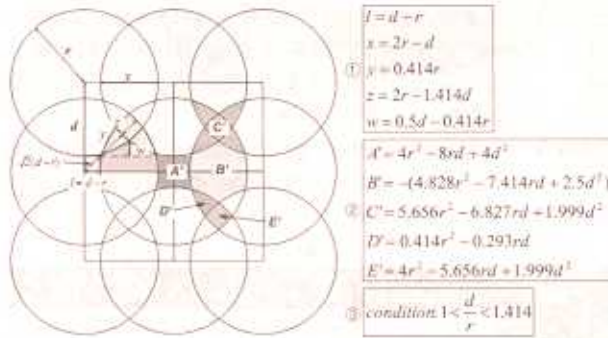


그림 13. 분할된 영역의 기하학적인 분석  
 Fig. 13. geometrical analysis of separated sections.

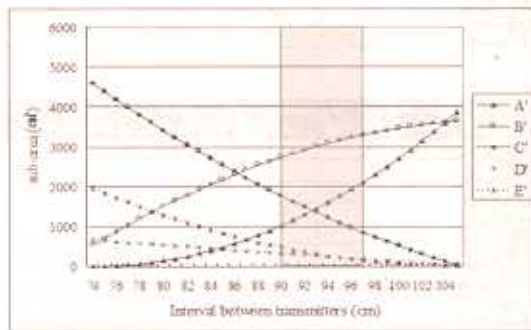


그림 14. 송신기 간 거리에 따른 분할된 영역의 변화  
 Fig. 14. Change of area size of each sub-area by change of distance between IR transmitters.

의 단면은 원이기 때문에 선택한 3가지 영역의 면적이 서로 균등하지는 않지만 원활하게 위치를 추적할 수 있도록 최소 면적이 1000cm<sup>2</sup> (> 30cm × 30cm) 이상인 구간을 선택하였다 (90cm ~ 97cm). 실험 결과 D'과 E' 영역은 최소 면적이 1000cm<sup>2</sup>보다 작아 C' 영역으로 재구성 하였다. 최종적으로 ubiTrack은 송신기 간의 거리를 90cm 간격으로 테스트 베드에 설치하였다.

2. 실제 환경에서의 실험

이전 실험 결과를 바탕으로 송신기를 테스트 베드 설치하고, 사용자가 고정된 위치에 있는 경우와 이동 중인 경우에 따른 실험을 하였다. 실험에서 수신기는 120cm에 배치되었다. 첫 번째 실험은 그림 15의 ①, ②, 그리고 ③ 지점에 수신기를 배치하고 시간 경과에 따른 수신율의 변화를 관측하였다. ①, ②, 그리고 ③은 분할된 영역인 A', B' 그리고 C'을 각각 나타낸다.

그림 16은 분할된 영역에서 측정된 패킷의 변화를 보여준다. 실험 결과 ①과 ② 영역에서는 패킷의 수신율이 일정함을 알 수 있었다. 그러나 ③의 경우에는 작은 면적의 조합으로 이루어졌기 때문에 패킷의 수신율이 일정하지 않았으며, 전체 패킷의 개수 중 9.3%의 혼들

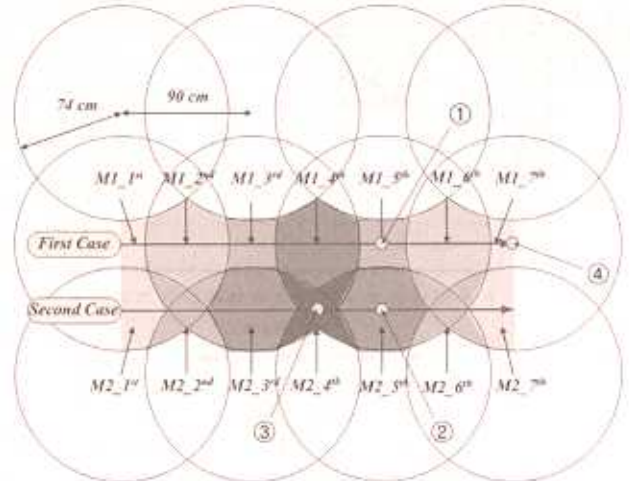


그림 15. ubiTrack을 테스트 베드에 설치한 후의 실험 환경 설정  
 Fig. 15. Experimental environment after arrangement of IR transmitters on test bed.

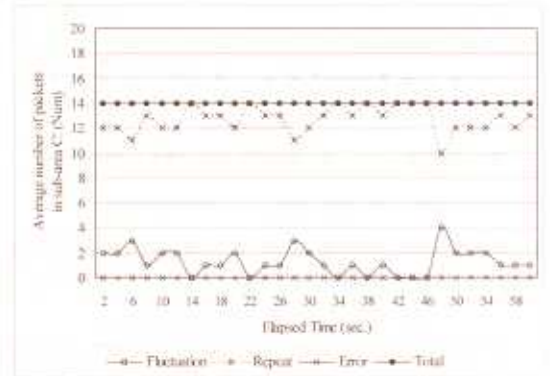
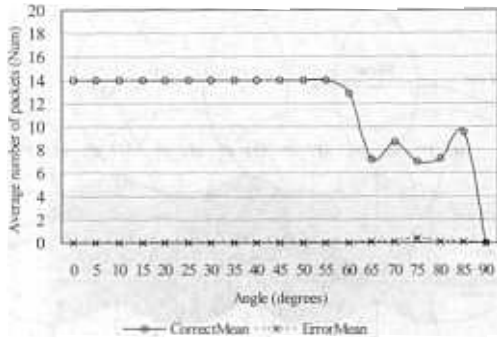


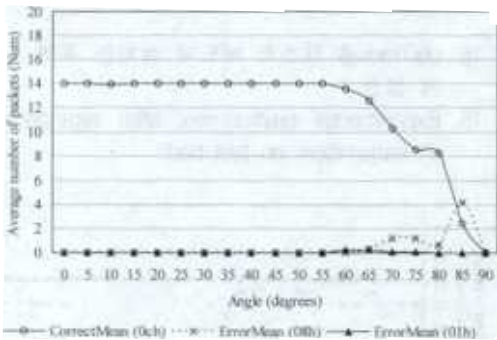
그림 16. C' 영역에서의 패킷의 수신율 변화  
 Fig. 16. Change of reception rate at the sub-area C'.

림이 발생하였다 (fluctuation error). 그림 16은 실험 결과를 보여준다.

적외선은 방향성이 있기 때문에 사용자가 이동하는 경우 수신기가 흔들리게 되어 패킷의 수신율이 영향을 받을 수 있다. 따라서 두 번째 실험에서는 수신기의 각도 변화에 따른 패킷 수신율의 변화를 파악하였다. 실험은 그림 15의 ④ 지점에서 수행되었으며, 센싱 영역이 대칭성을 가지기 때문에 한 방향으로만 각도를 5°씩 변화 시키며 패킷의 개수를 파악하였다. 그림 17은 하나의 송신기를 동작시킨 경우와 모든 송신기를 동작시킨 경우에 대한 실험 결과를 보여준다. 그림 17의 (a)의 경우 수신율의 개수가 55° 지점에서 변화함을 알 수 있었다. 그리고 (b)의 경우도 마찬가지로 55°에서 수신율이 변화하였으며, 주변의 송신기의 영향으로 오류 패킷이 수신됨을 관측할 수 있었다. 실험 결과 올바른 위치 추적이 가능한 수신기의 기울기 한도가 0° ~ 55°로



(a)



(b)

그림 17. 각도의 변화에 따른 패킷의 수신율 변화 (a) 하나의 적외선 송신기를 동작시킨 경우 (b) 모든 적외선 송신기를 동작시킨 경우

Fig. 17. Change of reception rate of packet by change of receiver's angle (a) A transmitter turns on (b) All transmitters turn on.

폭넓게 분포함을 알 수 있었다.

세 번째 실험은 테스트 베드에 설치된 ubiTrack이 이상적인 경우와 얼마나 차이가 나는지를 파악하기 위해 수행되었다. 이를 위해 ER1 로봇이 이용되었다<sup>[15]</sup>. 그림 15의 "First case"와 "Second case"에 나타난 화살표 방향으로 로봇을 10cm/sec로 이동시키며 각 지점에서 받아들이는 패킷의 개수를 파악하였다. 그리고 측정 결과를 confusion matrix를 이용하여 표 3과 같이 나타내었다. matrix의 각 행은 각 영역에서 예측되는 패킷의 개수를 나타내며, 각 열은 각 영역에서 로봇이 실제 수신한 패킷의 개수를 나타낸다. 실험 결과 테스트 베드에 설치된 ubiTrack은 이론적인 경우와 비교할 때 약 80%까지 정합됨을 알 수 있었다. 이때 로봇이 서로 다른 영역을 이동하는 경우 예상되던 fluctuation error는 발생하지 않았다 (그림 16의 (b)).

마지막으로 로봇과 사용자를 이용해 이동 중인 경우에 입력되는 패킷의 수신율 변화를 비교해 보았다. 로

표 3. 로봇의 이동에 따른 변화를 나타내는 confusion matrix (a) 로봇이 "First case"를 따라 이동하는 경우의 결과 (b) 로봇이 "Second case"를 따라 이동하는 경우의 결과

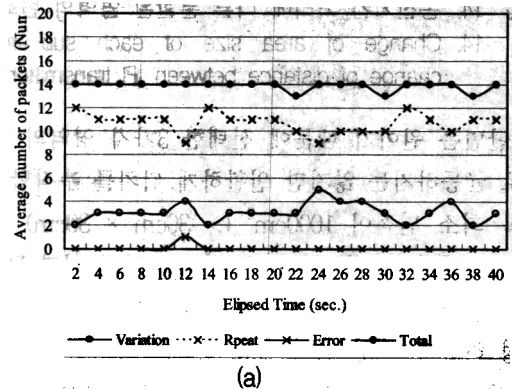
Table 3. Confusion matrix by movement of robot (a) Results in case of first line (b) Results in case of second line.

(a)

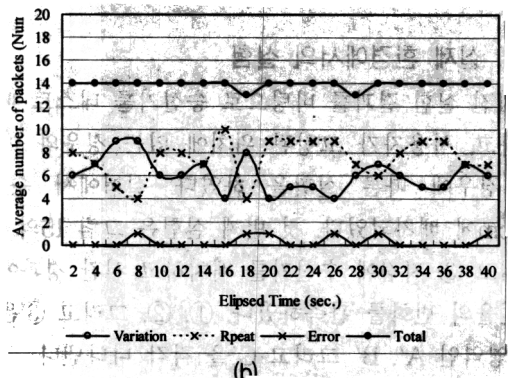
First Case (M)	Actual							Prediction Totals	Prediction Errors %
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th		
Predict 1st	11							11	0
2nd	12	19	10					41	53.65
3rd			23					23	0
4th			1	29	11			41	31.7
5th					22			22	0
6th						17	17	41	58.53
7th							11	11	0
Actual Totals	23	19	33	29	50	17	18	189	20.55
Actual Errors %	52.17	0	33.33	0	58	0	38.88	25.77	

(b)

Second Case (M)	Actual							Prediction Totals	Prediction Errors %
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th		
Predict 1st	21							21	0
2nd	2	14	5					21	33.33
3rd			33	8				41	19.51
4th				13	8			21	38.09
5th					41			41	0
6th						2	19	21	9.52
7th							9	12	42.85
Actual Totals	23	14	38	21	51	28	12	187	20.47
Actual Errors %	8.69	0	13.15	38.09	19.6	32.14	0	15.95	



(a)



(b)

그림 18. 대상물이 이동하는 경우의 패킷의 수신율 변화 (a) 로봇의 이동에 따른 패킷의 수신율 (b) 사람의 이동에 따른 패킷의 수신율

Fig. 18. Change of reception rate by movement of object (a) In case of movement of robot (b) In case of movement of human subject.

봇의 이동은 흔들림이 적기 때문에 이상적인 경우로 간주 하고, 사용자의 경우는 실제 상황으로 간주하였다. 실험에서 사용된 로봇의 최대 이동 속도는 40cm/sec. 이며, 사용자의 이동 속도는 약 100cm/sec. 이었다. 그림 18의 (a)와 (b)는 로봇을 이용한 경우와 사용자가 모바일 기기를 들고 이동하는 경우의 측정 결과를 각각 보여준다. "Variation"은 사용자가 이동할 때 변하는 패킷의 개수를 나타낸 것으로 이동 속도가 높은 사용자의 경우가 더 높았다. "Repeat"는 동일한 패킷의 개수를 나타낸 것으로 제자리에서 회전하는 경우나 이동하지 않는 경우 일시적으로 증가하였다. "Error"는 발생한 패킷 오류의 개수로 ID 비교와 변위 벡터 크기 비교에 의해 검출되었으며, 사용자의 경우에 0.36%에서 2.1%로 증가함을 알 수 있었다.

### 3. 타 시스템과의 비교

표 4는 앞에서의 여러 실험을 바탕으로 한 ubiTrack과 기존의 시스템과의 차이점을 보여준다. ubiTrack과 같은 위치 추적 방법을 사용한 Active Badges<sup>[9]</sup>는 정확도가 방 단위로 매우 크며 프라이버시 문제를 고려하지 않는다. UWB를 사용하는 ubiSense<sup>[16]</sup>는 15cm 정도의 오차를 가지고 있지만 가격이 비싸며 WLAN을 사용하는 RADAR<sup>[7]</sup>은 오차 간격이 커서 좁은 실내에서 사용하기는 어려움이 있다. Cricket<sup>[6]</sup>의 경우에는 정확도가 120cm 정도로 다소 크고 RF와 ultrasound를 이용한 삼각측량법을 사용함으로 다소 많은 컴퓨팅 파워를 필요로 하기 때문에 약간의 지연이 발생한다. 이에 반해 ubiTrack의 경우에는 Active Badges와 같은 IR 근접방법을 사용함에도 불구하고 앞에서 논의한 대로 중첩영역을 사용해서 정확도를 15cm까지 줄였고 II장

표 4. 타 시스템과의 비교

Table 4. Comparison with the other systems<sup>40</sup>.

Technology	Technique	Accuracy (m)	Cost (won)	Privacy problem	Limitation
Active Badges	IR proximity	Room size	Cheap tags and bases	Not considered	Light interference
ubiSense	UWB	0.15	Over 10,000,000	Not considered	High cost
RADAR	RF triangulation	3~4.5	~ 100,000 (Wireless NICs)	Not considered	Wireless NICs required
Cricket	Radio & ultrasound triangulation	1.2	~ 10,000 (Beacons and receivers)	Considered	Significant delay (1~3s)
ubiTrack	IR proximity	0.15~0.60	Receiver ~ 6,500 Transmitter ~ 3,700	Considered	Small extensibility

에서 논의한 오류 최소화 방법을 사용하여 다른 환경요인의 간섭을 최소화 하였다. 또한 다른 시스템에 비해 가격이 매우 저렴하고 프라이버시 문제도 고려하고 있다. 하지만 확장성이 용이하지 않다는 것은 해결해야 할 문제이다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 적외선 근접방법을 기반으로 이동 중인 사용자의 위치를 추적하는 시스템인 ubiTrack을 제안하였다. ubiTrack은 passive mobile 구조로 설계되어 프라이버시 문제를 완화 할 수 있으며, 기존의 근접 방법보다 더욱 조밀하게 사용자의 위치를 추적할 수 있다. 또한 분배기에 의한 센싱 영역의 시분할 중첩, 수신기에서의 샘플링 기반 필터링 그리고 활용 모듈에서의 ID 비교 및 변위 벡터 크기 비교 방법 등을 통해 정확도와 정밀도를 향상시켜 실내에서 강건하게 사용자를 추적할 수 있다. 이와 같은 특징을 가지는 ubiTrack은 향후 도서관, 전시관, 병원, 실험타운 또는 백화점 등에서 다양한 실내 위치 기반 응용 서비스의 제공에 중추적인 역할을 할 것으로 기대된다. 추후에는 다양한 형태로 송신기를 배치하고, 이에 따른 센싱 영역을 기하학적으로 분석하여 보다 균일한 영역을 기반으로 사용자 위치 추적을 연구할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Gregory D. Abowd, Anind Dey, Robert Orr and Jason Brotherton, "Context-Awareness in Wearable and Ubiquitous Computing," *1st International Symposium on Wearable Computers*, pp. 179~180, 1997.
- [2] Cooperstock, J.R., Tanikoshi, K., Beirne, G., Narine, T. and Buxton, W., "Evolution of a Reactive Environment," *CHI '95*, pp. 170~177, 1995.
- [3] Elrod, S., Hall, G., Costanza, R., Dixon, M. and Rivieres, J., "Responsive Office Environments," *CACM 36(7)*, pp. 84~85, 1993.
- [4] Jeffrey. H and Gaetano. B., "Location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*, pp. 57~66, 2001
- [5] Mike Addlesee, Rupert W. Curwen, Steve Hodges, Joe Newman, Pete Steggle, Andy Ward and Andy Hopper, "Implementing a Sentient Computing System," *IEEE Computer*,

- Vol.34, Issue 8, pp. 50~56, 2001.
- [6] N.B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-Support System," *Proc. 6th Ann. Int'l Conf. Mobile Computing and Networking*, ACM Press, pp. 32~43, 2000.
- [7] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," *IEEE Infocom 2000*, pp. 775~784, 2000.
- [8] J. Krumm, S. Harris, B. Meyers, B. Brumitt, M. Hale, and S. Shafer, "Multi-Camera Multi-Person Tracking for Easy Living," *Proc. 3rd IEEE Int'l Workshop Visual Surveillance*, pp. 3~10, 2000.
- [9] RoyWant, Andy Hopper, Veronica Falcao and Jon Gibbons, "The Active Badge Location System," *ACM Trans. Information Systems*, pp. 91~102, 1992.
- [10] R.J. Orr and G.D. Abowd, "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking," *Proc. 2000 Conf. Human Factors in Computing Systems*, 2000.
- [11] Seokmin Jung and Woontack Woo. "ubiTrack: Infrared-based user Tracking System for indoor environment," *ICAT*, pp. 181~184, 2004.
- [12] A. Smith, H. Balakrishnan, M. Goraczko and N. Priyantha, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System," *Proc. 2nd USENIX/ACM MOBISYS Conf.*, 2004.
- [13] Seiie Jang and Woontack Woo, "ubi-UCAM: A Unified Context-Aware Application Model," *LNAI/LNCS (Context03)*, pp. 178~189, 2003.
- [14] Yoosoo Oh, Seiie Jang and Woontack Woo, "User centered context-aware Smart Home Applications", *KISS 2003*, pp. 111~125, 2004.
- [15] <http://www.evolution.com>, ER1 company
- [16] Benny P.L. Lo, Jeffrey L. Wang and Guang-Zhong Yang. "Form imaging networks to behavior profiling: ubiquitous sensing for managed homecare of the elderly," *pervasive05 demo*, p101~104

## — 저 자 소 개



정 석 민(학생회원)  
2003년 인제 대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2005년 광주과학기술원 정보통신  
공학과 석사 졸업.  
2005년 현재 삼성전자 DM.

<주관심분야 : Location awareness,  
Ubiquitous/Wearable Computing>



정 우 진(학생회원)  
2004년 전북대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2005년 현재 광주과학기술원  
정보통신공학과  
석사 과정.

<주관심분야 : Location awareness, Ubiquitous  
computing>



우 운 택(중신회원)  
1989년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1991년 포항공과대학교 전기전자  
공학과 석사 졸업.  
1998년 University of Southern  
California, Electrical  
Engineering-System 박사  
졸업.

1991년~1992년 삼성종합기술연구소 연구원  
1999년~2001년 ATR MIC Lab., Japan,  
초빙 연구원

2001년~현재 광주과학기술원 정보통신공학과  
조교수

<주관심분야 : Ubiquitous/Wearable Computing,  
HCI, Virtual/Mixed Reality, 3D Vision, 3D  
Display, Networked VR>