

유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 초음파 위치인식 시스템의 인식영역 확장 기법에 관한 연구

정희원 박종진*, 이동환**, 김수용**, 문영성*

A Study on the Recognizing Range Expansion Techniques of the Ultrasonic Location Awareness System for the Ubiquitous Computing

Jong-jin Park*, Dong-hwal Lee**, Su-yong Kim**, Young-song Mun* *Regular Members*

요 약

이 연구는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 절대 위치 좌표를 제공할 수 있는 초음파 위치인식 시스템에 관한 것이다. 무선(RF: Radio Frequency) 신호에 의해 동기화된 다수의 고정된 발신기가 순차적으로 초음파를 발신하며, 초음파 신호들을 수신한 수신기에서 TOF를 파악하여 이를 거리로 환산한 다음 위치정보를 계산한다. 초음파의 전파시간(TOF: Time of Flight)은 주기인식 방법을 통해 파악한다. 또한 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 인식 영역의 확장을 위해 셀 매칭 기법과 부호화된 초음파 기법을 제안한다. 초음파 위치인식 시스템인 U-SAT을 사용하여 주기인식 기법의 유용성을 입증하기 위하여 다양한 거리에서 실험을 수행하였다. 또한 셀 매칭 기법에 의한 영역 확장에서도 위치 측정의 정확도를 검증하였으며 부호화된 초음파 기법의 분석으로 그 유용성도 입증하였다. 그 결과로 인해 저가격, 높은 갱신율, 그리고 상대적으로 뛰어난 정밀도의 입장에서 GPS가 적용될 수 없는 환경에서의 유비쿼터스 컴퓨팅의 위치인식 시스템으로서의 가능성을 입증하였다.

Key Words : Ubiquitous computing, Location awareness, Pervasive computing, Ultrasonic

ABSTRACT

This study presents an ultrasonic location awareness system for the ubiquitous computing with absolute position. The flight time of ultrasonic waves is determined by a period detecting technique which is able to extend the sensing range compared with traditional methods. For location awareness, ultrasonic waves are sent successively from each ultrasonic transmitter and synchronized by radio frequency (RF) signal, where the transmitting part is fixed and the receiving part is movable. To expand the recognizing range, cell matching technique and coded ultrasonic technique are introduced. The experimentation for various distances is accomplished to verify the used period detecting technique of U-SAT system. The positioning accuracy by using cell matching is also verified by finding the locations of settled points and the usability of coded ultrasonic technique is verified. As a result, the possibility of ultrasonic location awareness system for the ubiquitous computing can be discussed as a pseudo-satellite system with low cost, a high update rate, and relatively high precision, in the places where GPS is not available.

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 숭실대학교 컴퓨터학과 컴퓨터통신 연구실 (pjj@jongjin.pe.kr), ** 부산대학교 기계공학과 메카트로닉스 연구실
논문번호 : KICS2006-04-179, 접수일자 : 2006년 4월 18일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 10일

I. 서론

다가오는 미래에는 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크가 컴퓨팅 환경에 있어 핵심 이슈가 될 것이다. 개체나 혹은 유비쿼터스 환경이 서로를 인지하고 그에 적합한 행동이나 서비스를 지원하기 위해서는 그 개체의 물리적인 위치를 파악하는 것이 필수적이다. 유비쿼터스 컴퓨팅의 궁극적인 목적은 주변 환경에 따라 다양하고 유용한 서비스를 제공하는 것이라고 볼 수 있다. 즉 사용자인식(user awareness)와 위치인식(location awareness)이 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 필수적인 서비스가 될 것이다.

보통 위치 시스템은 절대위치와 상대위치로 구별할 수 있다. 상대위치 시스템은 자이로스코프나 엔코더(Encoder) 등을 사용한 추측항법(DR: Dead Reckoning)에 의해 수행된다¹⁾. 관성항법 시스템(INS: Inertia Navigation System)은 외부 신호의 도움 없이 독자적으로 수행된다. 그렇지만 이러한 방식은 관성센서에 있어 누적 오차를 해결할 수 없다²⁾. 그러므로 개체가 장거리를 이동할 경우 정확한 실제 위치를 구하기 매우 힘들다³⁾.

반면에 절대위치 시스템은 CCD 카메라, 적외선, GPS (Global Positioning System), 그리고 초음파센서 등에 의해 구현된다. CCD 카메라에 의한 비전 시스템은 획득한 이미지 분석을 위한 복잡한 처리 과정이 필요하다. 게다가 비용이 높으며, 카메라의 보정 및 이미지 감도에 크게 영향을 받는다⁴⁾. 적외선에 의한 위치인식은 쉽게 구현되고 비용도 저렴하다. 하지만, 위치인식 오차가 크며 실외 환경에서는 응용상의 제약이 따른다. GPS는 위치를 구별하는데 정확한 정보를 제공한다. 특히 DGPS (Differential GPS)에 의해 위치인식의 정밀도가 더욱 향상되었다.

본 연구에서는 절대위치 정보가 필요한 유비쿼터스 컴퓨팅을 위한 초음파 위치인식 시스템을 제시하고자 한다. 이를 위해 초음파 신호의 감지 성능을 개선하고 감지 거리를 증가시킬 수 있는 주기인식법을 사용한 U-SAT 시스템을 채택하여 TOF(Time of Flight)를 구한다. 위치인식을 위해서는 고정된 다수의 초음파 송신기와 개체에 부착된 초음파 수신기로 구성된 위치인식 환경에서 RF(Radio Frequency)에 의해 동기 처리된 초음파 신호가 각각의 송신기에서 순차적으로 송신되는 방식을 채택하였다. 또한 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 적용에 필수적인 인식영역 확장을 위해 셀 매칭 기법과 초음파 부호화 기

법을 제안하고 평가한다.

II. 위치인식 시스템의 종류

위치인식 시스템은 위치인식 처리 영역에 따라 매크로 위치 시스템과 마이크로 위치 시스템으로 구분이 가능하다. 매크로 위치인식 시스템은 적용 범위가 가장 광범위하며 GPS와 이동통신 시스템 기반의 위치인식 시스템이 위치기반 서비스(LBS: Location Based Service)에 사용되고 있다. 마이크로 위치인식 시스템은 실내 환경이나 지하 그리고 빌딩 밀집 지역 등에서 사용되는 위치인식 시스템이다. 마이크로 위치인식 시스템은 선택된 매질의 전파 환경에 의한 제약 때문에 넓은 영역을 지원할 수 없다. 그러므로 이를 해결하여 유비쿼터스 분야에 적용하기 위한 많은 연구들이 진행 중이다.

2.1 매크로 위치인식 시스템

2.1.1 GPS 기반의 위치인식 시스템

GPS(Global Positioning System)는 지구 궤도상에 정렬되어 있는 24개의 인공위성과 지구국 그리고 GPS 수신기로 이루어져 있다. GPS는 삼각측량의 원리에 의해 수신기의 위치를 파악한다. 전 지구적인 영역에서 위치인식이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 실내 환경이나 건물 밀집 지역과 같은 GPS 신호의 음영지역 등에서는 위치인식 정밀도가 감소된다. 그리고 초기 위치인식 시간이 상대적으로 많이 소요된다는 단점도 있다.

2.1.2 이동통신 네트워크 기반의 위치인식 시스템

이동통신 네트워크에서 위치인식 시스템은 이동 단말기의 신호강도, TOA(Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival) 그리고 AOA (Angle of Arrival) 등의 매개 변수를 사용하여 위치정보를 계산한다. 이동통신 네트워크 기반의 위치인식 시스템은 이동통신 단말기에 기능의 추가 없이도 구현이 가능하다. 그러나 정확한 시간의 동기가 필요하고 신호의 감쇠로 인한 측정 오차가 큰 편이다.

2.2 마이크로 위치인식 시스템

2.2.1 적외선

적외선을 사용한 위치인식 시스템의 구성에는 사람이나 움직이는 물체에 부착하는 액티브 배지(Active Badge)라고 하는 적외선 발생 장치와 사무실의 천정에 부착되어 있는 적외선 수신기가 있다. 이 액티브 배지는 주기적으로 자신의 고유 번호를

송신하며, 전달된 적외선을 수신한 센서는 이 액티브 배지의 위치를 계산한다. 구성은 상대적으로 간단하며 비용도 저렴하게 구성할 수 있다. 하지만 위치인식 정밀도가 낮으며 방안에 오직 한 개의 액티브 배지만 사용이 가능하다는 단점이 있다⁷⁾.

2.2.2 초음파

초음파 위치인식 시스템은 초음파가 송신기에서 수신기까지 전파되는 지연시간을 사용하여 거리를 측정한다. 3차원 위치 정보는 획득된 4개의 거리에 의해 삼변각측량 기법을 사용하여 계산된다. 위치 파악을 원하는 개체에 부착되어 있는 장치가 송신기이나 수신기이나에 따라 응용상의 특성이 달라진다. 그리고 음파를 사용하기 때문에 온도나 습도 반사 등과 같은 주변 환경에 따른 영향을 많이 받는다. 그러나 비용이 저렴하며 정밀도가 뛰어나다는 장점이 있다^{9)[10]}.

2.2.3 RF

RF(Radio Frequency)를 사용한 위치인식시스템은 무선랜의 AP(Access Point)나 기지국과 같은 장치에서 전송된 RF의 신호 세기나 지연 시간을 측정하여 위치를 파악한다. 이 시스템은 비교적 주변 환경의 영향을 덜 받으나 전파의 빠른 속도로 인해 측정 오차가 크며 다중 경로의 영향을 받는 단점이 있다^{8, 11)}.

III. 초음파 위치인식 시스템의 구성

본 연구에서는 알고 있는 위치에 고정되어 있는 송신기들과 서로 독립적인 다수개의 수신기가 위치 측정을 필요로 하는 물체에 부착되어 있는 의사위

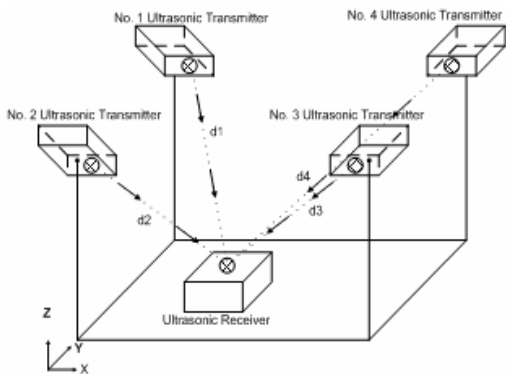


그림 1. 초음파 위치인식 시스템의 구성

성(Pseudo-Satellite) 시스템과 같은 구조를 취하고 있다. 보다 상세히 서술하면, 그림 1과 같이 4개의 송신기와 1개의 수신기에 의해 기본 영역인 셀을 구성하는 구조이다. 송신기 서로간의 초음파 간섭을 피하기 위하여 RF 신호에 의해 동기화된 초음파 신호를 송신기에서 순차적으로 송신한다.

각각의 송신기로부터 획득한 4개의 거리 정보를 이용하여 삼변측량 기법에 의해 위치를 계산할 수 있다. 이 때 거리는 TOF(Time of Flight)에 의해 계산된다.

기존의 대부분의 연구에서는 위치 파악을 필요로 하는 물체에 송신기가 부착되고 천정에 다수의 수신기가 부착되어 있는 그림 2의 (a) 구조를 취한다. 이러한 개체발신(Object-transmitting) 방식의 경우 인식 영역 확장에 유리한 구조이다. 그러나 동시에 여러 개체의 위치를 파악하기는 힘들다.

본 연구에서는 개체수신(Object-receiving) 방식을 채택하여 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 적합한 다개체 위치인식이 가능하게 하였다. 초음파 위치인식 시스템의 기본 구조는 그림 2의 (b)와 같은 구조를 취하고 있다.

초음파 위치인식 시스템에 의한 위치파악 과정은 다음과 같다. 의사위성처럼 고정된 위치에 부착된 발신기에서 RF에 의해 동기된 초음파 신호를 송신한다. 위치 파악을 위한 개체에 부착된 수신기에서 발신된 초음파 신호를 수신하게 되고 수신부에서 거리를 계산하게 된다. 그림 3은 본 연구에서 사용된 초음파 위치인식 시스템인 U-SAT의 송신부와 수신부를 보여준다.

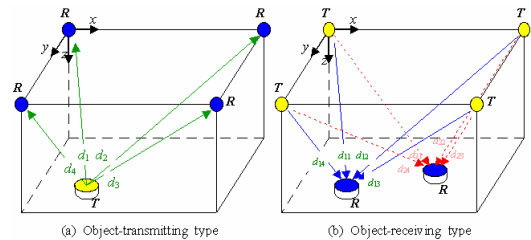


그림 2. 초음파 위치인식 시스템의 방식

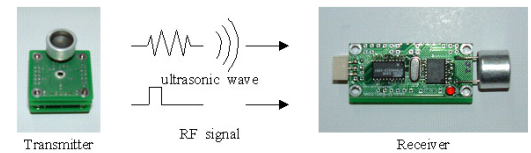


그림 3. 초음파 위치인식 시스템의 구조 (KLPS의 U-SAT)

IV. 위치인식 알고리즘

초음파 위치인식 시스템에서 측정 거리는 초음파가 송신기에서 수신기까지 도달한 지연 시간과 식 (1)과 같이 비례한다.

$$d = c \times TOF + d_0, \quad (1)$$

이때, c 는 음속이며 TOF(Time of Flight)는 송신시각 t_s 와 수신시각 t_r 과의 차이이다. 그리고 d_0 는 송신기의 음향학적인 중심과 기하학적인 중심과 불일치에 대한 거리 오프셋이다.

측정의 정밀도는 얼마만큼 정밀한 t_r 을 얻느냐에 달려 있다. 일반적으로 t_r 은 임계값(Threshold) 인식 기법과 포락선(Envelope Function) 추정 기법에 의해 구할 수 있다. 그림 4는 이 두 가지 방식의 원리를 보여준다.

임계값 인식 기법에서는 측정 거리가 증가할수록 신호의 감쇄도 같이 증가하므로 측정 오차도 증가한다. 이러한 신호의 감쇄 문제를 극복하기 위하여 임계값을 낮추면 왜란의 영향을 많이 받을 수밖에 없다. 반면에 포락선 추정 기법에서는 감쇄와는 관계가 없다. 그러나 송신기에서 진폭 이득을 수신기에서의 신호 포화를 방지하기 위하여 계속적으로 조절해야 한다. 왜냐하면 수신기에서 신호가 포화되면 포락선을 추정할 수 없기 때문이다.

본 논문에서는 주기인식 기법에 의해 t_r 을 구한 다음 거리를 계산하여 위치를 구하는 U-SAT 시스템을 채택하여 실험하였다. 주기인식 기법은 송신기에서 발신한 신호 $w_r(k)$ 의 주기는 거리 측정 범위가 증가하여 진폭이 감쇄되어도 $w_r(k)$ 의 주기는 변화하지 않는다는 사실을 기반으로 접근한다.

U-SAT 시스템에 적용된 주기인식 기법은 다음과 같이 수행된다. 먼저, 수신된 신호인 $w_r(k)$ 를 전자 회로상에서 구현된 아날로그 저대역 통과 필터를 통해 고주파 노이즈를 제거한다. 다음으로 통과된 신호는 A/D 변환기를 통해 디지털 신호로 변환

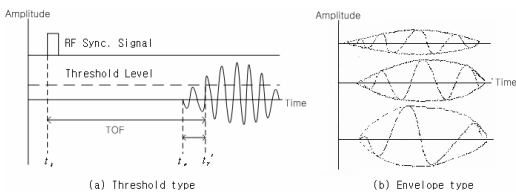


그림 4. TOF 측정 기법

된다. 수신되어 처리된 신호의 주기를 구하기 위해 식 (2)와 같은 컨볼루션 연산을 수행하여 $C_w(k)$ 을 구한다.

$$C_w(k) = \sum_j w_r(j) \overline{w_r(k+1-j)} \quad (2)$$

표 1은 임계값 인식 기법과 주기인식 기법에 의해 측정된 거리에 대한 오차를 비교하였다. 비교적 짧은 거리에서는 임계값 방식이 주기인식 방식에 비해 낮은 측정 오차를 갖지만 긴 거리에서는 주기인식 방식이 임계값 방식에 비해 우수한 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 이러한 주기인식 방식을 채택한 U-SAT 시스템을 위치인식 측정용 시스템으로 사용하였다. 또한 다른 초음파 위치인식 시스템과의 성능 비교를 위하여 MIT의 Cricket 시스템을 비교하였다. 그러나 MIT의 Cricket 시스템을 직접 사용할 수 없어 MIT의 Cricket 사이트에서 제공한 데이터인 표 2를 이용하여 비교하였다. 표 1과 표 2는 U-SAT 시스템의 성능이 MIT의 Cricket 시스템보다 우수함을 보여주고 있다.

표 1. TOF 측정 방식 비교

측정거리 [cm]	임계값 방식		주기인식 방식	
	오차평균	표준편차	오차평균	표준편차
300	0.27	0.15	0.56	0.07
500	0.37	0.17	0.41	0.09
1,500	1.04	0.67	0.56	0.20
2,000	1.02	0.91	0.67	0.54
2,500	4.58	1.11	0.53	0.71
3,000	9.72	2.49	1.46	1.66
전체평균	2.91	2.82	0.75	0.44

표 2. MIT Cricket 시스템의 성능 데이터

거리 [cm]	측정값 [cm]		
	평균	표준편차	오차평균
30	38.45	8.12	8.45
90	95.14	3.98	5.14
150	155.18	3.50	5.18
300	306.35	3.32	6.35
390	393.93	10.41	3.93
510	510.91	7.90	0.91
600	601.37	2.15	1.37
660	665.81	4.44	5.81
전체평균			4.64

V. 위치인식 영역의 확장

여기서는 초음파를 사용하는 위치인식 시스템의 인식영역 확장에 대한 아이디어를 제안하고 평가한다.

5.1 셀 매칭 기법

일반적으로 인식 영역의 확장은 이동통신 네트워크의 셀 개념과 같이 기본 셀의 연속적인 조합으로 구현한다. 그림 5에서 나타낸 바와 같이, 모든 셀의 첫 번째 초음파 신호 송신기인 T_1 은 같은 위치에 고정되어 있으며 동시에 초음파 신호를 발신한다. 이와 같은 방식으로 다른 초음파 송신기들인 ($T_i, i=2, 3, 4$)도 같은 신호 발신 순서를 갖는다.

대부분의 경우 수신기가 존재하는 특정 셀의 송신기에서 발신하는 신호를 수신기는 제일 먼저 수신할 것이다. 그러나 수신기는 자신이 어느 셀에서 초음파 신호를 수신하였는지는 알 수 없다. 셀 번호를 i ($i=1, 2, 3, \& 4$) 라고 두었을 경우 각 셀에서의 첫 번째 예상 위치를 $\{P_1\}_i$ 라고 표현할 수 있다. z 좌표의 경우 2차원 평면에서는 고려하지 않아도 되므로 측정된 거리 정보인 d_1, d_2 , 그리고 d_3 를 사용하여 $\{P_1\}_i$ 를 계산한다.

다음으로 거리 정보인 d_2, d_3 , 그리고 d_4 를 사용하여 계산한 두 번째 예상 위치인 $\{P_2\}_i$ 를 같은 방식으로 계산한다. 그림 5에서 나타나 있는 바와 같이 한 개의 송신기의 위치가 x_0 와 y_0 만큼 오프셋되어 설치되어 있다. 즉, 이는 4개의 셀에 대한 기하학적 모양이 서로 다르게 설치되어 있다는 것이다. 그러므로 두 개의 예상 위치인 $\{P_1\}_i$ 와 $\{P_2\}_i$ 의

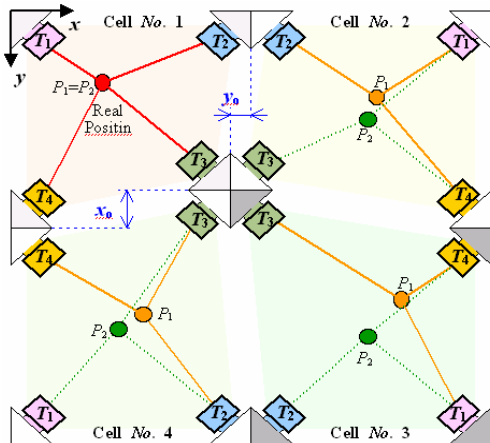


그림 5. 셀 매칭 기법

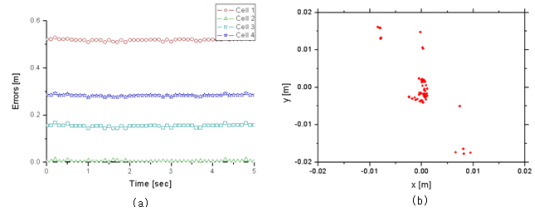


그림 6. 셀 매칭 기법 실험 결과

차이 값이 가장 작은 셀이 수신기가 존재하는 곳이다.

그림 6 (a)는 2번 셀에 수신기가 존재하는 경우로써 셀 매칭 기법에 의한 실험 결과를 보여준다. 즉 2번 셀에서의 두 개의 예상 위치간의 차이가 다른 셀의 그것들에 비하여 월등히 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 그림 6 (b)는 실험 결과의 위치인식 오차를 보여주고 있다.

5.2 초음파 부호화 기법

셀 매칭 기법의 경우 셀을 많이 배치해야 하는 넓은 영역에서는 약점이 있다. 첫 번째는 모든 셀의 기하학적인 모양을 서로 다르게 설계해야 한다는 것이며, 두 번째는 셀의 위치를 파악하기 위해 모든 셀에서 두 개의 예상 위치의 차이 값을 계산해야 하는 부담이다. 이는 적용 영역이 넓을수록 더 심한 부담이 된다.

본 연구에서는 셀 매칭 기법의 단점을 보완할 수 있는 또 다른 방식으로 초음파부호화 기법을 제안한다. 이 방식은 셀의 정보를 초음파 송신기에 의해 발생되는 초음파 신호에 셀의 정보를 부호화시키는 것이다. 이 때 셀의 정보는 이진수에 의한 셀 번호이다. 이 기법은 ASK(Amplitude Shift Keying)의 기본 아이디어와 매우 유사하다. 그림 7은 초음파 수신기에서 수신한 일반적인 신호의 파형을 보여준다.

그림 7에서 8msec 부근에 나타난 첫 번째 피크 파형은 초음파 송신기로부터 수신기까지 직접 전달된 초음파 신호를 의미한다. 그리고 따라오는 작은

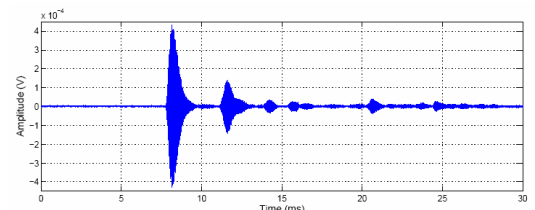


그림 7. 일반적인 초음파 수신 파형

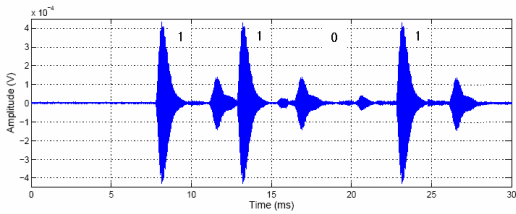


그림 8. 부호화된 초음파 신호

나머지 피크 파형들은 주변 환경에 의해 반사되어 수신된 파형을 의미한다. 거리를 측정할 경우에는 첫 번째 피크 파형만 필요하다.

만약 셀의 부호가 “101”이라고 하면, 수신된 초음파 신호는 그림 8과 같은 모습이 될 것이다. 첫 번째 “1”의 정보를 갖고 있는 피크 파형은 반드시 존재해야 한다. 왜냐하면 이 신호를 통하여 거리를 측정하기 때문이다. 그러므로 실제로 부호화된 초음파 신호는 “1101”이어야 한다.

이 방식에서는 반드시 직접 수신된 초음파 신호와 반사되어 수신된 초음파 신호를 구분할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 두 가지 방법을 사용하면 된다. 첫 번째 방법은 부호화된 각 비트들의 간격이 일정한 점을 이용한다. 그리고 두 번째는 반사되어 수신된 신호는 직접 수신된 부호화된 신호에 비해 전파거리가 길기 때문에 많은 감쇄가 발생한다는 점이다.

아직 초음파 부호화 기법은 실제로 구현하지는 못했지만 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 적합한 초음파 위치인식 시스템의 인식 영역의 확장에 좋은 대안이 될 것으로 생각한다.

VI. 결론

본 연구에서는 유비쿼터스 컴퓨팅에 필요한 절대 위치를 제공하는 초음파 위치인식 시스템 및 인식 영역의 확장 기법에 관한 것이다. 주기 인식 기법에 의해 거리를 파악하여 위치를 계산하는 U-SAT 시스템을 위치인식 시스템으로 채택하여 다양한 실험을 수행했다. 주기 인식 기법을 사용하여 고정된 위치에 대한 거리 측정의 결과 측정 범위의 확장과 초음파 신호의 감쇄로 인한 측정 오차를 줄일 수 있음을 확인하였다. 또한 다개체 위치인식에 유리한 개체수신 방식의 초음파 위치인식 시스템의 인식 영역의 확장을 위하여 셀 매칭 기법과 초음파 부호화 기법을 제안하고 분석하였다.

또한 채택한 초음파 위치인식 시스템은 저비용,

높은 갱신을 그리고 높은 위치 정밀도 등으로 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 낮은 성능의 컴퓨팅 장비에 적용하기에 적합하다. 또한 실내나 지하와 같이 GPS가 적합하지 못한 영역에서 대체가 가능하다. 그리고 초음파위치인식 시스템과 GPS나 기타 매크로 위치인식 시스템과 결합한 형태의 하이브리드 방식의 경우 실내 및 실외 환경에서 매우 적합한 성능을 발휘할 것으로 생각하며 추후 지속적인 연구가 필요하다고 하겠다.

빠른 속도로 이동하는 물체에 대한 위치인식 방식으로는 아직 초음파를 이용하는 것이 적합하지 못하지만 추가적인 연구가 진행되면 적어도 이동 로봇 정도에는 충분한 성능을 발휘하는 위치인식 시스템이 될 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] S. Hong, M. H. Lee, S. H. Kwon, H. H. Chun, “A Car Test for the Estimation of GPS/INS Alignment Errors,” *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol. 5, No. 3, September 2000.
- [2] J. Laneurit, R. Chapuis, F. Chausse, “Accurate Vehicle Positioning on a Numerical Map,” *Int J. of Automation, Control, and Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 15-31, March 2005.
- [3] W. S. Wijesoma, K. R. S. Kodagoda, A. P. Balasuriya, “A Laser and a Camera for Mobile Robot Navigation,” *ICARCV 7th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, 2002.
- [4] K. Song, W. Tang, “Environment Perception for a Mobile Robot using double Ultrasonic Sensors and a CCD Camera,” *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 43, June 1996.
- [5] J. E. Wilhjelm, P. C. Pedersen, S. M. Jacobsen, “The Influence of Roughness, Angle, Range, and Transducer Type on the Echo Signal from Planar Interfaces,” *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 48, No. 2, March 2001.
- [6] H. W. Wehn, P. R. Belanger, “Ultrasound-based Robot Position Estimation,” *IEEE Trans. Robotics and Automation*, Vol. 13, No. 5, October 1997.

- [7] J. Hightower, G. Borriello, "Location Sensing Techniques," *Technical Report UW-CSE-01-07-01*, University of Washington, July 2001.
- [8] J. Krumm, L. Willicams, G. Smith, "SmartMoveX on a Graph-An Inexpensive Active Badge Tracker," *Technical Report MSR-TR-2002-70*, Microsoft Research, June 2002.
- [9] A. Ward, A. Jones, A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office," *IEEE Personal Communications*, October 1997.
- [10] A. Harter, A. Hopper, P. Steggle, A. Ward, P. Webster, "The Anatomy of a Context-Aware Application," *Proceedings of the fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM'99*, Seattle, Washington, USA, August 1999.
- [11] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support System," *Proc. of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, August 2000.
- [12] J. Y. Lee, R. A. Scholtz, "Ranging in a Dense Multipath Environment using an UWB Radio Link," *IEEE JSAC*, Vol. 20, No. 9, December 2002.
- [13] J. Hightower, G. Borriello, "A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing," *Technical Report UW-CSE 01-08-03*, August 2001.
- [14] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, "The Active Badge Location System," *ACM Trans. on Information Systems*, Vol. 10, No. 1, January 1992.

박 종 진 (Jong-jin Park)

정회원



1984년 2월 부산대학교 기계공학과 졸업
 1986년 2월 부산대학교 기계공학과 석사
 1999년 2월 상명대학교 정보통신대학원 석사
 2006년 8월 숭실대학교 컴퓨터학과 박사

<관심분야> 컴퓨터공학, 제어공학

이 동 활 (Dong-hwal Lee)

정회원



1984년 2월 부산대학교 기계공학과 졸업
 1986년 2월 부산대학교 기계공학과 석사
 1996년 2월 부산대학교 기계공학과 박사수료

<관심분야> 제어공학, 기계공학

김 수 용 (Su-yong Kim)

정회원



1999년 2월 부산대학교 기계공학부 졸업
 2005년 2월 부산대학교 기계공학과 석사
 2005년 3월~현재 부산대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야> 제어공학, 기계공학

문 영 성 (Young-song Mun)

정회원



1983년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업
 1986년 캐나다 알버타대학교 전자공학과 석사
 1989년 미국 텍사스대학교 컴퓨터학과 박사
 1994년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야> 컴퓨터공학, 통신공학