무선 RF 및 비젼을 이용한 위치인식시스템 연구

김태수*

A study on Location Positioning System using RF Radio and Vision

Taesoo Kim*

이 논문은 2009년도 위덕대학교 교내연구비를 지원받았음

요 약

본 연구에서 제안하는 위치인식시스템은 전파의 위상 및 크기를 이용하여 거리를 구하고 여기서 구한 거리 정보를 보다 정확하게 측정하기 위해서 비젼에 의한 영상 히스토그램 기법을 이용하여 보완하는 기술이다. 제안하는 기술은 거리측정용 무선송수신기로부터 송수신된 900Mhz대 RF 신호로부터 중간주파수인 450Khz의 아날로그 데이터를 디지털신호처리를 통하여 얻어내며, 여기서 얻어진 거리 정보에다 비젼에 의해 얻어진 거리를 상호 보완하여 보다 정확한 거리 정보를 획득한다. 측정된 거리의 평가를 위해서 실제거리와 측정된 거리를 비교 분석하고, 또한 평균처리 및 진폭특성을 통한 측정오차 개선 방법과 기존의 RF 신호만 이용하는 경우와 비교 검토한다.

ABSTRACT

In this research, the location positioning system supposed is concerned with range recognition technology using phase and magnitude of radio wave and adding technology of image histogram by vision. By the proposed technology, we design the radio transmitter and receiver and realize the measurement system, and save the data in disk that is earned from 900Mhz RF signal, middle frequency 450Khz of analog signal. Range information is earned the data through digital signal processing of IF signal. For the estimation of range measured, we analyze the difference between real range and measurement range, and also suggest the method to improve the measurement error using average processing and amplitude properties.

키워드

RF 송수신기, 위상 및 진폭특성, 비젼, 히스토그램, 위치인식

Key word

RF transmitter-receiver, Phase and amplitude, Vision, Histogram, Position recognition

* 정회원 : 위덕대학교(tskim@uu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 04. 05
심사완료일자 : 2011. 05. 02

Ⅰ. 서 론

위치인식 서비스는 철강공정의 크레인의 자동 제어, 물류의 자동화, 실내의 로봇 위치 인식 등 응용분야가 다양하며 최근에 이들 위치인식서비스의 이용이 증가되고 있다.[1],[2] 이러한 응용분야 중에서 철강공정의 크레인의 자동제어는 일반적으로 비용이 경제적이고 비교적 오차가 적은 기계적인 엔코더 방식을 사용하고 있다. 이러한 경우에 크레인이 움직이는 장소가 천정이 있는 야적장의 경우는 문제시되지 않으나 대부분의 야적장은 천정이 없는 경우가 많아 겨울철에 눈이 오는 경우나 여름철에 비가 오는 경우는 미끄럼 현상으로 인하여 오차가 자주 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 문헌[6]에서는 900Mhz 대역 RF를 이용하여 송수신된 아날로그 데이터를 신호처리 프로세서를 통해 출력되는 위상변화 특성을 이용하여 거리를 측정할 목적으로 위상응답특성의 분석을 행하고, 분해능의 개선을 위하여 거리가 멀어짐에 따라서 감소되는 주파수 진폭 특성도 거리 추정에 이용한 무선 RF에 의한 거리측정시스템이 제안된바 있다. 또한 실내의 경우에도 경년에 따른 마모 등에 따라 발생하는 오차를 줄이기 위해서 작업 현장에서는 실제로 무선 RF, 초음파 등에 의한 거리측정 방식의 필요성이 대두되어 왔다. 그러나 이들 방식을 적용할 경우에 측정지역이 넓은 공간에서는 문제가 없으나 벽면이나 장애물 등이 산재해 있을 때는 반사파에 의한 페이딩 현상 등에 따른 오차가 발생된다. 따라서 본 논문에서는 비젼에 의한 거리측정 방법을 이용하여 무선 RF가 가지는 문제점을 개선하고 위치인식을 위한 거리측정에 따르는 오차를 줄이는 방법을 제안한다.

비젼에 의한 위치인식방법으로 David등은 입력된 영상에서 Map data, 인식, 비교에 대한 알고리듬을 기본으로 하는 방식을 제안하였다.[4] 이는 전체적으로 고정된 물체인식 데이터를 저장해 놓고 하나하나 Landmark 매칭을 비교해 가면서 인식을 행하는 방식으로 이는 비젼에 의한 경우에만 효과적인 방식이라 할 수 있고, 본 논문에서 제안한 비젼의 경우는 무선 RF로 문제시되는 영역에서만 사용하기 때문에 히스토그램과 임계치에 의한 방법만으로 간단하게 거리를 측정할 수 있다. 그리고 신동헌 등이 제안한 논문의 경우에는 3개 이상의 위성 비이컨에서 초음파와 무선통신파를 발사하고 로봇에 부착된 리시버는 초음파와 무선통신파의 수신되는 시간차를 계산하여 각 비컨까지의 거리를 구하는 방법이 제안되었으나 이는 초음파 송수신기와 무선 RF 송수신기를 별도로 제어해야 하는 어려움이 따른다.[7] 그러나 본 논문에서는 무선 RF에 의한 송수신 방식을 이용하므로 제어를 단순화 할 수 있다.

제2장에서는 거리측정에 대하여 무선 RF에 의한 방법과 비젼을 이용한 방법에 대하여 설명하고 제3장에서는 위치인식시스템에 대하여 설명한다. 그리고 제4장에서 실험을 통한 고찰을 행하고자 한다.

Ⅱ. 거리측정

2.1. 무선 RF에 의한 거리측정

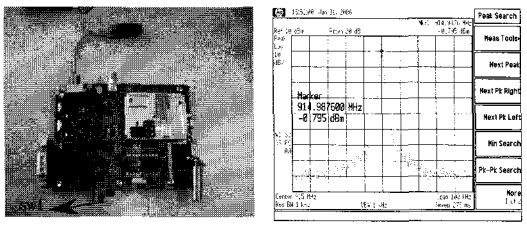
거리의 정확한 측정이 이루어 질 수 있도록 무선 RF 송수신기를 제작하여 사용하였다. 그림 1(a)에 보이는 바와 같이 RF 송신기 모듈은 일반적인 ISM 대역인 900Mhz 대역에서 동작하며 수신기 내부에서 2차 IF는 주파수 선택도를 높여서 정확한 450Khz 신호를 출력하도록 구조화 하였다.

무선송수신기를 이용하여 거리를 측정하는데 있어서 문제점은 전파환경이 주변 환경의 변화에 민감하게 동작한다는 것이다. 진폭 감지 방법만으로 거리를 측정하는 경우에 오차가 적지 않게 발생하기 때문에 본 논문에서는 신호의 위상 변화량으로써 거리를 측정하는 방법을 사용하면서 동시에 진폭 감지 방법을 보조 값으로써 지원되도록 하였다. 위상의 변화량은 기준이 되는 거리를 단계별로 위상변화율에 대응되게 사전에 테이블을 작성하여 메모리에 기억시켜 놓고 입력되는 신호의 위상과 비교를 통하여 거리를 계산하게 된다.

거리 측정 동작에 대해서는 거리 측정을 요구할 때는 그림 1(a) 무선송수신장치의 입력 스위치를 통해 신호를 입력받으며, 세 개의 무선 RF 송수신기로부터 각각 송출되는 신호(A), 신호(B)와 신호(C)를 일정 시간동안 차례로 입력 받게 된다. 각각의 입력 받는 신호는 송수신 주파수를 각각 달리하는 선택선 A, 선택선 B와 선택선 C로 어느 신호가 입력받는지를 신호처리 프로세서에 알려

줌으로써 수신신호를 구분할 수 있도록 하여 메모리에 저장시키게 되고, DAQ 장비를 통해 측정된 값들과 메모리에 저장된 데이터로부터 PC내에서 분석을 통해 측정된 값으로부터 거리로 환산된 값을 디스플레이에 나타내도록 하였다.

또한 저잡음 증폭기를 통해 좋은 수신 감도를 유지토록 조정 하였으며, 안테나 정합이 고려되도록 접근하여 일정 범위 내에서 문제없이 거리 측정이 이루어지도록 하였다. 일반적으로 송신 출력과 더불어 수신 감도는 안테나 이후 바로 첫 단의 정합이 중요한 의미를 갖는다.



(a) (b)

그림 1. 장치 (a) RF 송수신기,
(b) 레벨 및 안정도 출력 결과
Fig. 1. Device (a) RF transmitter-receiver,
(b) Output result of level and stability

수신 가능한 신호의 크기는 식(1)과 같다. 여기서 B는 대역폭이며, F는 잡음지수, X는 잡음대비 신호의 크기이다.

$$P_{i,mds}[dBm] = -174\,dBm + 10lB + F(dB) + X(dB) \quad (1)$$

여기서 F는 안테나로부터 잡음지수를 의미한다.

식(1)에서 볼 수 있는 것처럼 수신 감도를 높이고자 한다면 수신기의 잡음지수가 중요하기 때문에 그림 1(b)는 목적한 914.9875 Mhz를 PLL locking하여 얻은 레벨 및 안정도 출력 결과로 9.3 dBm의 정확한 출력 결과가 얻어지도록 조정되었다.

위상을 통한 측정 거리를 구하는 방법으로 아날로그 신호 $x(t)$를 다음과 같이 정의한다.

$$x(t) = A\cos(\omega t + \Phi) \quad (2)$$

여기서, A는 진폭, ω는 각주파수, Φ는 위상을 나타낸다. 이 아날로그 신호를 A/D변환 후의 discrete 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(nT) = A\cos(\omega nT + \Phi) \quad (3)$$

이며, 여기서 T는 샘플링주기로 아날로그 주파수 450Khz인 경우에 약 1Mhz로 샘플링하면 샘플링 주기 T는 1.0E-06[sec]이다.

$x(nT)$를 FFT 알고리듬 처리를 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.[3],[6] 즉,

$$X(\omega T) \leq > FFT[x(nT)] \quad (4)$$

$X(\omega T)$ 의 실수부 $X_R(\omega T)$ 과 허수부 $X_I(\omega T)$ 에 대하여 크기 $|X|$와 위상θ는 $|X| = \sqrt{X_R^2 + X_I^2}$, $\theta(\omega T) = \tan^{-1}(X_I/X_R)$ 으로 계산된다. 여기서 $\omega = 2\pi f$ 이므로 $f = 450$ Khz에서 기준이 되는 위상성분 Θ를 알 수 있고, 거리의 증가에 따라서 Θ가 변화되기 때문에 거리를 예측할 수 있다.

2.2 비젼에 의한 거리측정

비젼에 의한 거리측정은 카메라로부터 입력된 데이터를 히스토그램을 계산하여 주위 배경과 분리시키기 위하여 임계치를 부여한다. 여기서 부여된 임계치에 의해서 타겟과 전체 데이터의 히스토그램을 구한다. 물체와의 거리 R은 기준거리에 대한 타겟의 히스토그램과 전체 히스토그램의 비에 의하여 구하게 된다. 즉,

$$R = Ref \times \sum_{n=j}^{J} T_a[n] / \sum_{n=i}^{I} T_o[n] \quad (5)$$

여기서 Ref는 기준거리의 레퍼런스 값, T_a는 타겟 값, T_o는 전체 값을 나타낸다.

그림 2는 무선 RF 및 비젼에 의한 측위시스템을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 비젼에 의하여 거리를 구하는데 벽면의 타겟은 기준이 하나의 레벨과 임계치를 정하여 구하게 된다.

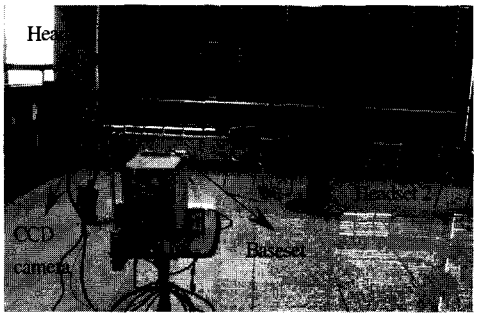


그림 2. RF 및 비젼에 의한 측위 시스템
Fig. 2. Positioning measurement system with RF radio and vision

그림 3에서와 같이 흑색 타겟을 벽면에 가까이 놓고 카메라를 이동시켜 가면서 거리를 측정한 결과로 근거리인 2m, 4m, 6m에서는 무시할 수 있을 정도의 근소한 오차가 발생하며, 8m 이상이 되는 경우에는 주변의 물체의 환경에 따라서 오차가 발생하게 된다. 따라서 근거리에 대한 보정용으로 사용함이 적절하다고 본다. 이러한 측정 결과를 표 1에 나타낸다.

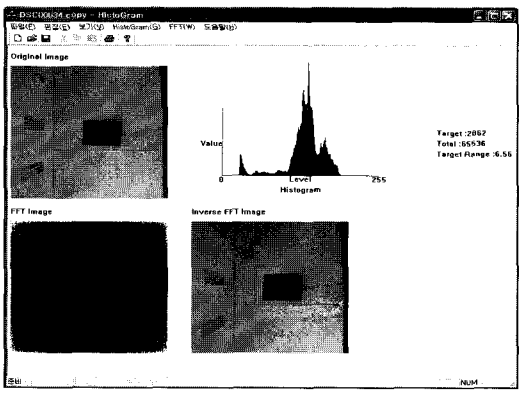


그림 3. 타겟의 히스토그램
Fig. 3. Histogram of target

표 1. 타겟에 대한 측정거리 오차
Table 1. Measurement range error of target

실제거리(m)	2	4	6	8	10
측정거리(m)	2.01	3.92	5.65	10.23	13.64
오차(m)	0.01	0.08	0.35	1.77	2.36

Ⅲ. 위치인식시스템

다음의 그림 4는 위상특성 및 히스토그램에 의한 거리계산 및 위치계산 흐름도를 나타낸다.

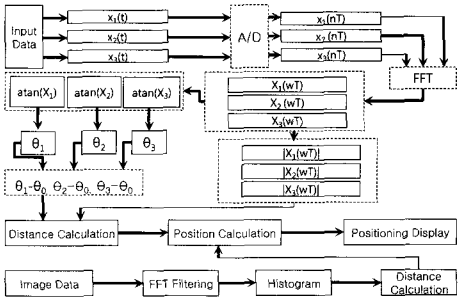


그림 4. 위상특성 및 히스토그램에 의한 거리 및 위치계산 흐름도
Fig. 4. Range and position calculation flow chart by phase properties and histogram

무선 RF 송수신기셑(이하 HeadSet1 : HS1)에서 기지단말(이하 BaseSet : BS)에 수신된 위상을 θ_1으로 정의하고, 단위길이인 무선 RF 송수신기셑(이하 HeadSet2 : HS2)에서 BS에 수신된 위상을 θ_1^1이라 놓으면, 기준 상대 위상(θ_r)는 $(\theta_r) = |\theta_1 - \theta_1^1|$이다. 그리고 위상의 기준 상대위상과 거리 L_1, L_2의 차에 대한 기울기를 α라 놓으면

$$\alpha = \frac{|(\theta_2 - \theta_1^2) - \theta_r|}{L_2 - L_1} \tag{6}$$

과 같이 나타낼 수 있고, 대상 물체까지의 거리(L_i)는 다음 식으로 계산된다. 즉

$$L_i = \frac{|(\theta_i - \theta_1^i) - \theta_r|}{\alpha} \tag{7}$$

이러한 거리계산을 하기위한 알고리듬을 그림 4에 나타낸다. 다음 그림 5는 위치인식을 위해서 BS와 HS의 위치를 나타내기 위한 3차원 공간을 나타낸다.

그림에서와 같이 측정된 거리 정보로부터 위치인식을 위하여, $(\theta_i - \theta_1^i)/\alpha = x_i$, $x_i/\alpha = x_r$로 둔다. 그리고 그림 5에서 HS의 위치를 X_R, Y_R, Z_R에 위치시킨다.

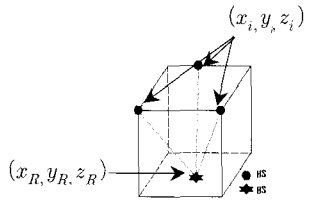


그림 5. BS와 HS의 위치
Fig. 5. Location of BS and HS

HS와 BS의 위치를 수평 상태로 위치시킨 경우에는 삼각측량에 의하여 측정하면 되지만, z축의 높이가 변하는 경우에는 Direct Inverse Method를 이용하여 다음과 같이 HS와 BS사이의 거리를 구할 수 있다.[7] 즉,

$$L_i = \sqrt{(x_i - x_R)^2 + (y_i - y_R)^2 + (z_i - z_R)^2} \quad (8)$$

이를 전개하면

$$L_i^2 = (x_i - x_R)^2 + (y_i - y_R)^2 + (z_i - z_R)^2 \quad (9)$$
$$L_i^2 - x_i^2 - y_i^2 - z_i^2 - x_R^2 - y_R^2 - z_R^2 = -2(x_i x_R + y_i y_R + z_i z_R)$$

여기서 $\gamma_i = x_i^2 + y_i^2 + z_i^2$, $\beta = x_R^2 + y_R^2 + z_R^2$라고 두면, 식(9)로부터 식(10)을 얻는다. 즉

$$L_i^2 - \gamma_i^2 - \beta = -2(x_i x_R + y_i y_R + z_i z_R) \quad (10)$$

또한 식(10)은 matrix를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} L_1^2 - \gamma_1^2 \\ L_2^2 - \gamma_2^2 \\ L_3^2 - \gamma_3^2 \end{bmatrix} + (-\beta)\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2x_1 - 2y_1 - 2z_1 \\ -2x_2 - 2y_2 - 2z_2 \\ -2x_3 - 2y_3 - 2z_3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서 좌측부터 Y_M, Y_N로 두고 우측은 H, X로 두면 $Y_M + \beta Y_N = HX$ 이고, 의사 역매트릭스 $H^* = (H^T H)^{-1} H^T$를 곱하면 $X = a + \beta b$이다. 여기서 $a = H^* Y_M$, $b = H^* Y_N$이다.

또한 $x_R = a_1 + \beta b_1$, $y_R = a_2 + \beta b_2$, $z_R = a_3 + \beta b_3$이다. 이식을 $\beta = x_R^2 + y_R^2 + z_R^2$에 대입하여 2차방정식을 풀면 $X = [x_R, y_R, z_R]^T$의 위치좌표를 얻을 수 있다. 따라서, 비젼에 의한 위치인식을 추가하기 위해서 그림 6에 나타낸 바와 같이 A, B, C 세 개의 HS 및 D의 BS와 함께 벽면을 향하도록 카메라를 설치하고 DSP보드를 통해 시스템에 접속하도록 하였다.

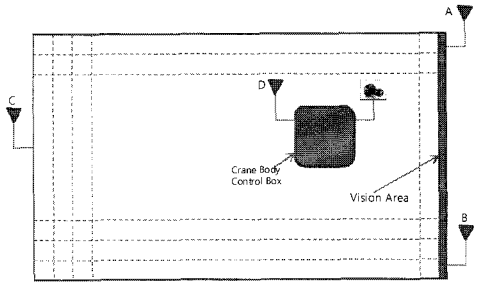


그림 6. 위치인식 시스템 개요도
Fig. 6. Scheme of positioning system

Ⅳ. 실험 및 결과

실험을 위해서 제작한 그림 1(a)에서 나타낸 송수신기 BS를 이용한다. 또한 BS가 동작하도록 HS 세 개 셑을 제작하여 BS를 구동하도록 하였으며, 그림 4에 나타낸 알고리듬을 이용하여 계산을 행하였다. 또한 신호처리 보드는 NI사 PCI6115를 사용하였다. 이 보드는 10Ms/s/ch로서 NI사가 보유한 PCI1625에 비하여 5배의 샘플링속도를 가지며 샘플링 속도가 빠른 만큼 매우 높은 해상도를 얻을 수 있었다.

신호처리 프로세서를 이용한 위상응답 특성을 구하기 위해서 각각 HS1, HS2, HS3에서 보낸 신호별로 BS에서 위상을 구하여 위치인식을 위한 거리측정을 행하였다. 서론에서 언급했듯이 무선으로 거리를 측정하는데 있어서 문제점은 전파환경이 주변 환경의 변화에 민감하게 동작하기 때문에 신호의 진폭을 감지하는 방법으로 거리를 측정하는데 무리가 따른다. 이에 신호의 위상변화량으로써 거리를 측정하는 방법으로 접근하면서 동시에 신호 진폭을 감지 방법을 보조 값으로써 지원되도록 하였다. 또한 벽면 가까이에서 오차를 줄이기 위해서 비젼에 의한 방법을 병행하였다.

위상응답에 대한 거리측정 오차 실험결과를 그림 7에 나타낸다. 여기서 거리 오차는 그림 4에 나타낸 거리계

산 알고리듬에서 BS와 단일 HS로부터 얻어진 위상과 진폭을 이용하여 얻어진 측정거리와 실제거리와의 차를 구하여 10회 연속해서 받아들여 평균한 결과 값이다.

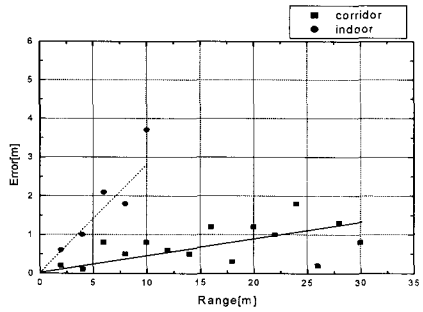


그림 7. 거리오차(실내 10m 이내, 복도 10m 이상)
Fig. 7. Range error(indoor less 10m, corridor over 10m)

그림 7에 나타낸 바와 같이 실내에서는 30m에 이르기까지 복도에서의 오차는 크게 늘지 않는 것은 통로가 40m 이상 길고 반사파에 의한 영향이 적기 때문이다. 그러나 실내의 경우는 장애물 등이 주변에 산재해 있어서 6m의 경우를 보면 2.1m의 오차를 갖는 반면 복도에서는 0.8m 정도의 오차를 갖는다. 그리고 그림 7에 나타낸 실선 및 점선은 오차가 실제의 직선거리에 비례한다고 가정하여 최소자승근사에 의해 근사한 특성이다.

다음의 표 2에서는 실내에서 종래의 방법과 제안한 방법의 오차를 측정한 결과를 보인다.

표 2. 실내에서 측정거리 오차
Table 2. Measurement range error within indoor

실제거리(m)	2	4	6
종래방법 오차(m)	0.6	1.02	2.28
제안방법 오차(m)	0.6	1.0	2.1

표 2에서 나타낸 바와 같이 종래방법과 제안방법과의 차이점은 그림4에 제시된 3개의 지점 위상으로부터 구한 알고리듬과 사양이 우수한 DAQ장치를 사용했기 때문이다.

다음의 그림 8은 10m 이내의 실내에서 측정한 값과 비젼을 추가한 경우의 오차를 보인다. 1m에서 6m까지의 거리에서는 오차범위가 매우 작아 6m에서도 0.6m의 오차범위를 갖지만 이 구간을 벗어나면 오차범위가 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 히스토그램을 이용하여 카메라의 grey level로 데이터를 받으므로 거리가 멀어지면 유사한 level의 히스토그램의 값이 늘어나기 때문이다.

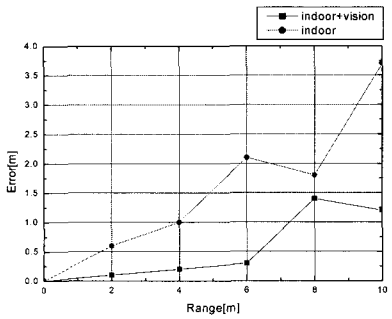


그림 8. 거리오차(10m 이내)
Fig. 8. Range error(within 10m)

다음은 거리측정 데이터를 이용하여 z축을 원점으로 두고 위치인식을 행한다. 여기서 행하는 측정은 그림 9에 나타낸 바와 같이 x축 방향은 무선 RF에 의한 방식만을 사용하고 y축 방향은 무선 RF 및 비젼을 이용한 결과를 나타낸다.

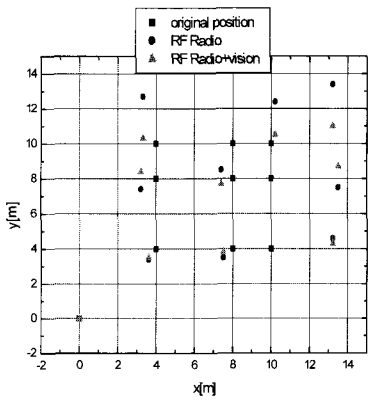


그림 9. 위치측정 예(4m, 8m,10m)
Fig. 9. Positioning examples(4m, 8m,10m)

그림 9에서 나타낸 바와 같이 4m와 8m에서는 근소한 차이가 나지만 10m의 경우에는 다소 차이가 나는 것을 알 수 있다. 여기서 10m 이상의 경우 오차를 줄이기 위하여 y축 방향으로도 카메라를 설치하든가 아니면 카메라

를 회전시켜서 개선할 필요성이 있다. 그리고 실험에서 적용한 측정지점이 부족하지만 추후 지점을 증가시켜서 검토할 필요성이 있다고 본다.

V. 결 론

본 논문에서는 서로 다른 환경에서 무선에 의한 거리측정 및 위치인식을 행한 결과 각 환경에 따른 거리측정 오차가 개선되었고, 위치인식도 가능함을 보였다.

본 논문에서는 종래에 제안되었던 측정 알고리듬의 개선을 통하여 실내에서 6m의 거리 경우 종래에 비하여 제안된 방법이 0.18m 오차가 개선됨을 알 수 있었다. 또한 비젼에 의한 거리측정을 추가하여 보다 개선됨을 알 수 있었다.

특히 위상특성과 진폭특성을 이용한 거리측정에 비하여 비젼의 히스토그램을 이용하여 보완한 경우 2m에서 0.5m, 4m에서 0.7m 정도로 오차를 줄일 수 있었다. 이는 실내의 근거리에서 멀티패스의 영향을 받는 거리에서 효과적임을 알 수 있다. 그러나 10m 이상의 경우에는 주위 환경의 영향으로 오차가 증가하게 된다. 위치측정에 있어서도 단일 방향의 카메라를 설치하여 측정한 결과를 모든 방향에서 개선할 수 있도록 카메라를 설치하여 측정하든가 아니면 스텝모터를 사용하여 회전시켜서 사용할 필요성이 있다. 향후 SOM 알고리듬을 사용한 거리 정밀도를 향상시킬 계획이다.

참고문헌

[1] Y. Takaya, M. Kato, H. Iwai and H. Sasaoka, " Experiment Evaluation of a distance Measurement System using Radio Communication in indoor Environments", IEICE Technical Report Antennas and Propagation, pp. 81-85, Vol. 107, No. 260, 2007

[2] M. Nowogrodzki, R. Kipp, D. Mawhinnery, "Radar Instruments: Sensors for Industrial Applications", RCA Engineers, Vol. 27. No. 5, pp. 23-29. Oct., 1982

[3] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, "Discrete Time Signal Processing", pp. 582-585, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989

[4] David C.K, Yuen and Bruce A. MacDonald, "Vision-based Localization Algorithm Based on Landmark Matching, Triangulation, Reconstruction, and Comparison", IEEE Transaction on Robotics, Vol. 21, No. 2, April 2005

[5] Chen Chengchuan, Lu Mingchih, Chuang Chintun and Tsai Chengpei, "Vision-based Distance and Area Measurement System", International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, Issue 1, Vol. 1, pp. 28-33, 2007

[6] 김태수, 오인열, 전중창, "크레인의 이동거리측정을 위한 무선송수신기 설계 및 평가", 한국해양정보통신학회논문지, Vol. 11, No. 4, pp. 808-814, 2007

[7] 신동헌, 이양재, "초음파와 무선 통신과 기반 위치인식 시스템의 위치 오차와 민감도 평가", 대한기계학회논문집 A권, Vol. 34, No. 2, pp. 183-389, 2010

저자소개

김태수(Tae-Soo Kim)

1987년 경북대 전자공학과(학사)
1991년 요코하마국립대 전자정보공학과(공학석사)
1995년 요코하마국립대 전자정보공학과(공학박사)

1996년 ~ 현재 위덕대학교 정보통신공학과 교수

※관심분야 : 디지털신호처리, 영상인식, 수치해석, 휴먼인터페이스, 회로이론, 무선LAN