

초음파 센서 배열을 이용한 LED 면광원 부분점등 시스템 개발

(Development of Local Driving System for Flat LED Lamp Using Ultrasonic Sensors Array)

유성호* · 이정훈 · 염정덕**

(Sungho Yoo · Jeonghun Lee · Jeongduk Ryeom)

Abstract

A method obtaining position data(x, y) of object accurately is proposed by using a pair of ultrasonic sensors composed of one transmitter and two receivers. And the driving system which controls the light of flat LED lamp locally using array of ultrasonic sensors (3 transmitters and 6 receivers) is developed. As a result, measured values of y are relatively reliable due to its small average of absolute errors of 1.03[cm]. The measured values of x have average error of 8.52[cm], and it is a large value. However, the average error is decreased by 0.65[cm] after applying algorithm for error correction. The experiments to control the light of flat LED lamp locally with algorithm for error correction are carried out. From the result, measured values of x with average error of 0.97[cm] are obtained and they are very good approximations of actual values.

Key Words : Position Recognition, Ultrasonic Sensor Array, Local Driving, Lighting Control, Flat LED LAMP

1. 서 론

최근 전 세계적으로 효율적인 에너지 사용을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며 우리나라도 국내 전력 사용량의 20~30[%]에 해당하는 조명용 에너지를 절약하기 위해 각종 센서를 사용한 조명제어에 관한 연구들이 진행되고 있다[1-2]. 조명제어를 위한 실내 위치인식 시스템에는 적외선센서, 초음파 센서, 카메라 등을 이용한 시스템들이 연구되고 있으며, 이들 중

에서 초음파 센서는 주변 환경에 민감한 단점에도 불구하고, 다른 센서에 비해 간단하고 저렴하며 실시간 데이터처리가 가능하여 각종 위치인식 시스템에 널리 사용되고 있다[3-4].

이러한 초음파센서를 이용한 위치인식 시스템에는 로봇의 주행에서 주행경로 주변의 사물 위치를 인식하여 주위 환경 지도를 제작하는 시스템과 시각장애인의 보행에서 장애물을 인식하여 회피하며 주행 경로를 탐색하는 시스템 등이 있다. 특히 이러한 위치인식 시스템들 중에서도 초음파 센서 배열을 이용하여 좀 더 정확한 물체의 형상 및 위치를 인식하는 기술이 최근 각광 받고 있다[5-6].

본 논문에서는 1개의 송신부와 2개의 수신부로 구성된 초음파 센서 쌍을 사용하여 조명 대상물과의 위치

* 주저자 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 부교수

Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125

E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr

접수일자 : 2011년 11월 8일

1차심사 : 2011년 11월 10일

심사완료 : 2011년 12월 6일

와 거리 데이터를 정확히 추출하는 방법을 제안하였다. 그리고 이 초음파 센서 배열을 이용하여 피조명물의 상황에 맞게 LED 면광원의 부분점등 및 점등면적을 제어하는 시스템을 개발하였다.

2. 피조명물의 위치 인식 원리

초음파 센서는 그림 1과 같이 송신부의 트리거 입력 펄스의 시작 지점과 수신부의 에코 펄스의 시작 지점 사이의 시간차이(T_L)에 초음파의 전파속도(온도 20 [°C]인 공기 중에서 343[m/s])를 곱하여 거리를 측정한다[7].

실험에 사용된 초음파 센서는 하기소닉社의 송수신 분리형 초음파 센서/모듈 HG-M40TC(송신)과 HG-M40RC(수신)이다.

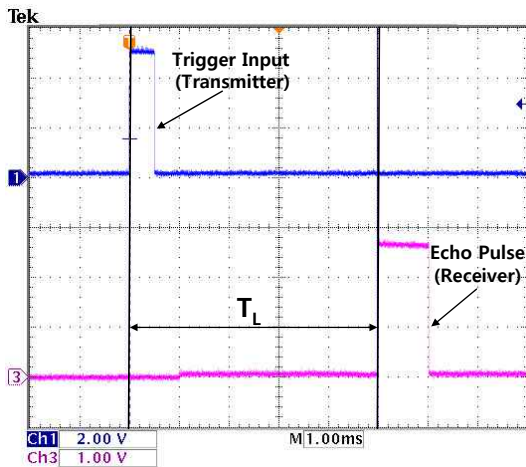


그림 1. 초음파 센서의 입출력 펄스 파형
Fig. 1. Waveform of trigger input and echo pulse from ultrasonic sensors

그림 2는 1개의 송신부와 2개의 수신부로 구성된 초음파 센서 쌍으로 물체의 2차원 좌표(x, y)를 측정하는 원리이다. 여기서 y좌표는 면광원과 물체와의 거리이며 x좌표는 면광원을 기준으로 가로방향의 물체의 위치이다. x, y좌표의 원점은 초음파 센서 송신부(Transmitter)의 중앙이며 x좌표 15[cm]에 수신부1이, 30[cm]에 수신부2가 위치하고 측정대상 물체의 폭은 2[cm]이다.

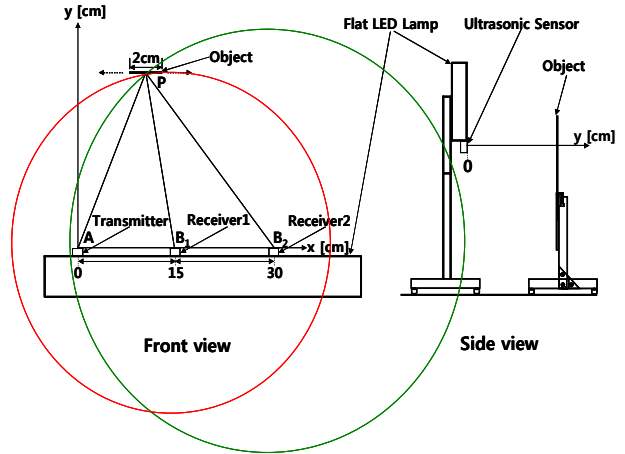


그림 2. 물체의 위치데이터 측정원리
Fig. 2. Principle measuring the position data of object

물체가 임의의 좌표에 있을 때 송신부에서 수신부1까지 거리(L_1)와 수신부2까지 거리(L_2)는 식 (1), (2)로 나타내어진다.

$$L_1 = \overline{AP} + \overline{PB_1} \quad (1)$$

$$L_2 = \overline{AP} + \overline{PB_2} \quad (2)$$

식 (3)은 수신부1이 중심이고 $\overline{PB_1}$ 을 반지름으로 하는 원의 방정식이다. 식 (4)는 수신부2가 중심이고 $\overline{PB_2}$ 를 반지름으로 하는 원의 방정식이다.

$$(x-15)^2 + y^2 = (L_1 - \sqrt{x^2 + y^2})^2 \quad (3)$$

$$(x-30)^2 + y^2 = (L_2 - \sqrt{x^2 + y^2})^2 \quad (4)$$

L_1, L_2 를 측정하고 식 (3)과 (4)를 연립하여 풀면 물체의 위치인 x, y좌표를 식 (5)와 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$x = \frac{L_1 L_2 (L_2 - L_1) + 225 L_2 - 900 L_1}{30(L_2 - 2L_1)} \quad (5)$$

$$y = \sqrt{\frac{(30x + L_1^2 - 225)^2}{4L_1^2} - x^2} \quad (6)$$

3. 피조명물의 2차원 좌표 추출 실험

그림 3은 초음파 센서 송신부와 수신부 사이의 거리에 따른 초음파 속도의 변화를 나타낸 그래프이다. 공기 중에서 초음파 센서의 송신부와 수신부 사이의 거리가 멀어 질수록 초음파 속도는 증가하여 330[m/s]에 수렴한다. 송신부에서 발생한 초음파가 수신부로 직접 들어 갈 때의 초음파 속도 변화와 송신부에서 발생된 초음파가 물체에 반사되어 수신부로 들어갈 때의 초음파 속도 변화는 그림에서 보이는 것과 같이 거의 일치한다.

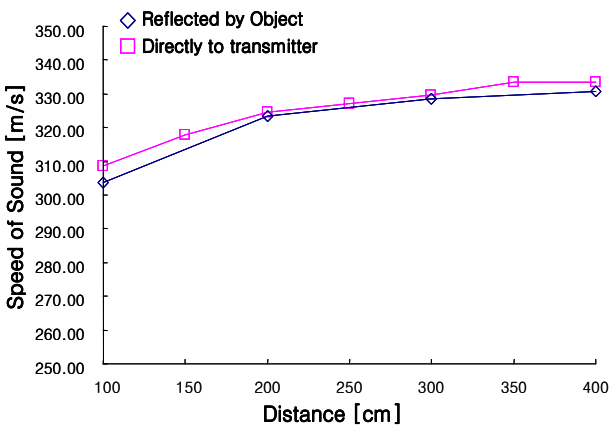


그림 3. 거리에 따른 초음파의 속도 변화
Fig. 3. Speed change of ultrasonic waves according to the distance

피조명물의 거리와 위치를 얻기 위하여 식 (1), (2)에 나타난 L_1 , L_2 를 측정된 결과, 초음파 속도를 일정한 값으로 고정하면 피조명물의 거리에 따라 측정값이 이론값에 비해 상당히 큰 오차를 나타내었다. 그러므로 본 연구에서는 L_1 , L_2 값을 측정할 때, 피조명물의 거리인 y 값에 따라 그림 3의 데이터를 참조하여 적절한 초음파 속도를 선정하는 오차 보정 알고리즘을 고안하여 거리계산 프로그램에 적용하였다.

그림 4는 물체의 y 좌표가 100[cm]이고, x 좌표가 0[cm]부터 30[cm]까지 5[cm]단위로 변할 때 초음파 속도가 보정된 L_1 , L_2 의 측정값을 보인 것이며, 표 1은 측정된 L_1 , L_2 값을 이론값과 비교한 표이다. L_1 은 수신부의 위치상 22.5[cm]까지 측정 가능하여 x 값 역시

22.5[cm]까지만 얻을 수 있었다. L_1 의 측정값과 이론값의 상대 백분율 오차의 평균은 약 0.9[%]이며 L_2 의 측정값과 이론값의 오차는 약 0.6[%]로 이론값과 측정값이 거의 동일하다.

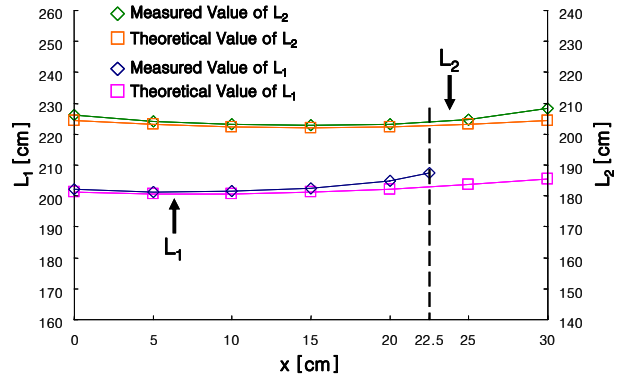


그림 4. L_1 , L_2 값의 이론값과 측정값
Fig. 4. Measured and theoretical values of L_1 and L_2

표 1. L_1 , L_2 의 측정값과 상대오차
Table 1. Measured values of L_1 and L_2 , and relative errors

$y = 100[cm]$

Object position [cm]	Theoretical value [cm]		Measured value [cm]	
	L_1	L_2	L_1	L_2
x	L_1	L_2	L_1	L_2
0	201.12	204.40	201.98	206.42
5	200.62	203.20	201.28	204.29
10	200.62	202.48	201.38	203.17
15	201.12	202.24	202.40	202.91
20	202.11	202.48	204.76	203.36
22.5	202.78	202.78	207.52	204.08
Average of relative error [%]			0.9	0.6

송신부에서 물체로 입사되는 초음파의 거리와 물체에서 수신부로 반사되는 초음파의 거리가 같은 지점은 L_1 에서 7.5[cm] 이고 L_2 에서 15[cm]이다. 그러므로 L_1 과 L_2 의 이론값은 각각 7.5[cm]와 15[cm]에서 가장 작다. L_1 , L_2 의 측정값 또한 같은 경향을 나타내었다.

그러나 초음파의 입사거리와 반사거리가 다른 L_1, L_2 의 측정값은 이론값 보다 다소 커진다. 그 이유는 초음파가 공기 중에 퍼져나갈 때, 지향각에 따라 초음파의 속도가 동일하지 않음에 기인한다고 보여지며 추후 이에 대한 검증실험이 필요하다.

표 2는 측정된 L_1, L_2 값을 식(5), (6)에 대입하여 도출한 x, y 좌표와 피조명물의 실제 좌표를 비교한 표이다. x좌표는 측정값의 평균 절대오차가 8.52[cm]로 크고 데이터 값의 변동도 심하지만, 실제 물체의 x 좌표 값이 0부터 22.5[cm]까지 점차 증가하는 것과 같이 측정된 x좌표 값도 -8.39에서 45.88로 증가하는 경향을 나타내었다.

y좌표의 평균 절대오차는 1.03[cm]이며 x좌표에 비해 실제 값에 매우 근사한 값을 얻을 수 있었다. 피조명물의 y좌표는 매우 안정적으로 인식되므로 위에서 서술한 오차 보정 알고리즘은 적절히 사용될 수 있다.

표 2. x, y 좌표의 측정값과 절대오차
Table 2. Measured position data(x, y) and absolute errors

y = 100[cm]

Object position [cm]	Measured coordinate[cm]		Absolute error[cm]	
	x	y	x	y
0	-8.39	99.46	8.39	0.54
5	1.94	100.21	3.06	0.21
10	10.40	100.37	0.40	0.37
15	19.04	100.26	4.04	0.26
20	31.85	99.18	11.85	0.82
22.5	45.88	96.04	23.38	3.96
Average of absolute error[cm]			8.52	1.03

그림 5는 피조명물의 실제 x좌표와 측정된 x좌표를 비교한 그래프이다. 측정값은 10회 측정하여 최대, 최소값을 나타낸 것이다. 물체의 x좌표가 10[cm]일 때 실제 값과 측정값은 근사하며 10[cm]보다 작아지거나 커지면 오차가 증가하였다. 그림 4에서 보인 것과 같이 L_1, L_2 값이 최소값을 가지는 x좌표인 7.5[cm]와

15[cm]에서 이론값과 측정값이 일치하도록 초음파 속도를 최적화하였으므로 이 값을 이용하여 계산된 x좌표도 이 근방인 10[cm]에서 이론값과 일치한다.

그림 4과 같이 측정된 L_1, L_2 값은 각각 7.5[cm]와 15[cm]의 x좌표를 기준으로 작거나 클수록 실제값보다 커진다. 이렇게 L_1, L_2 값의 측정값이 이론값보다 조금이라도 커지면 x좌표는 그림 5에서 나타난 것과 같이 크게 차이가 난다. 그 이유는 x좌표 값은 그림 2의 두 원의 방정식들을 연립해서 풀게 되므로, 이때 두 원의 중심사이의 거리에 비해 각 원의 반지름이 상대적으로 커서 작은 측정오차도 크게 반영되기 때문이다.

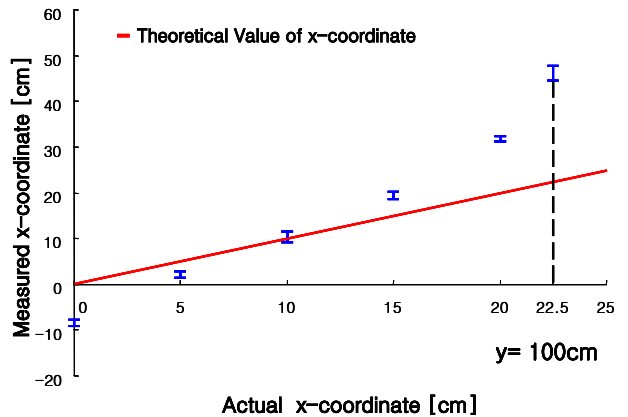


그림 5. x좌표의 측정값과 실제값
Fig. 5. Measured values and actual values of x

이 오차를 보정하기 위하여 본 연구에서는 새로운 2차 오차 보정 알고리즘을 고안하였다. 표 3과 같이 물체의 x좌표가 15[cm]보다 작을 때는 측정된 L_1 값이 측정된 L_2 값보다 작고 15[cm]보다 클 때는 측정된 L_2 값이 측정된 L_1 값보다 작다. 또한 물체의 x좌표가 15[cm]보다 증가하거나 감소함에 따라 L_1, L_2 값의 차이가 점점 증가하는 경향을 나타낸다. 이 결과를 이용하여 L_1, L_2 의 측정값의 오차를 보정하였다. 식 (7)은 x좌표가 0[cm]부터 15[cm]까지 위치에 있을 때의 L_2 를 보정하는 식이며, 식 (8)은 x좌표가 15[cm]부터 22.5[cm]까지 위치에 있을 때의 L_1 을 보정하는 식이다. 여기서 보정값 Φ 는 4절에서 서술하는 면광원 부분 점등 실험을 위하여 같은 사양의 송신부 1개와 수신부

2개로 구성된 초음파 센서 쌍을 5쌍 사용하여 도출한 최적값이다.

2차 오차 보정 알고리즘은 먼저 $\Delta L' (=L_2-L_1)$ 의 범위를 판단하고 이에 알맞은 보정 식을 선정하여 수행된다. 예를 들어 $\Delta L'$ 값이 4와 5사이에 있으면 식(7)이 사용되며 이때 보정값 Φ 는 1.7이다. 반면에 0과 -2사이에 있으면 식(8)이 사용되며 Φ 는 -1.2이다.

표 3. L_1, L_2 값의 차이와 보정 값
Table 3. Difference between L_1 and L_2 , and correction values

$y = 100[\text{cm}]$

Object position [cm]	Theoretical difference [cm]	Measured difference [cm]	Correction value [cm]
x	$\Delta L (=L_2-L_1)$	$\Delta L' (=L_2-L_1)$	Φ
0	3.28	4.44	1.7
5	2.58	3.01	0.9
10	1.86	1.79	0.3
15	1.12	0.52	-0.3
20	0.37	-1.40	-1.2
22.5	0	-3.44	-2.5

$$L_2 = L_2 - \Phi \tag{7}$$

$$L_1 = L_1 + \Phi \tag{8}$$

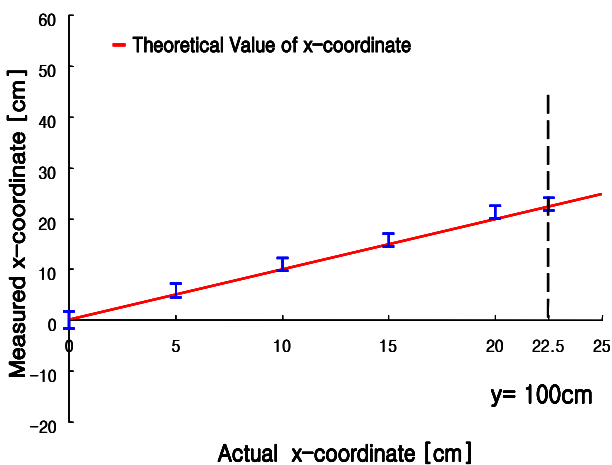


그림 6. 오차 보정 알고리즘을 적용하여 측정된 x좌표
Fig. 6. Measured values of x applying algorithm of second error correction

그림 6은 2차 보정 알고리즘을 적용하여 계산한 x좌표를 나타낸 그래프이다. 측정결과, 평균 절대 오차가 0.65[cm]로 이론값과 매우 근사한 값을 얻을 수 있었다.

4. LED 면광원 부분점등 시스템 개발

초음파 센서 배열을 사용하여 피조명물과의 위치 및 거리인 x, y좌표를 추출하여 면광원의 점등부분과 점등면적을 제어하는 LED 면광원의 부분점등 시스템을 개발하였다.

그림 7은 LED 면광원 부분점등 시스템의 외관을 보인 것이다. 실험에 사용된 LED 면광원은 크기가 120×30[cm]이며 정격 55[W]이고, 가로 32개, 세로 8개로 총 256개의 LED로 이루어져 있다. 이 면광원은 16부분으로 나누어지며, 각 부분은 16개의 LED들이 직렬로 연결되어 있다. 면광원 하단에는 3개의 송신부와 6개의 수신부로 구성된 초음파 센서들이 그림과 같이 15[cm] 간격으로 배치되어 있다. 1개의 송신부와 2개의 수신부가 물체의 x좌표를 22.5[cm]씩 측정하도록 되어 있어 120[cm]의 면광원은 총 5개의 측정구역으로 나누어져 있다.

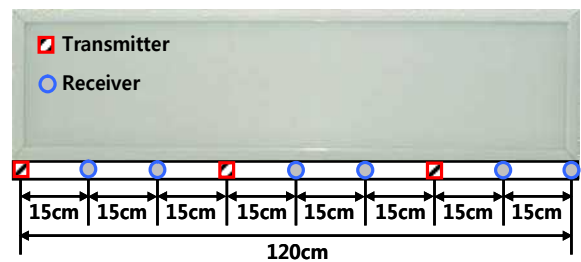


그림 7. 면광원의 초음파 센서 배열의 구조
Fig. 7. Structure of ultrasonic sensors array on flat LED lamp

그림 8은 LED 면광원 후면부에 위치한 LED 면광원 부분점등 회로 기판이다. 초음파 센서 배열로부터 얻은 신호들로 피조명물과의 거리 및 위치 데이터를 계산하고, 이렇게 얻어진 피조명물의 위치 데이터에 따라 부분 점등할 LED를 선택하기 위해 MCU(Micro Controller Unit)로 ATMEL社의 Atmega 128을 사용

하였다. 또한 이 MCU는 선택된 LED를 점등하기 위하여 FET에 인가하는 스위칭 펄스를 발생 시키는데도 사용된다. 이 LED 구동회로는 저항으로 LED에 흐르는 전류를 제한하였다.

그림 9는 초음파 센서 배열을 사용하여 추출한 피조명물의 x좌표를 나타낸 그래프이다. 면광원 상에서의 물체 거리인 y좌표는 100[cm]이고, x좌표는 0[cm]부터 120[cm]까지 5[cm]단위로 나누어 각각 총 10회 측정하여 최대, 최소값을 나타내었다. 2차 오차 보정 알고리즘을 적용하지 않은 경우, 측정된 x좌표의 평균 절대오차는 5.24[cm]이나 2차 오차 보정 알고리즘을 적용한 경우, 평균 절대오차 0.97[cm]로 이론값과 매우 근사한 값을 얻을 수 있었다.

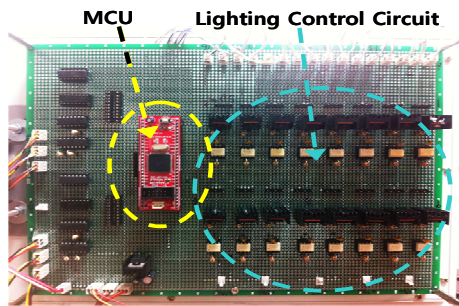


그림 8. LED 면광원 부분점등 회로
Fig. 8. Circuit board of local driving system for flat LED lamp

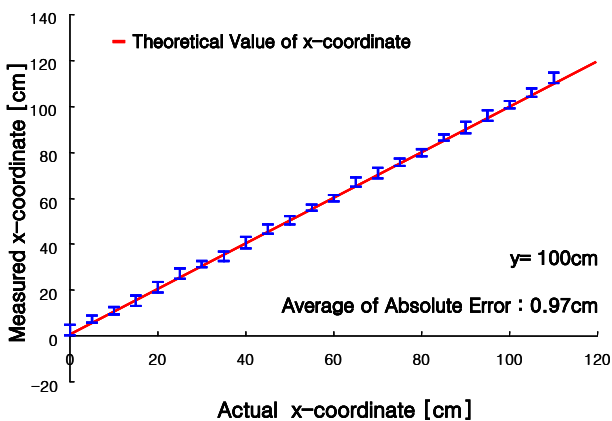


그림 9. 2차 보정 알고리즘과 초음파 센서 배열을 이용한 면광원에서 측정된 x좌표값
Fig. 9. Measured values of x from the flat LED lamp with ultrasonic sensors array and error correction algorithm

5. 결 론

본 연구에서는 송신부 1개와, 수신부 2개로 구성된 초음파 센서 쌍을 사용하여 피조명물의 x, y 위치 데이터를 정확하게 획득하는 방법을 제안하였다. 그리고 이 초음파 센서 배열을 사용하여 피조명물의 상황에 따라 120×30[cm], 55[W]의 LED 면광원을 부분점등 하는 면광원 부분점등 시스템을 개발하였다.

실험결과, 광원과 피조명물 사이의 거리인 y좌표는 평균 절대오차가 1.03[cm]로 작고 비교적 신뢰성이 있으나 광원과 피조명물의 상대적 위치인 x좌표는 평균 절대오차가 8.52[cm]로 크게 나타났다.

거리에 따른 초음파속도 변화를 고려한 오차 보정 알고리즘을 고안하여 L_1 , L_2 계산에 이용하는 초음파 속도를 최적화하고 L_1 , L_2 의 차이를 근거로 x값의 오차를 보정하는 2차 오차 보정 알고리즘을 고안함으로써 x좌표의 평균 절대오차를 0.65[cm]로 대폭 감소시켰다.

3개의 송신부와 6개의 수신부로 구성된 초음파 센서 배열에 의한 LED 면광원 부분점등 실험의 결과, x좌표의 평균 절대오차가 0.97[cm]로 이론값과 매우 가까운 측정값을 얻을 수 있었고 이를 이용하여 피조명물의 위치에 따라 면광원을 부분점등 할 수 있었다.

이번 연구 결과를 주차장, 빌딩의 복도와 같이 피조명물의 이동량이 많고 피조명물에 대한 상시조명이 필요한 장소에 사용하면 피조명물의 상황에 따른 부분점등이 가능하므로 광 이용효율을 향상 시킬 수 있을 것이다.

향후에는 초음파의 지향각에 따른 속도변화를 측정/평가하여 위치 데이터 계산에 활용할 필요가 있으며 다양한 피조명물(크기, 형상, 이동속도)에 대하여 안정적인 위치 데이터를 확보할 수 있는 오차 보정 기술의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(NIPA-2011- C6150-1101-0002)

References

- [1] Shin-Wook Kang, Jin-Hwan Joo, Hak-Cheol Kwon, Suk-Gyu Lee, Ju-Hyun Park, "Implementation of Improved Automatic Lighting System using PLC", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.24, No.6, pp.99~106, June. 2010.
- [2] Byoung-Soo Kim, Won-Pyo Hong, "Interior Light Environment and Building Energy Performance Analysis of LED Lamp Installed in Office Building", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.24, No.5, pp.77~85, May. 2010.
- [3] Dae-Geun Seo, Sung-Ho Cho, and Jang-Myung Lee, "Localization Algorithm for a Mobile Robot using iGS", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 14, No. 3, pp.1~6, March. 2008.
- [4] Alberto Ochoa, Jesus Urena, Alvaro Hernandez, Manuel Mazo, "Ultrasonic Multitransducer System for Classification and 3-D Location of Reflectors Based on PCA", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 58, No. 9, pp. 3031~3041, September. 2009.
- [5] Dirk Bank, "A Novel Ultrasonic Sensing System for Autonomous Mobile Systems", IEEE Sensors Journal, Vol. 2, No. 6, pp. 597~606, December. 2002.
- [6] Howie Choset, Keiji Nagatani, Nicole A. Lazar, "The Arc-Transversal Median Algorithm: A Geometric Approach to Increasing Ultrasonic Sensor Azimuth", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 19, No. 3, pp. 513~522, June. 2003.
- [7] Bozma. O, Kuc. R, "Building a sonar map in a specular environment using a single mobile sensor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.13, No. 12, pp.1260~1269, December. 1991.

◆ 저자소개 ◆



유성호 (柳成昊)

1985년 12월 16일생. 2011년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



이정훈 (李政勳)

1987년 9월 23일생. 2010년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.



엄정덕 (廉正德)

1960년 5월 14일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992~1995년 LG전자(주) 영상미디어(연). 1996년 일본 전기·통신대학 외국인연구자. 1997~1999년 삼성SDI(주) 기술본부. 2000~2005년 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수. 2006년~현재 숭실대학교 전기공학부 부교수.