

超音波定位系統之設計策略

盧樹台

清雲科技大學資訊工程學系

桃園縣 320 中壢市健行路 229 號

摘要

本論文提出一種超音波導盲系統，此超音波導盲系統包含三個超音波接收器及一個超音波發射器，可以計算出凌空障礙物的座標位置，以協助盲胞做凌空障礙物的感測與預警。三個超音波接收器分別被安置在一個正三角形的三個頂點，超音波發射器則被放置在正三角形的中心。本論文探討三個不同尺寸的正三角形超音波導盲系統，並以盲人頭部前方 1 至 2 公尺、 $\pm 15^\circ$ 度的範圍為測試區，比較該三種尺寸系統的定位誤差，以作為後續實作系統之參考。

關鍵詞：超音波定位系統，誤差分析

Strategy for Designing an Innovative Ultrasonic Positioning System

SHUH-TAI LU

Department of Computer Science and Information Engineering, Ching Yun University

229, Chien-Hsin Rd., Jung-Li, Taiwan 320, R.O.C.

ABSTRACT

An ultrasonic positioning system is introduced in this report. With the help of this system, blind persons can receive an early warning of the location of an obstacle. The system has three ultrasonic sensors and an ultrasonic emitter, each sensor being located at a different apex of an equilateral triangle and the emitter positioned at the center. Three different-sized equilateral triangles are discussed regarding analysis of the deviations in positioning measurement. An area of $\pm 15^\circ$, one to two meters in front of the sensors, is used as the testing area for the three different systems. Simulation results and conclusions are also given.

Key Words: ultrasonic positioning system, deviation analysis

一、前言

目前我們正在進行一種超音波導盲系統的研究，此種系統是模仿蝙蝠以超音波辨識環境的原理，來協助盲胞作凌空障礙物的感測與預警。此超音波導盲系統是利用三個超音波接收器，安排成正三角形排列，並且在正三角形中心放置一個超音波發射器。配合發射和接收電路，再經由三個超音波接收器所接收的回波訊號時間差，可以計算出凌空障礙物的座標。

一般而言，使用導盲犬是一種常見的導盲方式，但導盲犬的挑選訓練極為不易且成本又過於昂貴，並且有壽命之問題。另一種可行的導盲方式是使用電子導盲輔具，不需要如同訓練導盲犬般花費高昂的成本，也沒有導盲犬壽命終了，而又需重新適應的問題。這方面的研究，國內有交大電控所宋開泰教授所指導的導盲機器人 [8-10, 16] 及應用超音波的避障系統 [2, 4-6]，國外則有日本的“Guide Dog Robot” [15]，和密西根大學機器人實驗室的避障系統 (obstacle avoidance system, OAS) [13, 18] 等。而以此種自走式機器人的引導方式，視障使用者是被動地被引導，行走的路徑規劃是由機器人決定，使用者是被機器人引導行動。

密西根大學機器人實驗室後來又以 OAS 為基礎，開發出一種穿戴式輔具，這是配掛於腰帶上，半環狀排列的超音波行進輔具 (navbelt) [11, 12, 14]，主動偵測前方是否有障礙物，並以偵測系統判斷並透過聽覺與觸覺的方式給予使用者指示，引導使用者避開障礙物。

另外，導引式手杖 (guide cane) [7, 17] 為密西根大學繼 NavBelt 之後研發出來的，其較之前更好的優點在於將設備由人背負改裝置於一雙輪的小車子上，減輕了使用者所需背負的重量。

但由於一般的電子導盲輔具大都著重於地面障礙物的偵測，對於頭部周圍的凌空障礙物的部份卻忽略了。本文著重在將超音波導盲系統用於凌空障礙物座標的計算，以及探討三個不同尺寸的正三角形超音波導盲系統，並以盲人頭部前方 1 至 2 公尺、±15 度的範圍為測試區，比較該三種尺寸系統的定位誤差，以作為後續實作系統之參考。該測試區的範圍訂定，是參考一般盲人步行的速度，與手杖可探索的距離而定。

二、超音波導盲系統的定位計算

我們的超音波導盲系統，是將三個超音波接收器 A, B, C 以正三角形方式排列，而在正三角形中央放置一個超音波發射器 E，其架構圖如圖 1。

此系統是將超音波發射器 E 發出一個脈波，在過程中如果接觸到障礙物 P 時，此脈波將反射回接收器，再由系統依據超音波接收與發射時間差，計算出障礙物的距離及座標位置。我們首先定義超音波發射器 E、三個超音波接收器 A, B, C 與待測障礙物 P 的座標如下 (單位為公分)：

E 點座標為：E (0, $L/\sqrt{3}$, 0)

A 點座標為：A (L, 0, 0)

B 點座標為：B (-L, 0, 0)

C 點座標為：C (0, $\sqrt{3}L$, 0)

P 點座標為：P (x, y, z)

由 E 點至 P 點再至 A 點距離 D_{EPA} 可計算如方程式 (1)

$$D_{EPA} = \sqrt{x^2 + (y - \frac{L}{\sqrt{3}})^2 + z^2} + \sqrt{(x - L)^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

由 E 點至 P 點再至 B 點距離 D_{EPB} 可計算如方程式 (2)

$$D_{EPB} = \sqrt{x^2 + (y - \frac{L}{\sqrt{3}})^2 + z^2} + \sqrt{(x + L)^2 + y^2 + z^2} \quad (2)$$

由 E 點至 P 點再至 C 點距離 D_{EPC} 可計算如方程式 (3)

$$D_{EPC} = \sqrt{x^2 + (y - \frac{L}{\sqrt{3}})^2 + z^2} + \sqrt{x^2 + (y - \sqrt{3}L)^2 + z^2} \quad (3)$$

因超音波可測得 D_{EPA} 、 D_{EPB} 及 D_{EPC} ，故此三個參數可被視為已知。

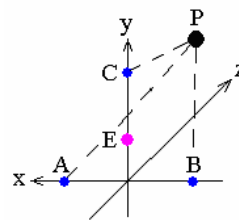


圖 1. 超音波導盲系統架構圖

我們可以利用牛頓-拉弗森疊代法 (Newton-Raphson iteration method) [1] 來求解方程式 (1) 至方程式 (3) 的非線性方程式，首先令

$$f_1(x, y, z) = \sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2} + \sqrt{(x-L)^2 + y^2 + z^2} - D_{EPA} \quad (4)$$

$$f_2(x, y, z) = \sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2} + \sqrt{(x+L)^2 + y^2 + z^2} - D_{EPB} \quad (5)$$

$$f_3(x, y, z) = \sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2} + \sqrt{x^2 + (y - \sqrt{3}L)^2 + z^2} - D_{EPC} \quad (6)$$

接下來求取 Jacobian 矩陣中的元素如下：

$$\frac{\partial f_1}{\partial x} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{x-L}{\sqrt{(x-L)^2 + y^2 + z^2}} \quad (7)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial y} = \frac{y - \frac{L}{\sqrt{3}}}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{y}{\sqrt{(x-L)^2 + y^2 + z^2}} \quad (8)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial z} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{z}{\sqrt{(x-L)^2 + y^2 + z^2}} \quad (9)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial x} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{x+L}{\sqrt{(x+L)^2 + y^2 + z^2}} \quad (10)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial y} = \frac{y - \frac{L}{\sqrt{3}}}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{y}{\sqrt{(x+L)^2 + y^2 + z^2}} \quad (11)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial z} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{z}{\sqrt{(x+L)^2 + y^2 + z^2}} \quad (12)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial x} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + (y - \sqrt{3}L)^2 + z^2}} \quad (13)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial y} = \frac{y - \frac{L}{\sqrt{3}}}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{y - \sqrt{3}L}{\sqrt{x^2 + (y - \sqrt{3}L)^2 + z^2}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial z} = \frac{z}{\sqrt{x^2 + \left(y - \frac{L}{\sqrt{3}}\right)^2 + z^2}} + \frac{z}{\sqrt{x^2 + (y - \sqrt{3}L)^2 + z^2}} \quad (15)$$

若給定障礙物座標初值 x_i 、 y_i 及 z_i ，我們可以由方程式 (16) 中得到 Δx_i 、 Δy_i 及 Δz_i

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \frac{\partial f_2}{\partial z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x} & \frac{\partial f_3}{\partial y} & \frac{\partial f_3}{\partial z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1(x_i, y_i, z_i) \\ f_2(x_i, y_i, z_i) \\ f_3(x_i, y_i, z_i) \end{bmatrix} \quad (16)$$

如此，修正後的障礙物座標 x_{i+1} 、 y_{i+1} 及 z_{i+1} 可以計算如下

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i \quad (17)$$

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (18)$$

$$z_{i+1} = z_i + \Delta z_i \quad (19)$$

從方程式 (16) 至方程式 (19) 的疊代過程一直持續到 $f_1^2 + f_2^2 + f_3^2$ 收斂至一容許誤差值之內為止，最後我們會得到準確的障礙物座標。

三、超音波導盲系統的定位誤差

在實作系統之前，我們想先瞭解由三個超音波接收器的測距誤差，對凌空障礙物座標計算造成的影響。在本研究中，我們考慮凌空障礙物在盲人頭部前方 1 至 2 公尺、 ± 15 度的範圍內，最大測量誤差會發生在盲人前方 2 公尺、 ± 15 度的邊界上。接著，我們以圖 2 所示的 N1、E1、S1、W1 以及 N2、E2、S2、W2 八點來做參考，以模擬測距誤差產生時，對凌空障礙物座標計算所產生的影響。此八個點的座

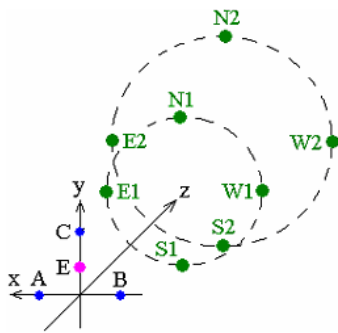


圖 2. 受測區域位置圖

標分別為：N1 (0, 100tan15°, 100)、E1 (100tan15°, 0, 100)、S1 (0, -100tan15°, 100)、W1 (-100tan15°, 0, 100) 以及 N2 (0, 200tan15°, 200)、E2 (200tan15°, 0, 200)、S2 (0, -200tan15°, 200)、W2 (-200tan15°, 0, 200)。在以下的誤差分析比較中，我們探討了三個不同尺寸的正三角形超音波導盲系統，其 L 值分別為 5cm、10 cm 及 15cm。

我們以市售益眾科技公司 [3] 生產的超音波測距儀 A10-0002 的規格為測試參考，該系統有效距離為 400 公分，最佳準確度可達 ±1 公分。我們對三個不同尺寸的正三角形超音波導盲系統，考慮其測距誤差 ΔD_{EPA}、ΔD_{EPB}、ΔD_{EPC}

分別由 -1.0 cm 變化至+1.0 cm 時，八個參考點的凌空障礙物座標計算誤差 Δx、Δy 及 Δz 如表 1 至表 8 所示。

表 1 至表 8 中的 D_{XYZ} 計算如方程式 (20)，此處 D_{XYZ} 提供了障礙物計算座標與參考點之間誤差距離的資訊。

$$D_{XYZ} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (20)$$

四、結論

本研究主要目的在實作導盲超音波定位系統之前，瞭解不同尺寸的正三角形超音波導盲系統尺寸與定位誤差的關係，結論如下：

1. 比較表 1 至表 8，我們發現在同樣的測距誤差下，接收器的間距越大，定位誤差越小，且兩者的關係近乎線性。
2. 比較表 1 至表 8，我們也發現當三個接收器的測距誤差相同時（如 ΔD_{EPA}、ΔD_{EPB}、ΔD_{EPC} 同時為+1cm 或-1cm），定位誤差都會大幅減少。

因此，在實作系統時，應將三個接收器的間距盡量加大，且電路特性要調整到一致，如此就可以減少超音波導盲系統的定位誤差。

表 1. 由超音波測距誤差產生障礙物在 N1 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD _{EPA}	ΔD _{EPB}	ΔD _{EPC}	Δx	Δy	Δz	D _{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D _{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D _{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	0.0	-0.1	-0.5	0.5	0.0	-0.1	-0.5	0.5	0.0	-0.1	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-20.8	11.8	-6.0	24.6	-10.4	5.8	-2.1	12.1	-7.0	3.9	-1.2	8.1
-1.0	1.0	-1.0	20.8	11.8	-6.0	24.6	10.4	5.8	-2.1	12.1	7.0	3.9	-1.2	8.1
1.0	1.0	-1.0	0.0	23.6	-8.6	25.2	0.0	11.7	-3.0	12.1	0.0	7.8	-1.6	8.0
-1.0	-1.0	1.0	0.0	-23.7	2.6	23.9	0.0	-11.8	1.6	11.9	0.0	-7.9	0.9	7.9
1.0	-1.0	1.0	-20.7	-11.8	0.1	23.8	-10.4	-5.8	0.7	11.9	-7.0	-3.9	0.6	8.0
-1.0	1.0	1.0	20.7	-11.8	0.1	23.8	10.4	-5.8	0.7	11.9	7.0	-3.9	0.6	8.0
1.0	1.0	1.0	0.0	0.1	0.5	0.5	0.0	0.1	0.5	0.5	0.0	0.1	0.5	0.5

表 2. 由超音波測距誤差產生障礙物在 N2 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD _{EPA}	ΔD _{EPB}	ΔD _{EPC}	Δx	Δy	Δz	D _{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D _{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D _{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	0.0	-0.1	-0.5	0.5	0.0	-0.1	-0.5	0.5	0.0	-0.1	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-41.5	23.7	-12.3	49.3	-20.7	11.8	-4.5	24.3	-13.9	7.8	-2.6	16.1
-1.0	1.0	-1.0	41.5	23.7	-12.3	49.3	20.7	11.8	-4.5	24.3	13.9	7.8	-2.6	16.1
1.0	1.0	-1.0	0.0	47.5	-18.4	50.9	0.0	23.6	-7.0	24.7	0.0	15.7	-4.0	16.2
-1.0	-1.0	1.0	0.0	-47.6	6.1	48.0	0.0	-23.7	4.0	24.0	0.0	-15.7	2.7	16.0
1.0	-1.0	1.0	-41.4	-23.7	0.5	47.7	-20.7	-11.8	1.6	23.9	-13.8	-7.8	1.3	15.9
-1.0	1.0	1.0	41.4	-23.7	0.5	47.7	20.7	-11.8	1.6	23.9	13.8	-7.8	1.3	15.9
1.0	1.0	1.0	0.0	0.1	0.5	0.5	0.0	0.1	0.5	0.5	0.0	0.1	0.5	0.5

盧樹台：超音波定位系統之設計策略

表 3. 由超音波測距誤差產生障礙物在 E1 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD_{EPA}	ΔD_{EPB}	ΔD_{EPC}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	-0.1	0.0	-0.5	0.5	-0.1	0.0	-0.5	0.5	-0.1	0.0	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-20.7	11.9	2.8	24.0	-10.4	5.9	2.2	12.1	-6.9	4.0	1.7	8.2
-1.0	1.0	-1.0	20.8	12.2	-8.7	25.6	10.5	6.2	-3.4	12.6	7.0	4.2	-2.0	8.5
1.0	1.0	-1.0	0.2	23.9	-2.1	24.0	0.2	12.1	0.1	12.1	0.2	8.1	0.5	8.2
-1.0	-1.0	1.0	-0.2	-24.0	-3.8	24.3	-0.2	-12.1	-1.6	12.2	-0.2	-8.2	-1.2	8.2
1.0	-1.0	1.0	-20.7	-12.1	2.5	24.1	-10.4	-6.2	1.9	12.3	-7.0	-4.2	1.3	8.3
-1.0	1.0	1.0	20.6	-11.8	-8.9	25.4	10.3	-5.9	-3.7	12.5	6.9	-3.9	-2.3	8.3
1.0	1.0	1.0	0.1	0.0	0.5	0.5	0.1	0.0	0.5	0.5	0.1	0.0	0.5	0.5

表 4. 由超音波測距誤差產生障礙物在 E2 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD_{EPA}	ΔD_{EPB}	ΔD_{EPC}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	-0.1	0.0	-0.5	0.5	-0.1	0.0	-0.5	0.5	-0.1	0.0	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-41.4	23.8	5.5	48.1	-20.7	11.9	4.2	24.2	-13.8	7.9	3.2	16.2
-1.0	1.0	-1.0	41.5	24.1	-17.5	51.1	20.8	12.2	-7.0	25.1	13.9	8.2	-4.2	16.7
1.0	1.0	-1.0	0.2	47.8	-5.0	48.1	0.2	23.9	-0.6	24.0	0.2	16.0	0.2	16.0
-1.0	-1.0	1.0	-0.2	-47.9	-6.6	48.3	-0.2	-24.0	-2.3	24.1	-0.2	-16.0	-1.5	16.1
1.0	-1.0	1.0	-41.4	-24.1	5.1	48.2	-20.8	-12.1	3.9	24.4	-13.9	-8.2	2.9	16.3
-1.0	1.0	1.0	41.3	-23.8	-17.7	50.9	20.7	-11.8	-7.2	24.9	13.8	-7.9	-4.5	16.5
1.0	1.0	1.0	0.1	0.0	0.5	0.5	0.1	0.0	0.5	0.5	0.1	0.0	0.5	0.5

表 5. 由超音波測距誤差產生障礙物在 W1 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD_{EPA}	ΔD_{EPB}	ΔD_{EPC}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	0.1	0.0	-0.5	0.5	0.1	0.0	-0.5	0.5	0.1	0.0	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-20.8	12.2	-8.7	25.6	-10.5	6.2	-3.4	12.6	-7.0	4.2	-2.0	8.5
-1.0	1.0	-1.0	20.7	11.9	2.8	24.0	10.4	5.9	2.2	12.1	6.9	4.0	1.7	8.2
1.0	1.0	-1.0	-0.2	23.9	-2.1	24.0	-0.2	12.1	0.1	12.1	-0.2	8.1	0.5	8.2
-1.0	-1.0	1.0	0.2	-24.0	-3.8	24.3	0.2	-12.1	-1.6	12.2	0.2	-8.2	-1.2	8.2
1.0	-1.0	1.0	-20.6	-11.8	-8.9	25.4	-10.3	-5.9	-3.7	12.5	-6.9	-3.9	-2.3	8.3
-1.0	1.0	1.0	20.7	-12.1	2.5	24.1	10.4	-6.2	1.9	12.3	7.0	-4.2	1.3	8.3
1.0	1.0	1.0	-0.1	0.0	0.5	0.5	-0.1	0.0	0.5	0.5	-0.1	0.0	0.5	0.5

表 6. 由超音波測距誤差產生障礙物在 W2 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD_{EPA}	ΔD_{EPB}	ΔD_{EPC}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	0.1	0.0	-0.5	0.5	0.1	0.0	-0.5	0.5	0.1	0.0	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-41.5	24.1	-17.5	51.1	-20.8	12.2	-7.0	25.1	-13.9	8.2	-4.2	16.7
-1.0	1.0	-1.0	41.4	23.8	5.5	48.1	20.7	11.9	4.2	24.2	13.8	7.9	3.2	16.2
1.0	1.0	-1.0	-0.2	47.8	-5.0	48.1	-0.2	23.9	-0.6	24.0	-0.2	16.0	0.2	16.0
-1.0	-1.0	1.0	0.2	-47.9	-6.6	48.3	0.2	-24.0	-2.3	24.1	0.2	-16.0	-1.5	16.1
1.0	-1.0	1.0	-41.3	-23.8	-17.7	50.9	-20.7	-11.8	-7.2	24.9	-13.8	-7.9	-4.5	16.5
-1.0	1.0	1.0	41.4	-24.1	5.1	48.2	20.8	-12.1	3.9	24.4	13.9	-8.2	2.9	16.3
1.0	1.0	1.0	-0.1	0.0	0.5	0.5	-0.1	0.0	0.5	0.5	-0.1	0.0	0.5	0.5

表 7. 由超音波測距誤差產生障礙物在 S1 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD_{EPA}	ΔD_{EPB}	ΔD_{EPC}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.1	-0.5	0.5	0.0	0.2	-0.5	0.5	0.0	0.2	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-20.8	12.2	0.5	24.1	-10.4	6.3	1.1	12.2	-7.0	4.3	1.0	8.3
-1.0	1.0	-1.0	20.8	12.2	0.5	24.1	10.4	6.3	1.1	12.2	7.0	4.3	1.0	8.3
1.0	1.0	-1.0	0.0	24.2	4.3	24.6	0.0	12.3	3.4	12.8	0.0	8.4	2.8	8.9
-1.0	-1.0	1.0	0.0	-24.3	-10.9	26.6	0.0	-12.4	-5.1	13.4	0.0	-8.4	-3.6	9.2
1.0	-1.0	1.0	-20.7	-12.2	-6.5	24.9	-10.4	-6.2	-2.6	12.4	-7.0	-4.3	-1.7	8.3
-1.0	1.0	1.0	20.7	-12.2	-6.5	24.9	10.4	-6.2	-2.6	12.4	7.0	-4.3	-1.7	8.3
1.0	1.0	1.0	0.0	-0.1	0.5	0.5	0.0	-0.2	0.5	0.5	0.0	-0.2	0.5	0.5

表 8. 由超音波測距誤差產生障礙物在 S2 之座標計算誤差比較表

超音波測距誤差			超音波導盲系統 L=5cm				超音波導盲系統 L=10cm				超音波導盲系統 L=15cm			
ΔD_{EPA}	ΔD_{EPB}	ΔD_{EPC}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}	Δx	Δy	Δz	D_{XYZ}
-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.1	-0.5	0.5	0.0	0.1	-0.5	0.5	0.0	0.1	-0.5	0.5
1.0	-1.0	-1.0	-41.5	24.2	0.9	48.0	-20.7	12.2	2.0	24.2	-13.9	8.2	1.7	16.2
-1.0	1.0	-1.0	41.5	24.2	0.9	48.0	20.7	12.2	2.0	24.2	13.9	8.2	1.7	16.2
1.0	1.0	-1.0	0.0	48.1	7.8	48.7	0.0	24.2	5.8	24.9	0.0	16.3	4.5	16.9
-1.0	-1.0	1.0	0.0	-48.2	-20.6	52.4	0.0	-24.3	-9.1	25.9	0.0	-16.3	-6.0	17.4
1.0	-1.0	1.0	-41.4	-24.1	-12.8	49.6	-20.7	-12.2	-4.9	24.5	-13.8	-8.2	-3.1	16.4
-1.0	1.0	1.0	41.4	-24.1	-12.8	49.6	20.7	-12.2	-4.9	24.5	13.8	-8.2	-3.1	16.4
1.0	1.0	1.0	0.0	-0.1	0.5	0.5	0.0	-0.1	0.5	0.5	0.0	-0.1	0.5	0.5

誌謝

本文感謝行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 94-2622-E-231-009-CC3 提供研究經費，特此致謝。

參考文獻

1. 施澄鐘 (民 82)，應用數值分析，松崗電腦圖書，台北。
2. 孫中麒 (民 94)，低價位之導盲系統，國立中央大學碩士論文。
3. 益眾科技 <http://www.icci.com.tw/> (民國 96 年 3 月 21 日檢索下載)
4. 陳巧茵 (民 93)，小型自走車以超音波避障之研究，國立成功大學工程科學系碩士班碩士論文。
5. 黃立坤 (民 91)，超音波頭控系統之研製，逢甲大學自動控制工程研究所碩士論文。
6. 楊雅兆 (民 93)，使用超音波感測之自走車避障實務設計，中原大學機械工程研究所碩士論文。
7. Borenstein, J. and I. Ulrich (1997) The guidecane - A computerized travel aid for the active guidance of blind pedestrians. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque,

NM.

8. Chang, C. C. and K. T. Song (1997) Environment prediction for a mobile robot in a dynamic environment. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, 13(6), 862-872.
9. Lee, T. C. and K. T. Song (2001) Tracking control of unicycle-modeled mobile robots using a sturation feedback controller. *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, 9(2), 305-318.
10. Lee, T. C., T. C. Yi and K. T. Song (2004) Fast parking control of mobile robots: A motion planning approach with experimental validation. *IEEE Transaction on Control Systems Technology*, 12(5), 661-676.
11. Shoval, S., J. Borenstein and Y. Koren (1998) Auditory guidance with the navbelt - A computerized travel aid for the blind. *IEEE Transactions on Systems*, 28(3), 459-467.
12. Shoval, S., J. Borenstein and Y. Koren (1993) The navbelt - A computerized travel aid for the blind. Proceedings of the RESNA '93 conference. Las Vegas, Nevada.
13. Shoval, S., J. Borenstein and Y. Koren (1994) Mobile robot obstacle avoidance in a computerized travel aid for

-
- the blind. Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, CA.
14. Shoval, S. and J. Borenstein (1998) The navBelt – A computerized travel aid for the blind on mobile robotics technology. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 45(11), 107-116.
15. Tachi, S. and K. Komoritya (1985) Guide dog robot. In: *2nd International Symposium on Robotics Research*. H. Hanafusa and H. Inoue Eds. MIT Press.
16. Tseng, S. T. and K. T. Song (2002) Real-time image tracking for traffic monitoring. IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, National University of Singapore, Kent Ridge, Singapore.
17. Ulrich, I. and J. Borenstein (2001) The guidecane - Applying mobile robot technologies to assist the visually impaired. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 31(2), 131-136.
18. Xu, Y., E. Saber and A. M. Tekalp (2003) Object segmentation and labeling by learning from examples. *IEEE Transaction on Image Processing*, 2(6), 627-638.
- 收件：95.12.22 修正：96.03.21 接受：96.06.20