

虛擬實境中空間定位器之研發及位置預估之研究(II)

Spatial Tracker Design and Its Motion Prediction in Virtual Environments(II)

計畫編號：NSC 86-2213-E-002-044

執行期間：民國 86 年 08 月 01 日至民國 87 年 07 月 31 日

計畫主持人：歐陽明 教授

共同主持人：無

(1) 計畫摘要：中文部份

近年來，在虛擬實境的應用方面，由於各研究單位及產業界的積極投入，已成為繼多媒體熱潮後，另一個令各界所重視的研究領域。是故虛擬實境週邊裝置的研究，亦成為極重要的課題。這些週邊裝置包括立體顯像式頭盔、三度空間定位器、數據手套、立體音源產生器及力回饋輸出裝置。

在這個計劃中，我們將著重於三度空間定位器的研究和空間位置預測技術的開發。首先將針對定點式的(Source Based Tracker) 三度空間定位器之工作原理作研究，我們選定電磁波式的定位器為研究方向，並以電腦模擬其工作模式，整理出其數學模型及計算誤差。到目前為止，此類型之定位器最為普遍，但活動範圍受限是它的最大缺點(以電磁波式的定位器為例，因為受制於電磁波在強度方面的安全管制，如FCC規格，使得它的有效範圍大約為1~2公尺)；而為了擴大活動範圍，本計劃第三年之後將朝非定點式(Sourceless Tracker)的三度空間定位器方向相關研究及評估。由於此類型的定位器難度高，國外研究者亦少，故其研究價值極高。

同時，本計劃亦針對使用者在穿戴立體顯像式頭盔及頭部定位器移動時所產生的遲滯現象，作空間位置預測(Motion Prediction)

的研究，以減少此時間遲滯現象(Latency)對人體平衡中樞所帶來的負面影響，如使用幾分鐘後所產生的暈眩，甚至想嘔吐等現象。

(2) 計畫摘要：英文部份

In recent years, virtual reality (VR), thanks to focused researches and developments, has become a hot research area after the tide of multimedia. The virtual reality related peripheral devices, including head-mounted displays (HMD), space trackers, data gloves, 3D sound generators, haptic displays, etc., become very important if VR industry is going to prosper.

In this project, we will focus on the research and development of space trackers and associated motion prediction methods for latency compensation. First, we will select electro-magnetic theory based trackers as our study in first year, derive the corresponding mathematical models, and then conduct an error analysis in computer simulation. Up to now, this kind of tracker is the most popular one in advanced VR applications, however, its working range is quite limited (one to two meters in general, because of the limit set by the magnetic field

strength approved by agencies such as FCC of USA). To enlarge the working range, starting from the third year, we are going to develop the so called “source-less” trackers. Since this kind of tracker involves technology of higher complexity, furthermore, fewer technical reports and publications are available, further research is highly recommended.

Meanwhile, in this project we will develop motion prediction methods to compensate the latency involved in a system when a user wears an HMD. In general, latency usually ranges from 100ms to 300ms in most applications. However, studies also show that after several minutes of wearing HMD under the above latency, side effects from motion sickness will happen.

(3) 研究成果

本計畫本年完成以下之具體成果：

1. 設計一個磁場對空間轉換的演算法，用來轉換發送器和接收器間電磁波強度變化，使之對應於三度空間相對位置的變化。
2. 研究及實作電磁波式三度空間定位器，包括發送及接收之一軸線圈、控制電路系統、以及AD/DA卡控制程式及計算三度空間位置及方向之程式。
3. 設計及實作定位預測實驗，評估此預測系統的性能，並將之應用於具體的虛擬實境系統中，包括三度空間環境漫遊系統（3D Environment Walk-through）及三度空間聲效系統（3D Sound）。

首先對演算法的部份加以說明：

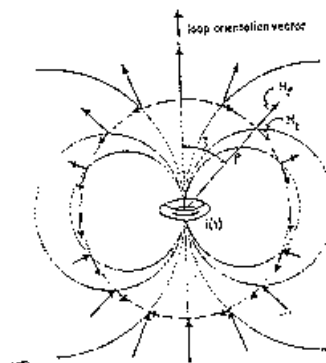
由法拉第電磁感應定律，一個時變電磁場會在空間中形成一感應電動勢。我們可以利用一組三軸線圈產生一個時變的電磁場，再用另一組三軸線圈感測其磁場隨空間的變化。在第一年中，我們先實作一軸的發射線圈和接收線圈，作為初步的研究和探討。

在理論上，由於我們的系統操作在7KHz的頻率上，因此產生的磁場可視為準靜磁場（quasi-static magnetic field）。我們即以靜磁場作本系統場形分佈的模型，建構出空間中每一點所對應的場量，進而利用感測器所測得的場量，求出其在空間中的位置。

一維磁偶極的磁場強度分佈如下圖：

$$H = (M / 2r^3) \cos \theta \quad (1)$$

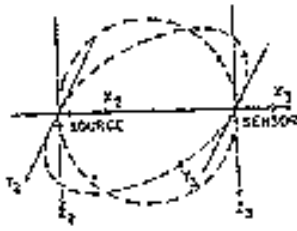
$$H_t = (M / 4r^3) \sin \theta \quad (2)$$



其中 $M=NIA$ ， N 為線圈的圈數， I 為電流的強度， A 則為線圈的截面積。我們可以將之推廣至三維的磁偶極。我們利用向量表示對應於各軸的磁場強度，並假設每一軸線圈圈數及截面積皆相同。

首先我們用一組線圈產生一個準靜磁場，稱為發射源（Source），再放置另一組線圈作為感測器（Sensor）。當感測器的相對位置在發射源的一個軸上（設為 X 軸），而且沒有轉動（orientation），

則我們可以用下式描述發射源的電流向量和感測器的電流向量之關係：



$$f_3 = (C / \dots^3) \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ & & & 2 \\ & & & & -1 \\ & & & & & 2 \end{bmatrix} f_2 \quad (3)$$

其中 $C = NAG/2$ ， G 為感測器的增益， f_2 及 f_3 分別代表發射源及感測器的電流強度。

推廣(3)式，我們即可以完成三維的定位系統，因為其它不同的位置及旋轉量皆可由(3)式作等效座標旋轉而得。如果我們以極座標表示感測器相對於發射源的位置為 (r, θ) ，且假設發射源的電流強度向量為 f_1 ，則我們可以等效地旋轉發射源座標，使得感測器在發射源的一軸上：

$$f_2 = T T f_1 \quad (4)$$

其中 T 及 T 為旋轉矩陣。如果感測器相對於發射源沒有旋轉量，則我們可以得到感測器所量得的電流強度為：

$$f_4 = T \cdot T \cdot f_3 \quad (5)$$

若把感測器的旋轉量也加以考慮，我們用 (α, β, γ) 表示發射源的三個座標軸的旋轉量，則感測器所接收到的電流強度為：

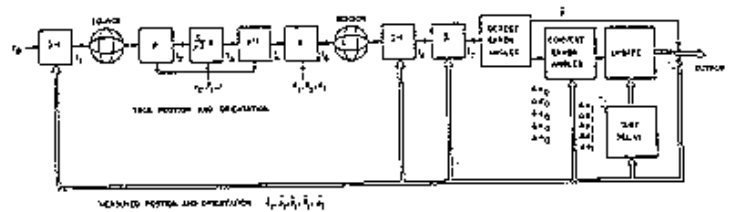
$$f_5 = T T T f_4 \quad (6)$$

本系統因採用誤差修正的方式來追蹤位置和旋轉量，因此需要另外定義兩個座標系，使得我們的變數成為差分的形式：

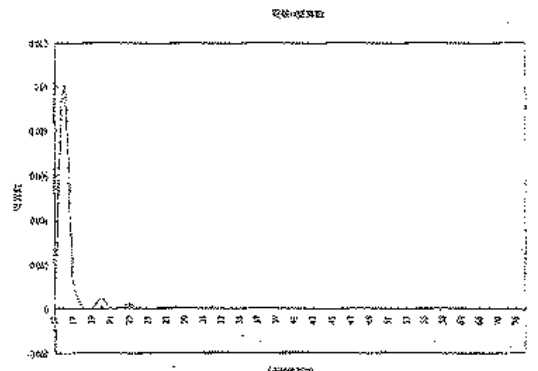
$$f_7 = T_5 T_7 T_{-2} T_{-1} T_{-7} f_5 \quad (7)$$

$$f_0 = T_5 T_7 f_1 \quad (8)$$

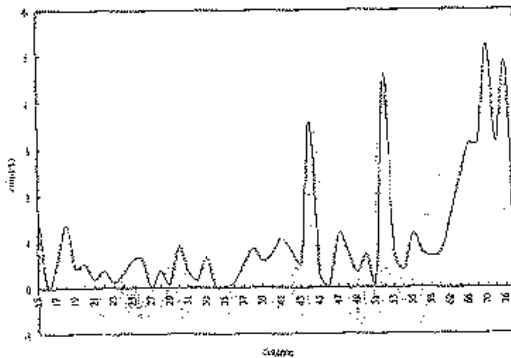
經由以上的式子，我們可以由感測器所量得的電流強度，計算出相對於 f_0 座標系的角度誤差 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ，最後，我們再將角度誤差經由轉換，改由相對於發射源的座標系來表示，並且用以修正前一組角度的誤差，讓系統平衡時的角度誤差為零，即完成整個測量定位流程。如下圖：



接下來對我們的系統做一些初步測試。這是第一版的程式所得到的結果，且是在486機器上操作，所以在取樣頻率不夠的情形下，在同一距離所測得的電壓強度會有些不穩定的現象。同時，我們發現在距離小的情形下，變數的變異數會較大，且較不穩定，如下圖所示：



造成這個現象的原因，是因為訊號強度和距離的三次方成反比，故微小的距離變化即可造成很大的電壓強度變化；但是相對而言，當距離小時，變異數對距離辨識所造成的誤差也相對減小。我們對每個距離測量點作30次的訊號取樣，平均之後再依所建立的模型求出其距離，其相對距離誤差如下圖所示：



我們發現在40公分以內誤差皆在1.5%以內，而在70公分以內，誤差皆在小於5%。分析那些誤差較大的點，發現是取樣所造成的問題，只要增加取樣頻率，問題即可獲得解決。在第二版的程式中已針對這個問題作了修正。

我們即將展開三維系統的測試，最終將求出所有決定位置的旋轉量的參數。三維系統比一維系統多了些同步和介面控制的問題，必須要一一克服。目前我們已完成初步的雛形系統，並已進入了整合階段。依照本系統目前所花費的成本作保守估計，本系統將可用比商業產品低80%的成本完成。

最後，我們對預測演算法的說明如下：

為了解決空間定位器在硬體的限制下，產生位置空間座標資料延遲，因而導致使用者覺得不自然，甚至暈眩的情形，我們著手研究一套預測演算法，利

用之前收集的座標資料，作為判斷及預測下一次座標資料的基準。

基於計算量的考慮，我們採用了“灰色系統理論”(Grey System Theory)，作為預測演算法的骨幹。此預測演算法，已經在不同的虛擬實境系統中測試，包括一套環境漫遊系統(Environment Walk-Through)，及一套三度空間聲效系統(3D Sound)。結果發現在使用了預測演算法後，使用者的感覺及其在此系統的表現，都比在沒有預測演算法的情形下好。在環境漫遊系統中，我們設計讓使用者在虛擬環境中追逐一個四處移動的物體，發現在預測演算法加入後，使用者將更容易地追蹤此物體(附錄1)；而在三度空間聲效系統中，我們設計讓使用者指出虛擬空間中的聲源位置，發現在預測演算法加入後，使用者只需要較短的時間，即可指出正確的聲源位置(附錄2、3)。

(4)重要之相關發表文獻摘錄：

1. Jiann-Rong Wu, Yuong-Wei Lei, Bing-Yu Chen and Ming Ouhyoung. "User Interface Issues for a Building Walkthrough System with Motion Prediction", *Proc. of IEEE 1996 International Conference on Consumer Electronics*, pp. 378-379, Chicago, 1996.
2. Jiann-Rong Wu and Ming Ouhyoung. "On Latency Compensation and Its Effects for Head Motion Trajectories in Virtual Environments", under first revision for *The Visual Computer*, 1997.
3. Jiann-Rong Wu, Cha-Dong Duh, Ming Ouhyoung and Jei-Tun Wu. "Head Motion and Latency Compensation on Localization of 3D Sound in Virtual Reality", *ACM VRST'97 Lausanne Switzerland*, pp.15-20, September 15-17, 1997.