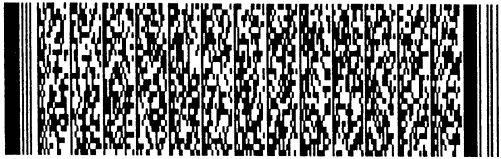


申請日期: 88.4.12	案號: 88/05754
類別: A61B5/103	

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書		497967
一、 發明名稱	中文	移動追蹤系統
	英文	
二、 發明人	姓名 (中文)	1. 艾瑞克M. 福克斯林
	姓名 (英文)	1. Eric M. Foxlin
	國籍	1. 美國
	住、居所	1. 美國麻州02174亞林頓市高地大道285號
三、 申請人	姓名 (名稱) (中文)	1. 麻省理工學院
	姓名 (名稱) (英文)	1. Massachusetts Institute of Technology
	國籍	1. 美國
	住、居所 (事務所)	1. 美國麻州02142-1324劍橋市麻薩諸塞大道77號
	代表人 姓名 (中文)	1. 賈米拉Z. 賀貝克
	代表人 姓名 (英文)	1.
		

本案已向

國(地區)申請專利

美國 US

申請日期

1998/04/17 09/062, 442

案號

主張優先權

有

有關微生物已寄存於

寄存日期

寄存號碼

無



五、發明說明 (1)

本發明係有關於移動追蹤。

移動追蹤可以使用不同的量測模式，包括慣性及聲音量測模式，以決定一物體之位置與方向。

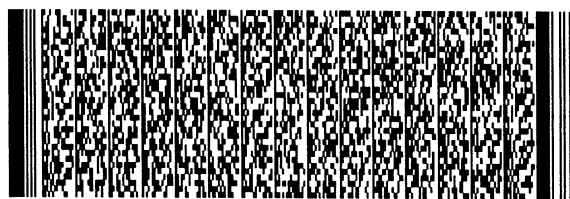
慣性移動追蹤係以對一組垂直軸之線性加速度及角速度之量測為基準。在其中一個方法中，多個旋轉儀會依其所附著之追蹤物之旋轉而產生轉速，同時產生與此轉速成比例之力量。這些力量被量測且被用來估測物體之角速度。製作精細之振動元件及光導裝置可以取代旋轉儀。

加速度測量儀產生與線性加速度造成之力量成比例之信號。在一慣性追蹤系統中，角速度及加速度信號被合併在一起以決定速度、位移及總旋轉角度。

由於旋轉儀裝置所產生之信號非常雜亂，信號合併的過程造成雜訊成份的累積，這種現象被稱為「飄移」。迷你型及低價的旋轉儀通常會產生較大的誤差。對固定不動之物體所得到之飄移率可以到達每秒數度，當物體每轉動90度時，其飄移率亦有數度。由於物體方向之估測被用來將加速度之量測結果進行以參考架構為基礎之轉換，所公方向估測上的誤差也會影響位置的估測。在這種轉換中的不準確可以造成重力加速度在水平方向上有一加速度偏值。

修正飄移現象方法之一是，使用額外的感測器，如傾角計及指南針，以不斷地修正慣性量測結果之飄移現象。舉例來說，美國專利第5645077號揭露了此種方法。

另一個方法是，使用聲波來量測一物體上一個或兩個



五、發明說明 (2)

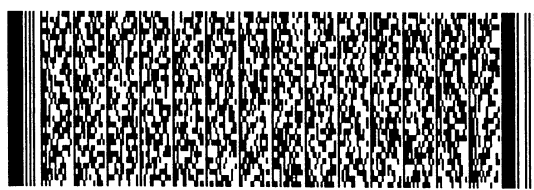
點與量測環境中一參考點間之距離。有一種方式被稱為「outside-in」，是使用一組在物體上一定點之聲音發射器發射脈衝，再由位於參考點上之一組麥克風接收。聲波從發射器至麥克風之時間與發射器與麥克風間之估測距離（測距）成比例。從發射器至相對麥克風間之測距被用來以三角測量法測量發射器之位置。在物體上多個發射器之位置被組合起來以估測物體之方向。

其他的量測模式，如利用物體上光源之光學追蹤，也可以用來追蹤一物體。

本發明之一特徵為，提供一追蹤物體之方法，包括以下步驟。首先，提供兩種該物體運動之量測法，其中一種包括聲音量測法。依據該兩種量測法中之一量測法，如慣性量測法，將一該物體之位置或方向之估測加以更新。依據該兩種量測法中之另一量測法，如聲音量測法，將該估測加以更新。

本發明之另一特徵，係提供一種追蹤物體之方法，包括以下步驟。首先，從複數參考裝置中擇一。發送一控制信號至該被選擇之參考裝置，如無線控制信號。接收一來自該參考裝置之測距量測信號。接受一測距量測結果，該測距量測結果與至該被選定之參考裝置有關。使用該接受之測距量測結果將一該物體之位置估測或方向估測加以更新。該方法更包括依據測距信號之飛行時間決定測距量測結果。

本發明之優點包括提供一自由度為6之追蹤能力，可



五、發明說明 (3)

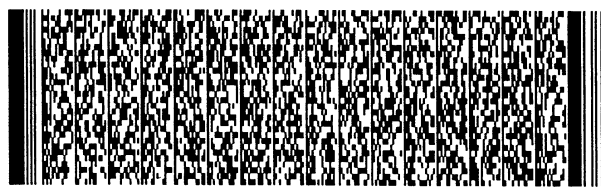
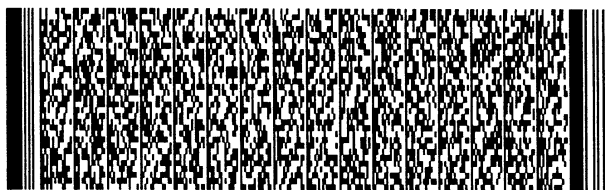
以在一無限制之空間中發揮功能，此空間可以存有一擴展超音波信標群。慣性量測法提供了平滑及敏感的物體感測力，同時超音波量測則提供同步的誤差修正功能，如那些由系統之慣性追蹤飄移所產生的誤差。雖然迷你型及低價位之慣性感測器通常會造成較大之飄移，但其使用仍然不會使系統產生無限制之飄移。體積小、重量輕之慣性感測器非常適用於虛擬實境顯示系統之頭頂式追蹤。藉由使用超音波量測修正飄移現象，易受外界影響之飄移修正量測便不再需要。超音波信標群可以輕易地擴展成每一個信標單獨使用且不需在信標間做連線。追蹤裝置在任何時候，僅需小量之超音波信標即可，因此使得追蹤裝置所操作之空間可以是不規則的，如一棟建築物中之數個方間。

本發明之另一優點為，藉由使用一「inside-out」方法，使聲音測距量測結果中不會有延遲現象發生，此延遲現象係由於在聲波發射後物體繼續移動所造成。

本發明又一優點為，即使聲音量測因信標停止而無法進行，依然可以持續進行追蹤。慣性追蹤中飄移的修正則等到聲音量測恢復後便可繼續進行。

本發明又一優點為，提供了多條的監視路徑，藉此，即使一條或更多條發射器與感測器間路徑被阻隔，亦可以進行繼續進行追蹤。

為讓本發明之上述目的、特徵及優點能更明顯易懂，下文特舉較佳實施例，並配合所附圖式，作詳細說明如下。



五、發明說明 (4)

圖式簡單說明

圖1顯示一追蹤裝置及一用以追蹤該裝置之聲波信標群。

圖2顯示一追蹤裝置處理器之組件。

圖3顯示一慣性-聲波組合式之量測方法。

圖4顯示一慣性量測單元。

圖5顯示一超音波測距量測單元及一超音波信標。

圖6顯示一追蹤裝置處理器與慣性量測單元及超音波量測器元間之輸出/入界面。

圖7A顯示物體及物體移動之參考架構。

圖7B顯示相互追蹤裝置。

圖8係一慣性追蹤器之信號流。

圖9係一超音波測距量測子系統之信號流。

圖10係一具有慣性追蹤器及Kalman估測器之追蹤器，以及更新器元件。

圖11係一Kalman估測器之信號流。

圖12係一Kalman更新器之信號流。

圖13係一追蹤流程圖。

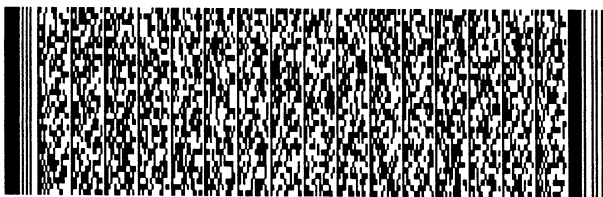
圖14A顯示一相對於一第一被追蹤物之第二物體之追蹤動作。

圖14B顯示多個裝置之相互追蹤動作。

圖15顯示一頭頂式顯示系統。

圖16顯示一電視攝影追蹤系統。

圖17顯示對一車輛內之物體的追蹤動作。

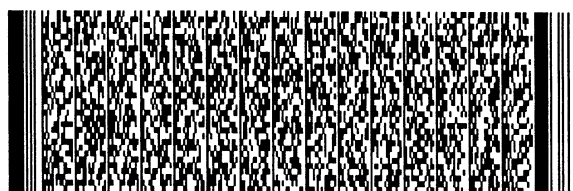
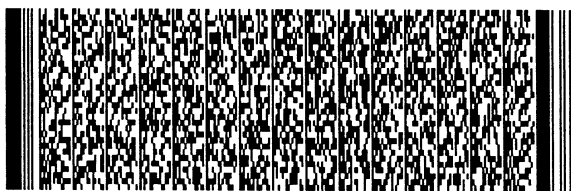


五、發明說明 (5)

實施例

請參閱圖1，一追蹤裝置100自由地在一大房間中移動，該裝置持續地對本身之位置及方向做估測。舉例來說，追蹤裝置100可以被固定在一操作者頭部之抬頭顯示器上，且追蹤裝置100隨著操作者頭部之移動及轉動在此房間中移動並改變方向。追蹤裝置100包括一耦接至一慣性量測單元140之處理器130，該慣性量測單元提供了相關於線性加速及轉速之慣性量測。處理器130在追蹤裝置100於房間中移動時，使用慣性量測結果得出其移動動作。

處理器130亦耦接至一由三個超音波測距單元110所組成之陣列，此陣列係用以接收來自一超音波信標陣列120之聲音信號，即一信標群。超音波信標陣列120包括位於量測環境中定點之獨立超音波信標122，被安裝在房間的天花板上，且以2呎見方之格狀排列。處理器130使用來自某一特定超音波信標122之信號，以估測至該些信標之距離並感測追蹤裝置100之移動。每一個超音波信標122依來自追蹤裝置100之紅外線指令信號112之指示送出一超音波脈衝114。特別的是，每一個在追蹤裝置100上之超音波測距單元110發出紅外線信號至所有的超音波信標122。這些紅外線信號包括位址資料，使得只有一個或少數個信標可以識別其相對之紅外線信號，並產生回應。一載有位址之信標在回應一紅外線信號時，會立刻送出一超音波脈衝，此脈衝被一個或多個超音波量測單元110所接收。由於處理器130可識別此回應紅外線信號之載有位址之信標，處



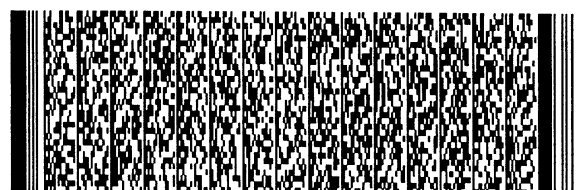
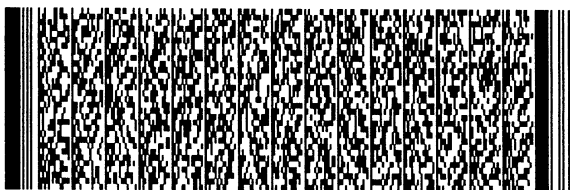
五、發明說明 (6)

理器130便藉由量測紅外線指令發出至接收到超音波脈衝間之延遲時間得出信號之來回時間。此時間值被用來估測至信標之距離，然後再將此距離用以更新追蹤裝置100之位置及方向。

慣性量測與超音波信號量測均有一些限制。混合使用兩者較單獨使用一種量測法所得之結果精確。追蹤裝置100結合了兩種量測模式並同時依據兩種量測結果來調整其運動及方向之估測。為了達成此目的，處理器130控制一擴充之Kalman濾波器之運作，此濾波器被用來結合兩種量測結果並保持對追蹤裝置100之位置及方向之估測，同時也保持對該些估測之不確定度之測量。

請參閱圖2，處理器130包括一中央處理單元200(如Intel 80486微處理器)、一程式儲存器220(如唯讀記憶體)及一工作儲存器230(如一動態隨機存取記憶體)。中央處理單元200亦耦接至一輸出/入界面210，此界面提供與慣性量測單元140及超音波量測單元110間之界面。輸出/入界面210包括數位邏輯電路，提供與慣性量測單元140及超音波量測單元110間之數位界面。

慣性量測單元140提供一載有慣性量測結果之序列資料流201。輸出/入界面210將此序列資料流轉換為一平行格式212以傳送至中央處理單元200。每一個超音波量測單元110接受一序列信號211以驅動一紅外線發光二極體510而送出一紅外線控制信號至超音波信標122。輸出/入界面210接受來自中央處理單元200之位址資料以識別一個或多

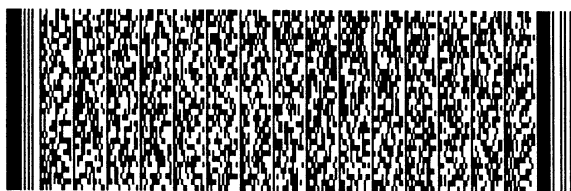


五、發明說明 (7)

個超音波信標，並提供序列信號至每一個超音波量測單元110而將此序列信號以紅外線傳輸送出。同樣的序列信號亦提供給所有超音波測距單元110，之後送出同樣的紅外線信號。每一個超音波測距單元110依序提供一邏輯信號202至輸出/入界面210，顯示超音波脈衝到達。輸出/入界面210具有計時器，可以得出超音波脈衝從信標到達之時間，因而可以估測至信標之距離。這些距離估測被送至中央處理單元200。

在程式存儲器220中儲存了一追蹤動作之演算法，並由中央處理單元200執行以將得自輸出/入界面210之量測結果轉換為位置及方向估測。中央處理單元200亦耦接至固定之資料儲存器240，此儲存器包括如預設超音波信標位置之對應資料及超音波測距單元110之麥克風位置。處理器130亦包括一通訊界面260，將中央處理單元200耦接至其他裝置，如顯示裝置280，用以依據追蹤裝置100之位置及方向修正其顯示值。

本系統之操作請參閱圖3，顯示了一房間之上視圖。一系列連接之空心圓及箭頭310a-e代表追蹤裝置100在每一個時間點上之實際位置及方向。依據先前之量測結果及在第一時間點上所得之慣性量測結果，實心圓及箭頭312a代表追蹤裝置100在第一時間點上對其位置及方向之估測。在下一個時間點，追蹤裝置100移動至位置310b，且依據新的慣性量測結果將其位置估測更新為312b。這個步驟在下一個時間點又重複一次，得到產生實際位置310c及



五、發明說明 (8)

估測位置312c。

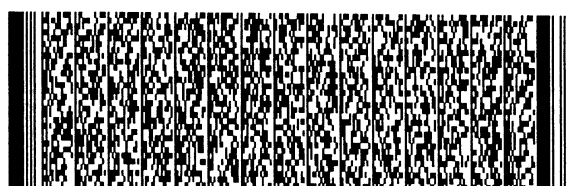
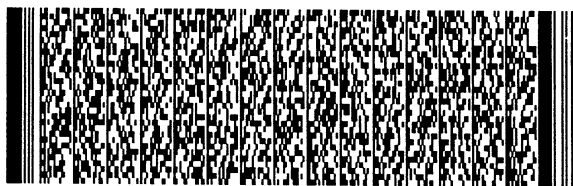
在到達位置310b後，追蹤裝置100送出一紅外線指令，指定其中一個紅外線轉換器122之位址值，如虛線320所示。在接收了紅外線指令後，超音波轉換器122送出一超音波脈衝，如波形324所示。波形324稍後便到達在實際位置330之追蹤裝置100。依據到達時間，當波形326到達時，追蹤裝置100估測本身位置為332。

在下一個時間點時，追蹤裝置100首先依據慣性量測結果估測其位置312d。使用超音波轉換器122間距及位置332之相關測距資料，以及測得之超音波來回時間，追蹤裝置100計算得出一精細之位置估測312d'。使用在實際位置310e及估測位置312e之慣性量測結果重複此步驟。

一般說來，慣性量測及超音波量測在每一個時間點都可以一起使用，儘管超音波量測之頻率可以較少。在每一個時間點上，位置及方向都被更新。超音波脈衝可以經由使用多個相關排列之麥克風提供位置及方向之相關資訊。

請參閱圖4，慣性量測單元140包括三個角速度感測器420a-c，及三個線性加速度感測器410a-c。這些感測器係沿著三個相互垂直之軸排列，這些軸係固定於追蹤裝置100之參考架構中。每一個加速度感測器提供一約與在相對軸上加速度值成比例之信號，而每一個角速度感測器提供一與在相對軸上轉速成比例之信號。

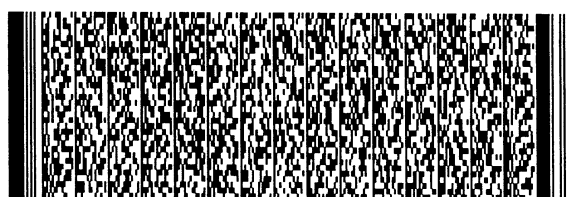
隨著慣性量測單元140之方向改變，如加速度信號等信號會與在該房間之固定參考架構之方向改變對應。慣性



五、發明說明 (9)

量測單元140亦包括一信號界面430，接受來自6個加速度測量儀及角速度感測器之信號，並發送出一序列資料流413，此資料流將加速度及角速度之數位值進行多工處理。如以下將說明的，加速度及角速度信號是粗糙的，且可能含有額外的偏值及大小誤差。這些誤差及偏值會因物體之運動而不同。

請參閱圖5，每一個超音波量測單元110包括一紅外線發光二極體510，由紅外線信號產生器512所驅動。信號產生器512接受來自輸出/入界面210之序列信號211並驅動紅外線發光二極體510以送出該信號至一個或多個超音波信標122。欲量測其距離之超音波信標位址被編入序列信號211中。每一個超音波信標122包括一紅外線感測器540，如果在超音波測距單元110與該超音波信標間有足夠短且無障礙之路徑，該感測器540則接收紅外線信號，之後便被紅外線信號解碼器542解碼。此解碼後之信號包括了由超音波測距單元送出之位址資料。控制電路560接收解碼後之紅外線信號，並判斷超音波信標是否的確被指定位址，如果是，則通知一脈衝產生器552提供一信號至一超音波轉換器550，產生一超音波脈衝。此脈衝通過空中至超音波測距單元110，由一麥克風520接收，此麥克風520則傳送一相對之電子信號至一脈衝偵測器522，產生一邏輯信號，顯示脈衝之到達。此脈衝偵測信號被送至輸出/入界面210。如以下將述，信號之來回時間並無法精確地估測距離。誤差來源包括偵測脈波時之時間誤差、因氣溫

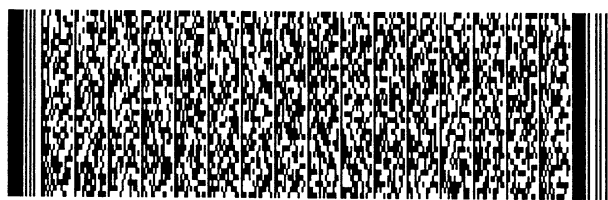


五、發明說明 (10)

變化造成之聲波傳遞速率變動，及從超音波信標發出之超音波在不同方向上之傳遞不一致。

輸出/入界面210包括邏輯元件電路(即一可程式之邏輯陣列)，如圖6所示。一慣性量測單元資料緩衝器630接受來自慣性量測單元140之序列式編碼之加速及角速度資料413，並輸出六個加速度及旋轉量測結果631至中央處理單元200。輸出/入界面210亦包括一信標位址緩衝器610。中央處理單元200提供欲量測之超音波信標之位址。信標位址緩衝器610將位址儲存並提供序列格式之位址值至每一個超音波測距單元110。每一個超音波測距單元110送出位址值之同時，三個計數器620a-c被重置並開始從零以一固定之時脈頻率增加。當每一個超音波測距單元110偵測來自信標之超音波脈衝時，相對之脈衝偵測信號被送至相對之計數器而停止計數。中央處理單元便取得此計數值做為對超音波從超音波信標至每一個超音波測距單元之來回時間之測量值。請參閱圖7a-b，追蹤裝置100得出其本身在房間之參考架構中之位置，如710所示，標示為N(北)、E(東)及D(下)。位置 $r^{(n)}$ 730係一向量，此向量在N、E及D方向上分別具有自軸710起之位移成份($r_N^{(n)}$, $r_E^{(n)}$, $r_D^{(n)}$)。追蹤裝置100亦決定了其方向。

請參閱圖7b，方向係以 $\underline{\Theta} = (\Psi, \Theta, \Phi)^T$ 來表示。這三個Euler角係以 3×3 之方向餘弦矩陣， $C_b^n(\underline{\Theta})$ 來代表，此矩陣將以物體參考架構座標表示之向量藉由依序使用在z、y及x軸為中心之yaw、pitch及roll移動動作進行轉



五、發明說明 (11)

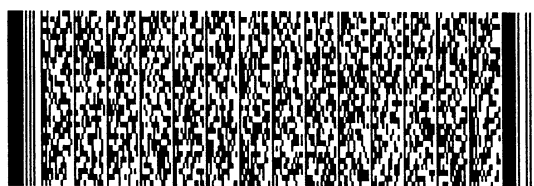
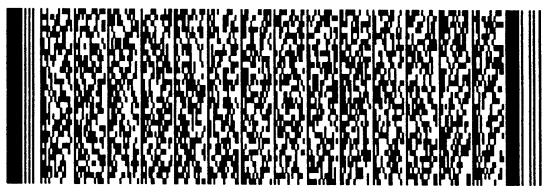
換。此方向餘弦矩陣可以被定義為

$$C(\underline{\Theta}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Psi & -\sin \Psi \\ 0 & \sin \Psi & \cos \Psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \Theta & 0 & -\sin \Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Theta & 0 & \cos \Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \Phi & -\sin \Phi & 0 \\ \sin \Phi & \cos \Phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

C_b^n 之上標及下標代表此矩陣輸入一在 b 參考架構中之向量而產生一在 n 參考架構中之向量。

請參閱圖 8，慣性感測器 800，包括旋轉感測器 420 a-c 及加速度感測器 410 a-c，提供慣性量測信號至一慣性追蹤器 810。慣性追蹤器 810 對圖 8 所示之信號流執行一不連續時間之估測。慣性追蹤器 820 修正角速度信號 $\underline{\omega}$ 以計算量測結果中之偏值。在此例中，只修正了一正向偏值 $\underline{\delta \omega}$ 。其他偏值，如乘積誤差（即一比例上之誤差），及因累積而產生之誤差亦可以被修正。加速度測量儀補償 830 以類似之方式修正在加速度信號 $\underline{a^{(b)}}$ 中之正向偏值 $\underline{\delta a^{(b)}}$ 。有數個參數，包括偏值項 $\underline{\delta \omega}$ 及 $\underline{\delta a^{(b)}}$ ，係使用超音波量測進行估測。

方向積分 840 將方向估測依據完成偏值修正後之旋轉信號進行更新。在此例中，方向積分使用一方向餘弦來表示此方向而進行。在不連續時間執行之連續微分方程 $C_b^n(t) = C_b^n(t) S(\underline{\omega}(t))$ 被用來以固定速率（通常在每秒 100 至 200 之間）更新方向餘弦矩陣。將一不連續時間系統之標記改變後，此不連續時間之方向餘弦矩陣之更新係以以下之方程式實現：



五、發明說明 (12)

$$C_k = C_{k-1} \left(I + \frac{\sin \delta \Theta}{\delta \Theta} S(\underline{\delta \Theta}) + \frac{1 - \cos \delta \Theta}{\delta \Theta^2} S(\underline{\delta \Theta})^2 \right)$$

$$\text{其中, } \underline{\delta \Theta} = \frac{\omega_{k-1} + \omega_k}{2} \Delta t, \quad \delta \Theta = \|\underline{\delta \Theta}\|$$

$$\text{且 } S(\underline{\delta \Theta}) = \begin{bmatrix} 0 & -\delta \Theta_z & \delta \Theta_y \\ \delta \Theta_z & 0 & -\delta \Theta_x \\ -\delta \Theta_y & \delta \Theta_x & 0 \end{bmatrix}$$

為 $\underline{\delta \Theta}$ 之斜邊對稱矩陣。 $S(\underline{\delta \Theta})$ 滿足以下式子：

$$S(\underline{\delta \Theta})^2 = \delta \Theta^2 I - \underline{\delta \Theta} \underline{\delta \Theta}^T$$

為了確保 C_k 是真正的方向餘弦矩陣，在每一次移除數值或估測誤差後，其列均被正交化。

依據被追蹤之方向餘弦矩陣 C_k ，座標轉換850接受偏值修正後之物體參考架構中之加速度信號並輸出一 navigation 參考架構之加速度信號，依據以下之式子：

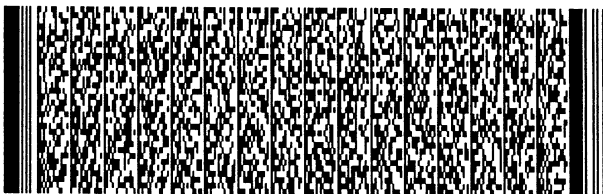
$$\underline{a}_k^{(n)} = C_k (\underline{a}_k^{-(b)} - \underline{\delta a}_k^{(b)}) + (0, 0, -g)^T$$

雙重積分850依據以下式子計算速度及位置：

$$\underline{v}_k^{(n)} = \underline{v}_{k-1}^{(n)} + \frac{\underline{a}_{k-1}^{(n)} + \underline{a}_k^{(n)}}{2} \Delta t$$

$$\text{且 } \underline{r}_k^{(n)} = \underline{r}_{k-1}^{(n)} + \underline{v}_{k-1}^{(n)} \Delta t + \frac{2\underline{a}_{k-1}^{(n)} + \underline{a}_k^{(n)}}{6} \Delta t^2$$

Euler 角計算870輸入方向餘弦矩陣並輸出相對之 Euler 角。慣性追蹤器810之輸出為 $(\underline{\Theta}, \underline{r}^{(n)})^T$ 。慣性追蹤器



五、發明說明 (13)

之狀態包括一15維之向量，由5組三維值所組成：

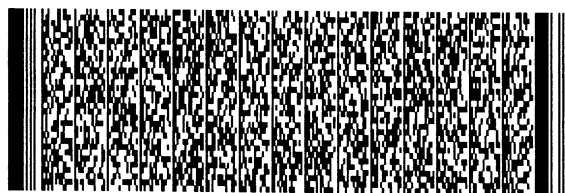
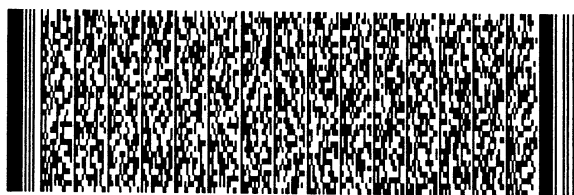
$$\underline{x} = (\underline{\Theta}, \underline{\omega}, \underline{r}^{(n)}, \underline{v}^{(n)}, \underline{a}^{(n)})^T$$

如以下所述，慣性追蹤器810接收來自超音波測距結果之誤差更新信號 $\underline{\delta x}$ ，其用以修正方向、速度及位置值，並更新旋轉儀及加速度測量儀偏值修正元件之各項參數。

請參閱圖9，一信標序列器910接收來自慣性追蹤器810之位置估測 $r^{(n)}$ 。信標序列器910使用一超音波信標位置之信標對應915決定每一次時間點應觸發之信標，以產生超音波測距結果。舉例來說，信標序列器910選擇一最靠近現在位置之信標，並在每一時間點上在這些信標中進行循環。隨著位置估測之改變，最近之信標組合亦改變。在信標序列器910依序觸發每一信標後，相對之超音波脈衝到達且被追蹤裝置偵測。每一個脈衝產生一個相對一偵測麥克風之測距結果。在此例中，每一個脈衝產生一組三個測距結果，這些測距結果係分別來自三個超音波測距單元110上之麥克風。

請參閱圖9，測距結果920對應於接收超音波測距估測之過程。相關之測距結果參數係指定位址之信標位置 $\underline{b}^{(n)}$ 、用以偵測脈衝之麥克風位置 $\underline{m}^{(b)}$ 、測距估測 d_r 及偵測到脈衝之時間 t_r ， t_r 係被用以修正量測中之延遲。可以注意到，如果位置估測沒有誤差且測距估測也完全正確時，測距估測將會是：

$$d_r = || \underline{b}^{(n)} - (\underline{r}^{(n)}(t_r) + C_b^n(t_r) \underline{m}^{(b)}) ||$$



五、發明說明 (14)

由此等式所得之誤差值被用以修正參數值並做為慣性追蹤器810之輸出。

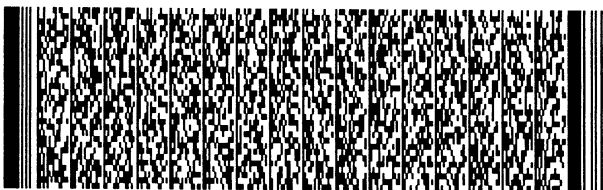
一補償式Kalman濾波器被追蹤裝置100用來改善被追蹤之位置及方向估測，係藉由逐步使用得到之測距結果將被追蹤之量值更新。請參閱圖10，此方包括兩種相關之元件。隨著慣性追蹤器810更新其輸出 $\underline{x}$ ，一Kalman估測器1010維持一 $\underline{x}$ 中誤差之估測共變(covariance)矩陣P。舉例來說，在慣性追蹤器810中沒有任何飄移補償的情況下，此共變矩陣P會對應於一永遠增加之誤差。

第二個元件是一Kalman更新器1020，接受來自測距結果920之資料並使用此結果決定一累積誤差估測 $\underline{\delta x}$ ，此值會送回慣性追蹤器810而被用來更新 $\underline{x}$ 。另外，在每一個超音波量測後，Kalman更新器1020完成一次更新後便又計算出誤差 $\underline{x}$ 中一新的估測共變矩陣P(+)，此矩陣亦被送回Kalman估測器1010。每一個超音波量測部份地修正了慣性追蹤器810之輸出。一連串的超音波更新確保了誤差保持在一定值之下。

慣性追蹤器810係一非線性之處理器，所以將Kalman濾波器用以建構一由高斯雜訊所驅動之純線性濾波器是不恰當的。藉由使用被稱為「擴展Kalman濾波器」(EKF)之濾波器，便可以使用一線性動態系統模型來模擬慣性追蹤器810之輸出 $\underline{x}$ 中的誤差傳遞。由EKF模型產生之誤差為

$$\underline{\delta x} = (\underline{\Phi}, \underline{\delta \omega^{(b)}}, \underline{\delta r^{(n)}}, \underline{\delta y^{(n)}}, \underline{\delta a^{(b)}})^T$$

其中具有相對於慣性追蹤器輸出向量之成份。可以注意



五、發明說明 (15)

到，誤差項 $\delta a^{(b)}$ 係以物體座標系統來表示，而非 navigation 座標系統，而其他成份則直接相對於慣性追蹤器 810 輸出誤差。此線性誤差傳遞模型之參數包括了一狀態轉換矩陣，以及一驅動雜訊之共變矩陣，此雜訊係用以驅動此模型。上述兩種矩陣均受慣性追蹤器之輸出之影響。在沒有任何量測結果的情況下，誤差之平均值是零。然而，誤差之共變卻增加。誤差傳遞之線性模型為：

$$\delta \underline{x}_k = F(\underline{x}_{k-1}) \delta \underline{x}_{k-1} + \underline{\omega}_{k-1}$$

$F_k = F(\underline{x}_{k-1})$ 係得自用於追蹤器 810 中更新方程之擾亂分析，且對應於以下之誤差傳遞方程：

$$\Phi_k = \Phi_{k-1} - C b n \delta \omega_{k-1}$$

$$\delta \omega_k = \delta \omega_{k-1}$$

$$\delta \underline{r}_k = \delta \underline{r}_{k-1} + \Delta t \delta \underline{v}_{k-1} - 1/2 \Delta t^2 \{ C_b^n \delta \underline{a}_{k-1}^{(b)} - S(\underline{\Phi}_{k-1}) [\underline{a}_{k-1}^{(n)} + (0, 0, -g)^T] \}$$

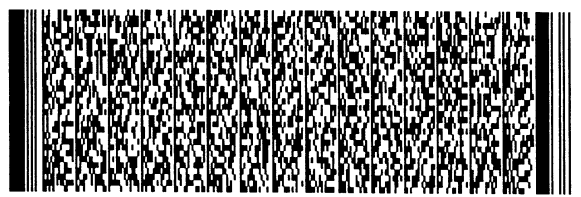
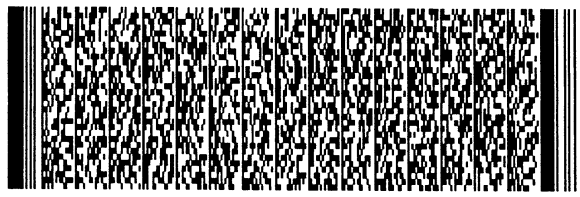
$$\delta \underline{v}_k = \delta \underline{v}_{k-1} + \Delta t \delta \underline{a}_{k-1}^{(b)} - \Delta t S(\underline{\Phi}_{k-1}) [\underline{a}_{k-1}^{(n)} + (0, 0, -g)^T]$$

$$\delta \underline{a}_k^{(b)} = \delta \underline{a}_{k-1}^{(b)}$$

雜訊 w_k 之共變 Q_k 被假設為 diagonal。此共變矩陣之 entries 係得自提供給慣性追蹤器 810 之慣性量測中已知之誤差來源，包括正向偏值誤差、比例誤差、感測器與物體軸之對準誤差及來自感測器本身之信號雜訊。受慣性追蹤器輸出影響之個別變異數(variance)如下：

$$Q_k = \text{diag}(\sigma^2_{\Phi_x}, \sigma^2_{\Phi_y}, \sigma^2_{\Phi_z}, \sigma^2_{\omega}, \sigma^2_{\omega}, \sigma^2_{\omega}, \sigma^2_{rx}, \sigma^2_{ry}, \sigma^2_{rz}, \sigma^2_{vx}, \sigma^2_{vy}, \sigma^2_{vz}, \sigma^2_a, \sigma^2_a, \sigma^2_a)$$

其中，個別的變異數如下：



五、發明說明 (16)

$$\begin{aligned}
\sigma_{\phi_x} &= \text{GyroScale } \omega_x \Delta t + \text{GyroAlign}(\omega_y + \omega_z) \Delta t + \text{GyroNoise} \sqrt{\Delta t} \\
\sigma_{\phi_y} &= \text{GyroScale } \omega_y \Delta t + \text{GyroAlign}(\omega_x + \omega_z) \Delta t + \text{GyroNoise} \sqrt{\Delta t} \\
\sigma_{\phi_z} &= \text{GyroScale } \omega_z \Delta t + \text{GyroAlign}(\omega_x + \omega_y) \Delta t + \text{GyroNoise} \sqrt{\Delta t} \\
\sigma_{\omega} &= \text{GyroBiasChangeRate } \Delta t \\
\sigma_{rx} &= \sigma_{ry} = \sigma_{rz} = 0 \\
\sigma_{vx} &= \text{AccelScale } a_x \Delta t + \text{AccelAlign}(a_y + a_z) \Delta t + \text{AccelNoise} \sqrt{\Delta t} \\
\sigma_{vy} &= \text{AccelScale } a_y \Delta t + \text{AccelAlign}(a_x + a_z) \Delta t + \text{AccelNoise} \sqrt{\Delta t} \\
\sigma_{vz} &= \text{AccelScale } a_z \Delta t + \text{AccelAlign}(a_x + a_y) \Delta t + \text{AccelNoise} \sqrt{\Delta t} \\
\sigma_a^2 &= \text{AccelBiasChangeRate } \Delta t
\end{aligned}$$

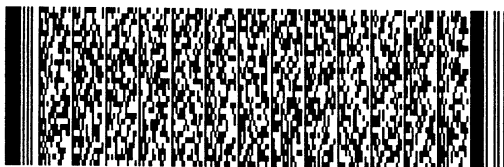
其中，GyroScale、AccelScale、GyroAlign及AccelAlign分別對應於用以補償儀器誤差之校正不確定度。一般說來，一非diagonal雜訊共變數可以使用。

請參閱圖11，Kalman估測器1010具有兩級。首先是一誤差線性化級1110計算 F_k 及 Q_k 。之後，一共變傳遞級1120在每一時間點上藉由使用一Kalman濾波器共變傳遞方程重複地更新誤差共變值：

$$P_k = F_{k-1} P_{k-1} F_{k-1}^T + Q_k$$

當Kalman估測器1010接收一更新後之共變 $P(+)$ ，係由一超音波測距所產生，此更新後之共變便會取代現在之誤差共變 P 。

請參閱圖12，Kalman更新器1020接受測距量測920之輸出，亦接受來自慣性追蹤器810之位置及方向估測、來自Kalman估測器1010之位置及方向估測誤差共變，並計算出一誤差估測及使用此誤差估測得到一更新後之共變。



五、發明說明 (17)

Kalman 更新器1020 之第一級為量測剩餘計算1210。期望距離與量測距離間之差係：

$$\delta d_r = d_r - || \underline{b}^{(n)} - (\underline{r}^{(n)}(t_r) + C_b^n(t_r) \underline{m}^{(b)}) ||$$

可以注意到，通常一測距量測結果有時會在其一開始被偵測到時便使用。為了將此延遲考慮在內，使用了追蹤裝置在聲音脈衝到達時之位置及方向估測，而非在量測結果使用時之位置及方向。現在位置、方向及直線速度及角速度估測被用來做量測時間之外插以決定 $r^{(n)}$ 及 $C_b^n(t_r)$ 。

為了使用Kalman更新方程，此剩餘計算係使用一線性觀察方程式：

$$\delta d_r = H(\underline{x}, \underline{b}, d_r, \underline{m}) \delta \underline{x} + v$$

此觀察矩陣 $H_k = H(\underline{x}, \underline{b}, d_r, \underline{m})$ 係位置及方向誤差對測距結果所造成之影響。正向雜訊 v 具有一變異數 $R(\underline{x}_k, \underline{b}, d_r, \underline{m})$ 。 H_k 具有以下之型式：

$$H_k = \left\{ \frac{b_D m_E - b_E m_D + r_E m_N - r_D m_E}{d_t}, \frac{b_N m_D - b_D m_N + r_D m_N - r_N m_D}{d_t}, \frac{b_E m_N - b_N m_E + r_N m_E - r_E m_N}{d_t}, 0, 0, 0, \right. \\ \left. \frac{r_N + m_N - b_N}{d_t}, \frac{r_E + m_E - b_E}{d_t}, \frac{r_D + m_D - b_D}{d_t}, 0, 0, 0, 0, 0 \right\}$$

變異數 $R(\underline{x}_k, \underline{b}, d_r, \underline{m})$ 係用以模擬超音波測距中不同之現象。舉例來說，當距離之增加時，由於脈衝的分散而使得脈衝偵測更形困難，且此時使用一較大之變異數來模擬相關之測距誤差。此變異數 $R(\underline{x}_k, \underline{b}, d_r, \underline{m})$ 具有以下之型式：



五、發明說明 (18)

$$R = \sigma_u^2 + \sigma_j^2$$

且 $\sigma_u^2 = \text{NoiseFloor} + \text{NoiseScale } d_r$

以及 $\sigma_j^2 = (k \Delta t - t_r) H_k(\omega_x, \omega_y, \omega_z, 0, 0, 0, v_x, v_y, v_z, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$

H_k 之第一、二項亦可以設定為零，以進行加速度測量傾斜修正(如果需更精確)。如果第三項被設定為零，yaw 角之飄移修正將會花更多時間但更精確。

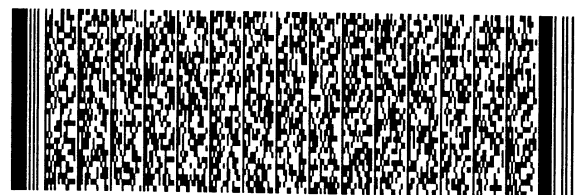
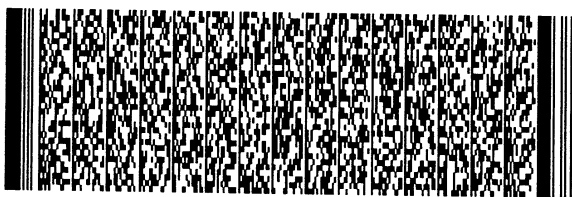
Kalman 更新器 1020 包括一量測結果接受/拒絕級 1230。接受/拒絕級 1230 輸入一量測剩餘值 δx ，及其計算出之變異數 R 。如果量測剩餘值大於一預設倍數之標準偏離值，則此量測結果將會被視為錯誤而拒絕。否則其將會被進一步處理而計算出狀態誤差估測 δx 。藉由使用 Kalman 濾波器更新方程，Kalman 增益計算 1240 計算出 Kalman 增益為：

$$K = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R)^{-1}$$

接著，誤差估測器 1250 計算出誤差估測為 $\delta x = K \delta d$ ，而共變更新器 1260 計算更新後之誤差共變為：

$$P(+) = (I - KH) P_k$$

δx 之成份接著均被用來更新慣性追蹤器 810。得出之 $\delta \omega$ 及 $\delta a^{(b)}$ 分別被送至旋轉儀偏值修正 820 以及加速度測量儀偏值修正 830(圖 8)，其中它們與現存之偏值參數相加。得出之 $\delta v^{(n)}$ 及 $\delta r^{(n)}$ 被送至雙重積分 860(圖 8)，其中它們與現在 $v^{(n)}$ 及 $r^{(n)}$ 之估測相加。最後，方向餘弦矩陣依據以下式子更新：



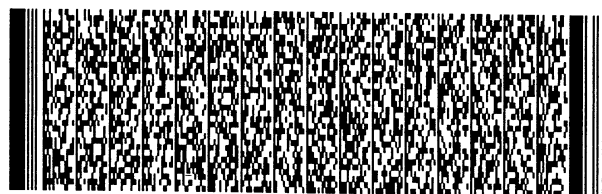
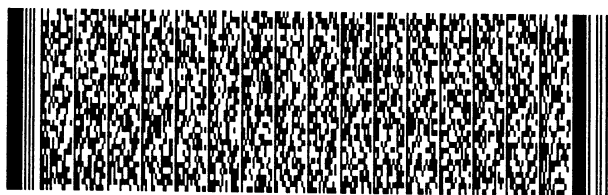
五、發明說明 (19)

$$Ck - (I - S(\Phi))Ck$$

並重新正交化。

請參閱圖1，超音波信標陣列120包括排列成一規則圖案之獨立的超音波信標122。舉例來說，信標可以被排列成一正方格，具有2呎之間距，且精確度在3mm以下。受限於硬體設備，信標具有一有限之位址值，此例中為8個不同之位址值。因此，當追蹤裝置送出一紅外線指令至一位址時，多個超音波信標將會接收此信號並回應。只有最近之信標是用來執行測距量測。然而，隨著多個信標可能回應每一個紅外線指令脈衝偵測電路可以藉由一來自前一次觸發信標之脈衝提前被觸發，但其脈衝到達時間尚早。為了避免這種提早觸發的問題，脈衝偵測器522(圖5)只在一預期脈衝會到達時間被觸發。如此可避免被其他信標或前次脈衝的反射而誤觸發。

在說明追蹤及Kalman更新程序時，最禡之位置及方向估測是已知的。但並不是每次都這樣，且必需使用一自動取得演算法。超音波信標之有限數量被用來估為最初取得演算法之基礎。一開始，追蹤裝置觸發具有位址值之信標並量測最近信標之距離。然後，最近四個信標之位址值由測距量測決定。追蹤單元包括一信標地圖，此地圖包括所有信標之位址及位置。這些信標之排列方式使最近四個信標之位址值將可能的位置限制在房間內的小空間中。如果最近之信標產生模糊不清之情形，至信標之真正距離被用來估三角量測以解決不清之問題。最初方向係依據相關對

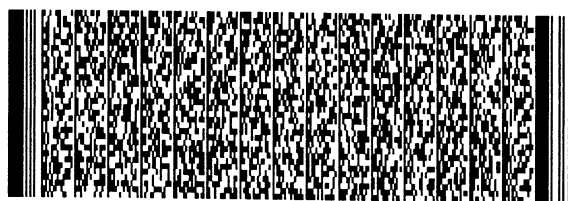
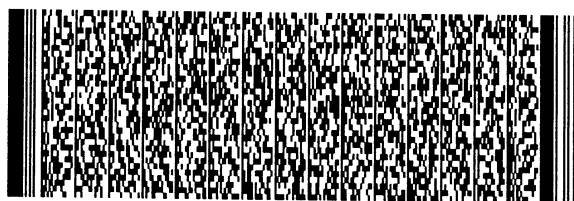


五、發明說明 (20)

麥克風之測距量測。

所有的追蹤程序可以由圖13之流程圖概括說明。首先，使用上述之方法得到最初位置及方向(步驟1310)。此流程便開始進入每一時間點之步驟循環。在等待下一次時間點後(步驟1320)，慣性量測結果便被接收(步驟1330)，且追蹤變數 x 及誤差共變 P 使用慣性量測結果加以更新(步驟1340)。如果還有尚未處理之超音波測距結果，此結果會被用來計算一誤差更新 δx ，及更新後之誤差共變 $P(+)$ (步驟1360)。誤差更新及新的誤差共變之後被用來更新慣性追蹤器及Kalman估測器(步驟1370)。然後，決定是否在此時間點上進一步進行測距。每個脈衝之三個測距結果完成後在一個時間點上只使用其中一個，可能會產生下一次時間點將處理之測距結果的囤積。因此，在下幾次的時間點上都不需要再重複新的測距量測。接著，由於將下一次之超音波脈衝飛行之預期時間考慮在內，決定在此時間點上是否應送出一紅外線指令至一信標(步驟1380)，以及是否選定下一個信標位址值(步驟1390)，如果是，紅外線指令便被送出(步驟1395)。接著，整個步驟又從步驟1320重新循環，等待下一次時間間隔之開始。

數種其他的可行方法也可以使用。在此實施例中，每一個時間點只使用一個測距量測。也可以在每一個時間點上使用所有可進行之量測，如果中央處理器130具有足夠之計算能力。這種方法可以從步驟1370開始循環至步驟1350，直到所有量測都已進行。此外，不只是使用Kalman



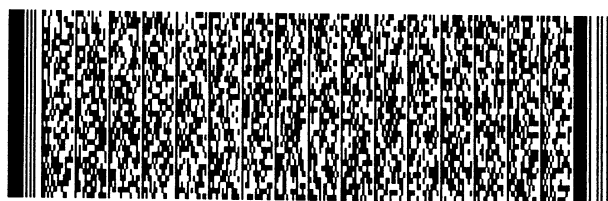
五、發明說明 (21)

依序將測距量值進行更新，可以在單一步驟中使用類似之更新方程以更新向量及雜訊。另外，在下一時間點到來之前不只是等待下一個測距量測，測距量測可以整合，而不需與慣性追蹤器之更新同步。

上述之流程可以與其他的量測模式合併。舉例來說，傾角計可以用來提供對擴充Kalman濾波器之量測，以修正方向飄移。此外，不只是使用三個或更多個麥克風來修正三個方向之旋轉角，也可以只使用兩個麥克風並配合傾角計量測進行。如此，有些飄移修正可以以傾角計為基礎，但卻不需要易受磁場影響之指南針。也可以使用遠超過三個以上之麥克風以提供更多的旋轉自由度。

有另一種與將信標置於定點及麥克風置於追蹤裝置上不同之方法，稱做「outside-in」。此時之追蹤裝置提供超音波脈衝及一麥克風之座標陣列感測一追蹤裝置之位置。可以注意到，在一脈衝到達一麥克風時，追蹤裝置將會已移動至一新的位置。這種量測上的延遲必需以上述用於補償測距量測中的方法類似之方式進行補償。

信標122不需置於一平面陣列中。它們可以置於牆上或天花板，或在環境中其他的支持物上。舉例來說，信標可架在吊燈上。信標的數目可以配合使用者需要調整，而其位置則可以依據一些原則來選定，如可用架設點之選擇及圖形排列上的考量，且信標地圖可以配合所選定之數目及位置來設定。一信標群中的信標數目可以隨使用者增加或減少，只要信標地圖能夠隨時保持更新即可。



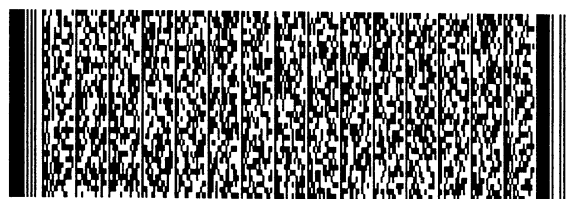
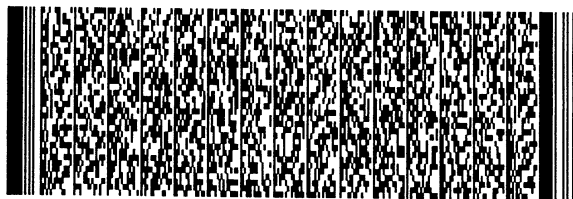
五、發明說明 (22)

自追蹤裝置到信標之指令信號可以使用其他非紅外線傳輸之方式發送，如射頻、可見光或聲波。追蹤裝置亦可以以有線之方式連接至信標。

使用「inside-outside-in」之方式可以同時追蹤兩個以上之物體。請參閱圖14a，追蹤裝置100如之前一樣追蹤其位置。一第二追蹤裝置1400包括三個可位址之超音波信標1410，被以特定之方式排列。藉由觸發信標1410發送聲音脈衝而使追蹤裝置100上之超音波測距單元110接收此脈衝，追蹤裝置可以得到第二追蹤裝置之相對位置及方向。此例中又包括一固定於追蹤裝置1400上之第二慣性量測單元，並輸出其慣性量測結果至追蹤裝置100，其提供了在相對位置及方向之估測中的準確度。如果只有一個信標置於一第二物體上，僅需使用超音波測距量測，而不需追蹤第二裝置之相對方向便可以得到相對之位置。

請參閱圖14b，可以使用一由多個追蹤裝置所組成之「互追蹤網路」。這些追蹤裝置追蹤其個別相對於其他裝置之位置，包括固定信標及其他移動中之被追蹤物。這可以藉由一耦接追蹤裝置之通信系統來達成，如一射頻區域網路。

在上述之實施例中，信標陣列之「地圖」是被假設為正確無誤的。由於測距結果中包含了足夠的資訊，信標的排列誤差會被重複地估測及更新，因而增加準確度。具體的說，信標之排列誤差可以包含於擴充Kalman濾波器之狀態中，且來自每一信標之距測結果可以用來估測排列誤

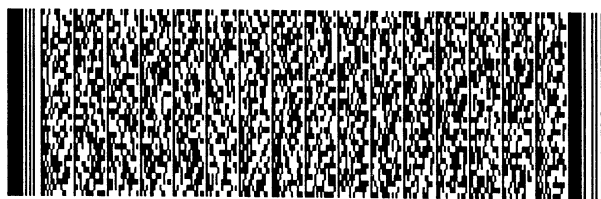
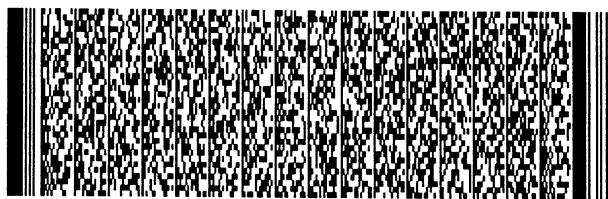


五、發明說明 (23)

差。可以使用一分離式初步自動對應模式，藉由來自房間中一個以上之測距結果及三角計算可以得到信標之位置。這些自動決定之位置可以被做為已知之位置使用，或做為將進一步使用Kalman濾波器進行更新之初步估測使用。在這種方法中，信標可以不規則地安置於房間中，而不需精確地排列。

上述之追蹤方法可以有好幾種應用。第一個是關於將追蹤裝置耦接至一頭頂顯示器。請參閱圖15，一頭頂顯示器1510，可以使一使用者能夠直接看到一實際之物體1520，如一工作件。顯示器1510使用工作件1520之已知位置，將資訊再加入使用者之工作件觀看窗中。舉例來說，在對大型裝置使用一有線操控時，加入之資訊可以包括與此有線操控之正確排列有關之資訊。一類似頭頂顯示器亦可以用來在一虛擬實境系統中使用者觀看之完整畫面，而不只是在實際之使用者視窗中加入畫面而已。

另一個應用是關於電視攝影追蹤。請參閱圖16，在一般的電視製作技術中，通常會將一攝影主題1620放置在一空白背景(通常是單色的)前，然後電子儀器將其他的畫面加入，而完成背景畫面。這種技術中存在的因難是當攝影機1610移動時，背景畫面也要跟著改變以襯托出攝影機之動作。藉由將追蹤裝置100架設於攝影機1610上，攝影機之位置及方向便被追蹤，而背景畫面便可以自動地由一接收攝影機位置及方向改變之畫面處理器來修正。這種方法可以建構儲存於畫面處理器之大型「virtual set」，因



五、發明說明 (24)

而可以使用多個改變中之攝影角度。

再一應用是關於車輛中一元件動作之感測，如應用在自動撞擊測試中。請參閱圖17，假人1720在撞擊車輛1710中之動作可以使用追蹤裝置100來追蹤。另外，一第二物體，如防火牆上之一點可以使用一額外的信標1730藉由「inside-outside-in」方法來追蹤。如此可以進行車輛中假人動作及車輛中相對於假人的某一點之追蹤。

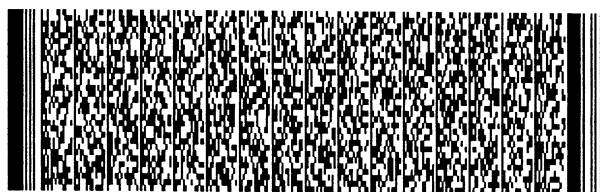
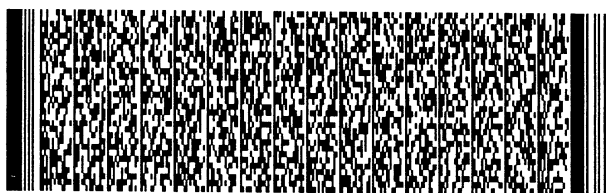
其他的應用，如自動航行、物資及人員之追蹤、娛樂、全物體追蹤及武器追蹤等等。

本發明亦可使用其他的方法來進行慣性追蹤。舉例來說，不只是使用一方向餘弦矩陣來進行方向積分，使用Euler角或四元數也可以達到相同之效果。可以注意到，線性誤差傳遞系統矩陣及驅動雜訊共變會受特定追蹤演算法之影響而有不同。同時，Kalman濾波器之狀態也可以改變，例如可包含其他項目。一個例子是，不只是追蹤加速度測量儀之正向偏值，同時也追蹤加速度信號之乘積偏值（即比例誤差）、對準誤差及聲波速度。

本發明亦可以使用其他的測距量測法，包括聲音相位、射頻或光飛行時間、射頻或光相位。

本發明亦可以使用其他的方法來融合慣性及聲音量測之結果，而不只是Kalman濾波法。舉例來說，神經網路、或模糊邏輯系統、最佳化法都可以被使用。

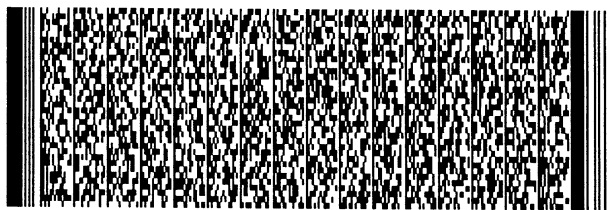
在上面之說明中，只有8個不同的超音波信標位址被提及。除此之外，每個信標可以個別地被位址化，或可以



五、發明說明 (25)

使用更多共享的位址。如果信標個別地被位址化，慣性取得可以藉由使信標回應位址組或是在取得相位中分給個別信標之序列指令而進行，如此追蹤裝置可以藉由依據追蹤裝置已知之信標地圖先找出範圍中之一信標再尋找更近之信標而「zero-in」至其慣性位置。這種方法亦可以在追蹤區域是由數個方間所組成時使用。在一開始，追蹤裝置所處之方間被決定，之後在房間中之位置便可以找到。

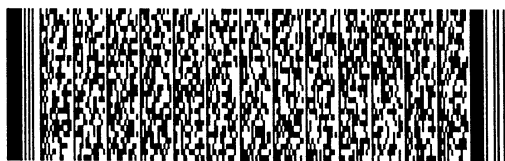
本發明雖已以較佳實施例揭露如上，但其並非用以限制本發明。任何熟悉此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可做些許之更動與潤飾。因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。



四、中文發明摘要 (發明之名稱：移動追蹤系統)

本發明利用兩種物體運動之量測法追蹤一物體之運動，其中一種包括聲音量測法。依據該兩種量測法中之一量測法，如慣性量測法，將一該物體之位置或方向之估測加以更新。再依據該兩種量測法中之另一量測法，如聲音測距量測法，將該估測加以更新。本發明之一特徵為決定所選擇之參考裝置之測距量測結果，該裝置係固定於物體所處之環境中。

英文發明摘要 (發明之名稱：)



六、申請專利範圍

1. 一種移動追蹤方法，用以追蹤一物體之運動，該方法包括：

提供兩種該物體運動之量測法，其中一種包括聲音量測法；

依據該兩種量測法中之一量測法，將一該物體之位置或方向之估測加以更新；

依據該兩種量測法中之另一量測法，將該估測加以更新。

2. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該兩種量測法之一為聲音測距法。

3. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該兩種量測法之一為慣性量測法。

4. 如申請專利範圍第1項所述之方法，其中該估測係方向估測。

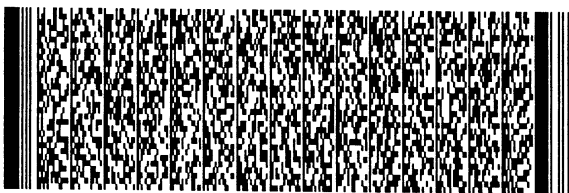
5. 一種移動追蹤系統，用以追蹤一物體之運動，該系統包括：

兩個感測系統，分別提供兩種該物體運動之量測法，該兩種量測方法中之一為聲音量測法；

一處理器，耦接至該兩個感測系統，並依據該兩種量測法中之一量測法，將一該物體之位置或方向之估測加以更新，亦依據該兩種量測法中之另一量測法，將該估測加以更新。

6. 一種追蹤裝置，包括：

一感測系統，包括



六、申請專利範圍

一 慣性感測器；

一組或一個聲音感測器，緊密地耦接至該慣性感測器；

一處理器，執行以下功能：

接收該慣性感測器之量測結果；

使用接收之該慣性感測器之量測結果將該感測系統之一位置估測及一方向估測加以更新；

從複數聲音參考裝置中擇一；

接收一聲音測距量測結果，該聲音測距量測結果與該感測系統及所選擇之聲音參考裝置間距離有關；

使用接收之該聲音測距量測結果將該位置估測及方向估測加以更新。

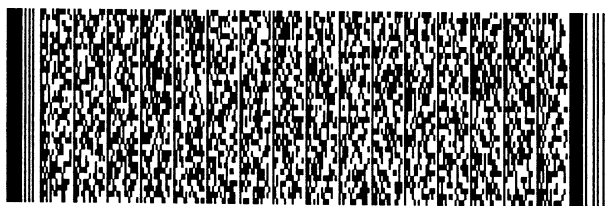
7. 如申請專利範圍第6項所述之裝置，其中該感測系統包括一發射器，用以發送一載有該被選擇之聲音參考裝置識別之控制信號，且每一個聲音感測器包括一麥克風，用以接收一來自該聲音參考裝置之聲音信號。

8. 如申請專利範圍第6項所述之裝置，其中該組或該個聲音感測器包括兩個或更多個聲音感測器。

9. 如申請專利範圍第6項所述之裝置，其中

使用接收之該慣性感測器之量測結果將該位置估測及方向估測加以更新之動作包括將該位置及方向估測中一不確定度加以更新；以及

使用接收之該聲音測距量測結果將該位置估測及方向估測加以更新之動作包括決定一該測距量測結果之不確定



六、申請專利範圍

度，並使用該測距量測結果之不確定度將該位置及方向估測中之不確定度加以更新。

10. 一種移動追蹤方法，用以追蹤一物體之運動，該方法包括：

從複數參考裝置中擇一；

發送一控制信號至該被選擇之參考裝置；

接收一來自該參考裝置之測距量測信號；

接受一測距量測結果，該測距量測結果與至該被選定之參考裝置有關；

使用該接受之測距量測結果將一該物體之位置估測或方向估測加以更新。

11. 如申請專利範圍第10項所述之方法，其中更包括依據測距量測信號之飛行時間決定一測距量測結果。

12. 如申請專利範圍第10項所述之方法，其中發送該控制信號之動作包括發送一無線控制信號。

13. 一種電腦軟體，儲存於一電腦可讀取之媒介中，具有指令使一電腦執行以下之功能：

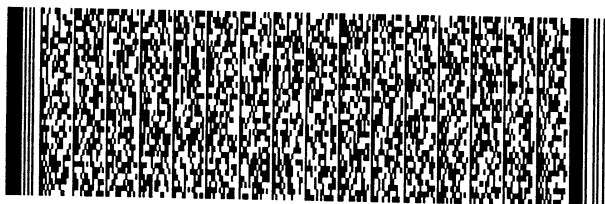
從複數參考裝置中擇一；

發送一控制信號至該被選擇之參考裝置；

接收一來自該參考裝置之測距量測信號；

接受一測距量測結果，該測距量測結果與至該被選定之參考裝置有關；

使用該接受之測距量測結果將一該物體之位置估測或方向估測加以更新。



六、申請專利範圍

14. 一種追蹤系統，包括：

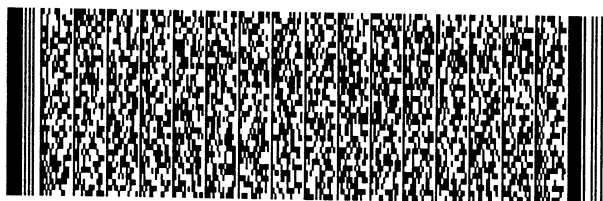
一聲音參考系統，具有複數聲音參考裝置；

一追蹤裝置，包括：

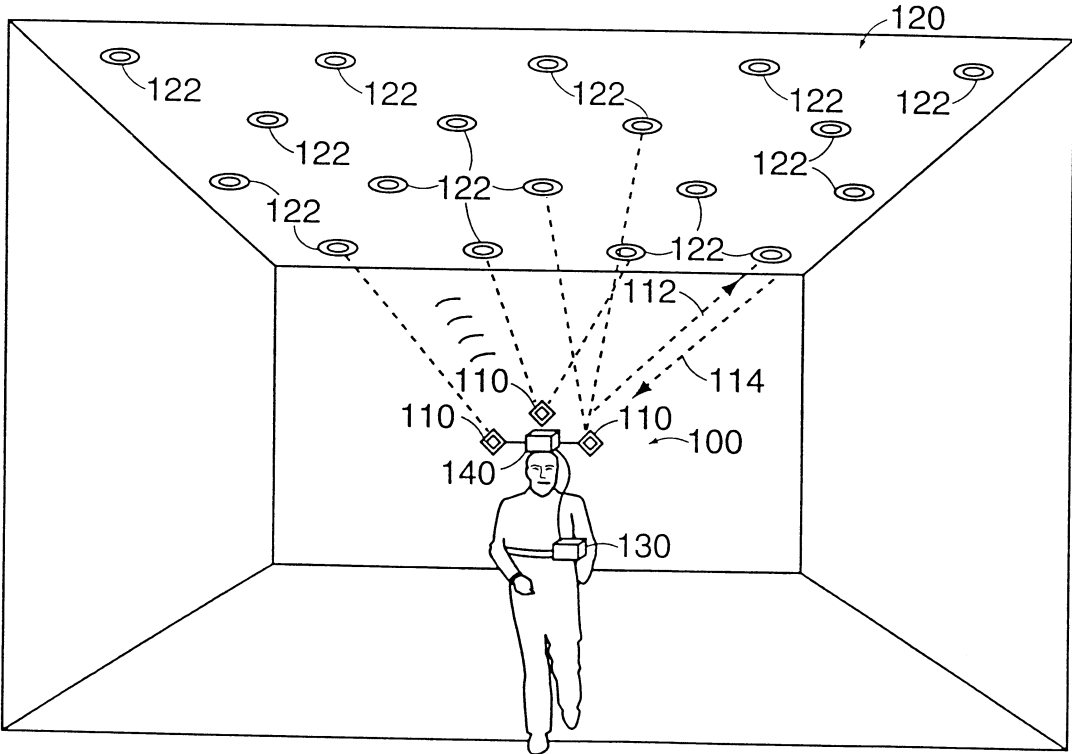
一感測系統，具有一慣性感測器及一組或一個緊密地耦接至該慣性感測器之聲音感測器；

一處理器，接收該慣性感測器之量測結果，使用接收之該慣性感測器之量測結果將該感測系統之一位置估測及一方向估測加以更新，從複數聲音參考裝置中擇一，接收一聲音測距量測結果，該聲音測距量測結果與該感測系統及所選擇之聲音參考裝置間距離有關，使用接收之該聲音測距量測結果將該位置估測及方向估測加以更新。

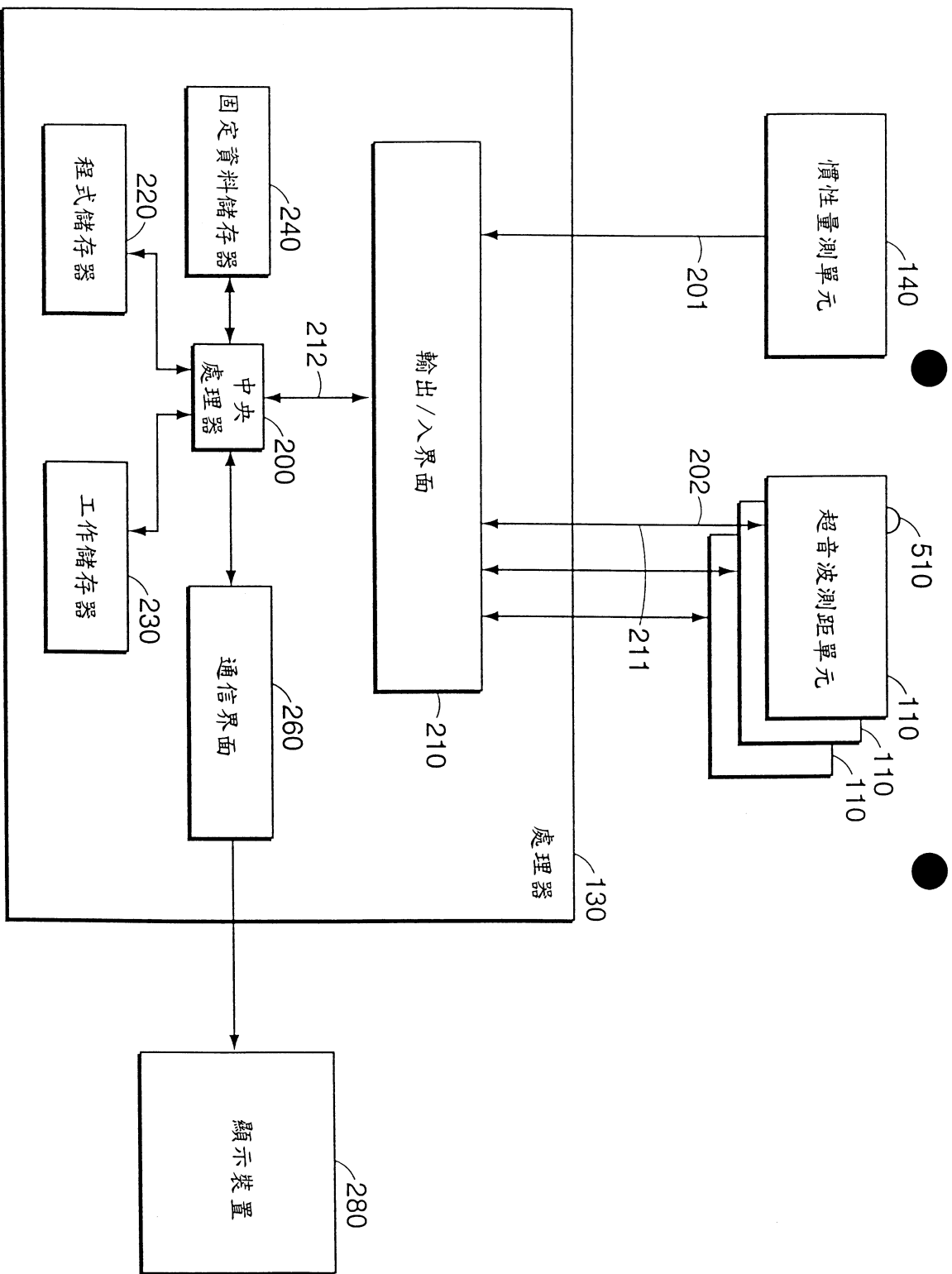
15. 如申請專利範圍第14項所述之系統，其中該感測系統包括一發射器，用以發送一載有該被選擇之聲音參考裝置識別之控制信號，且每一個聲音感測器包括一麥克風，用以接收一來自該聲音參考裝置之聲音信號，每一聲音參考裝置包括一接收器，接收來自該感測系統之控制信號，以及一聲音轉換器，送出該聲音信號。



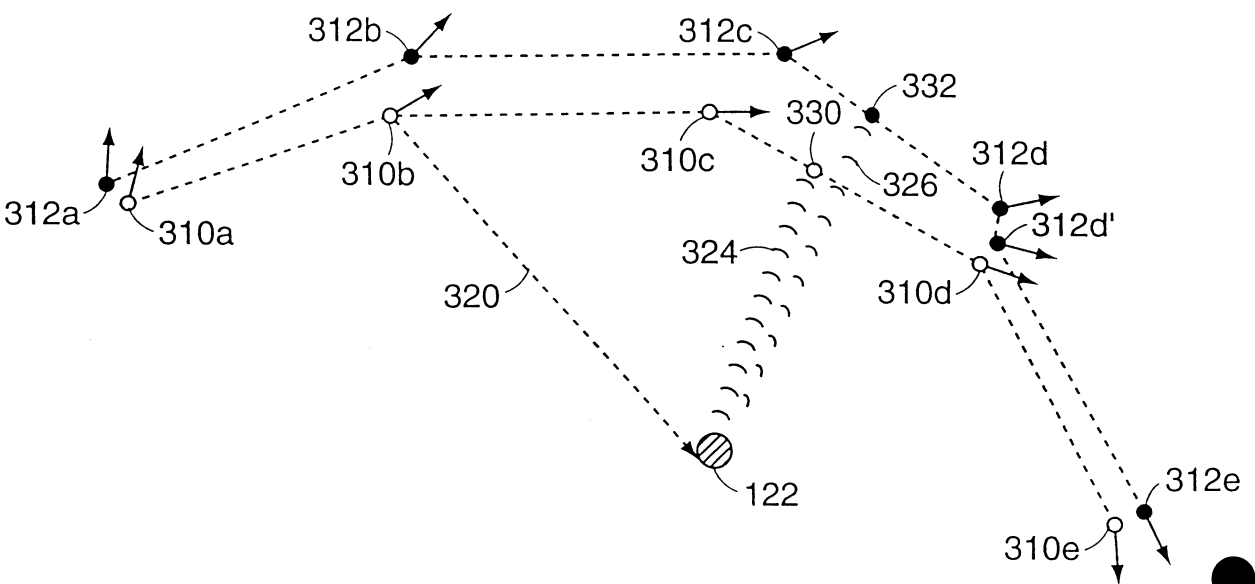
88105754



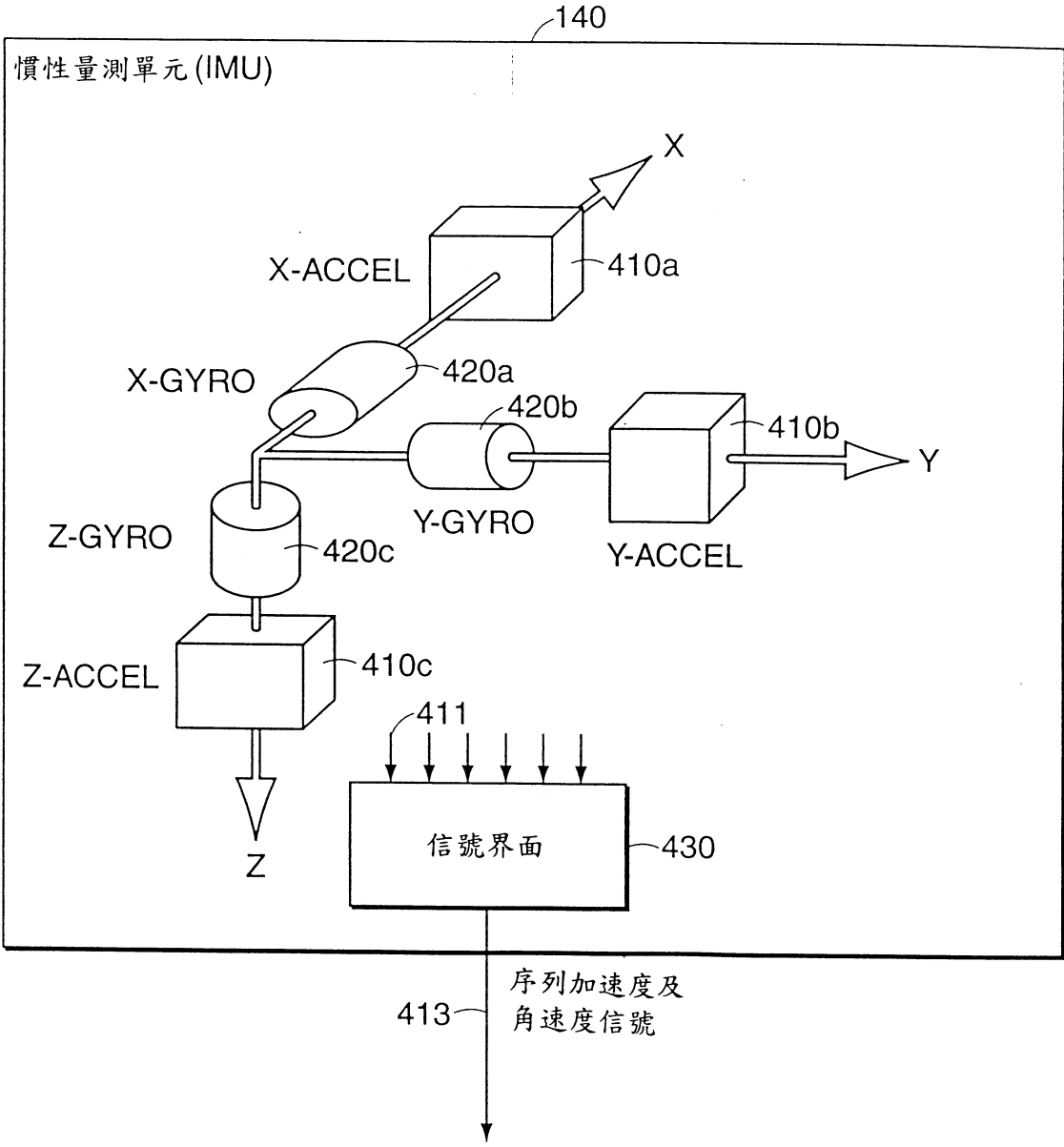
第 1 圖



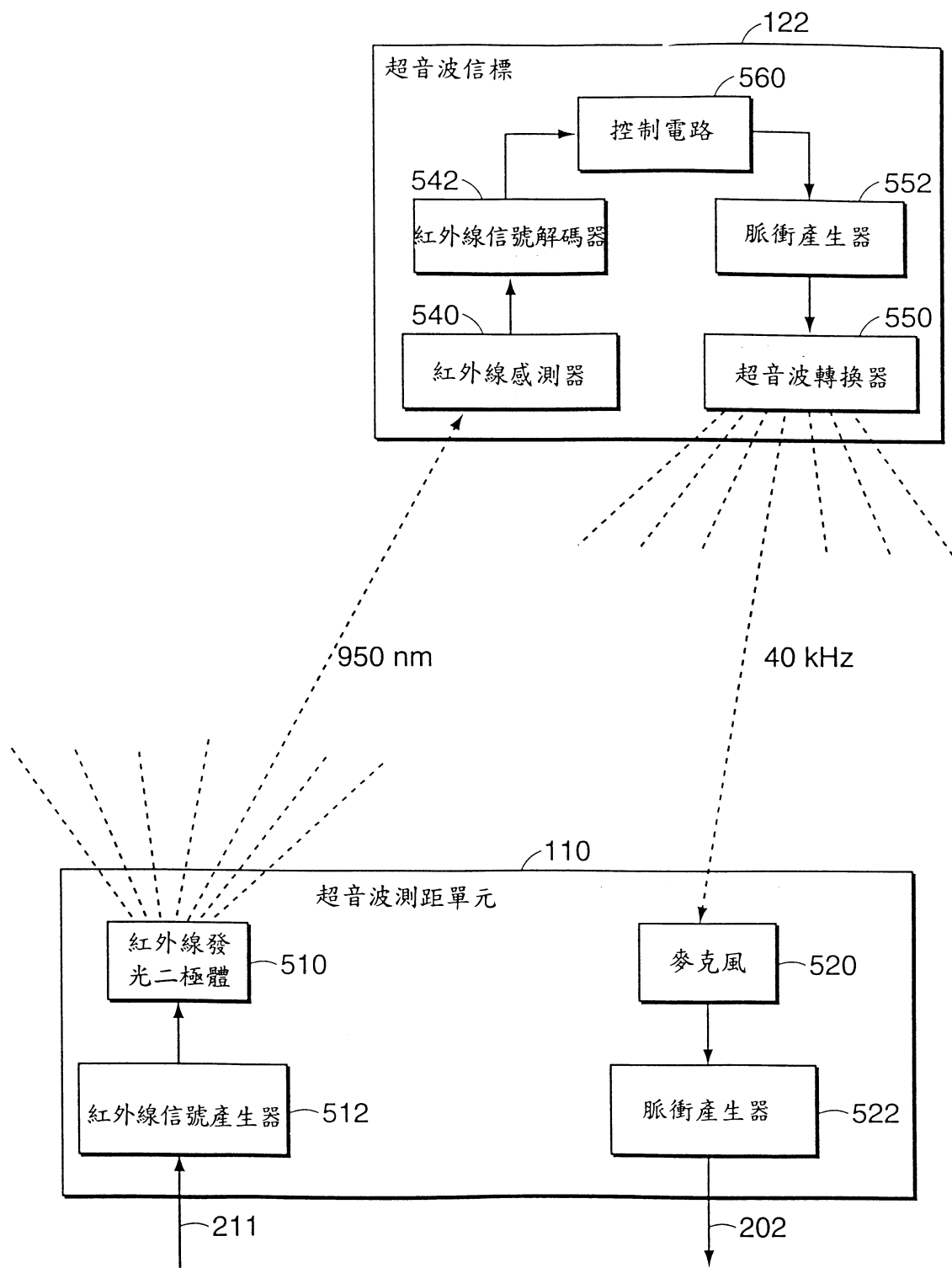
第2圖



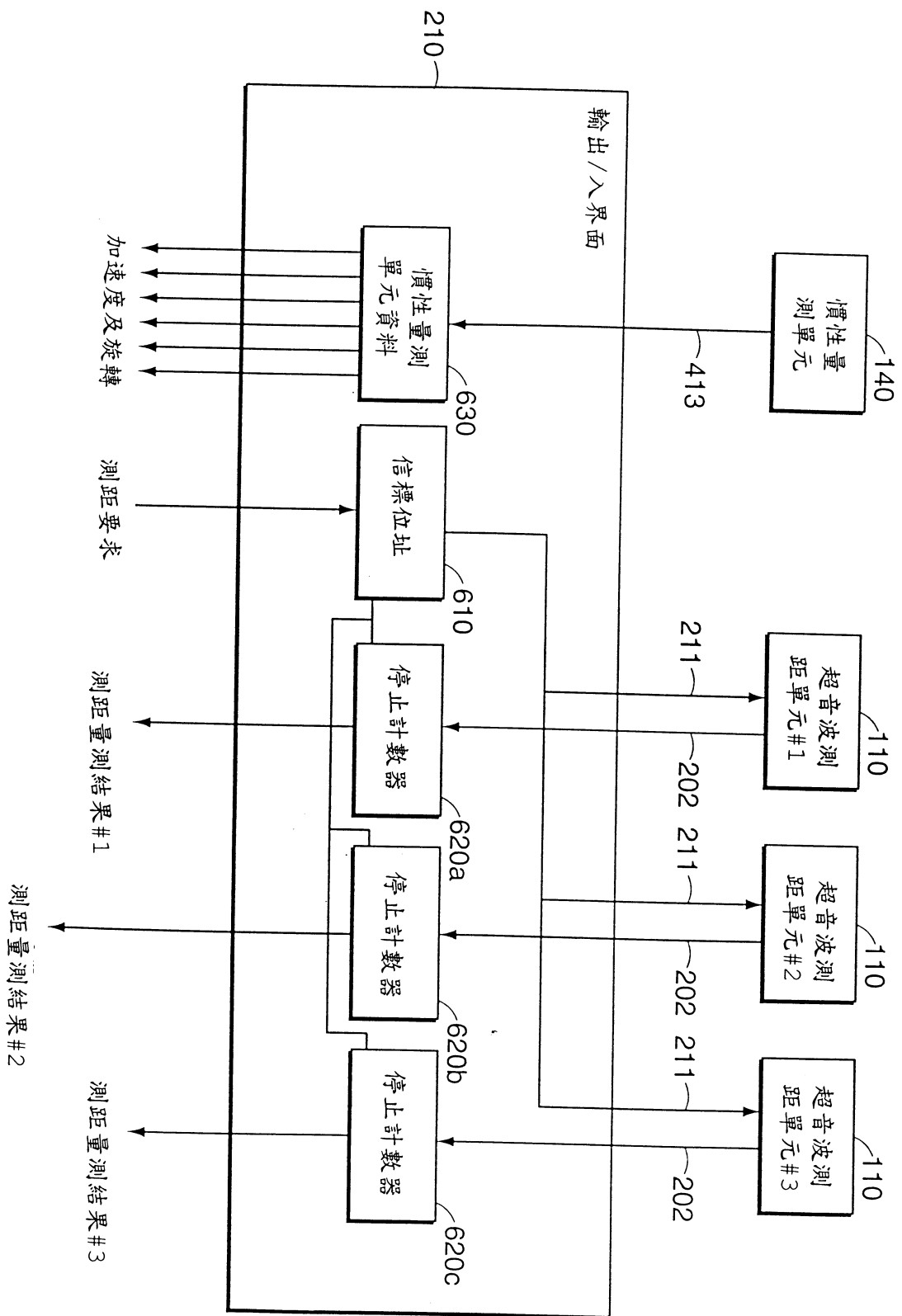
第 3 圖



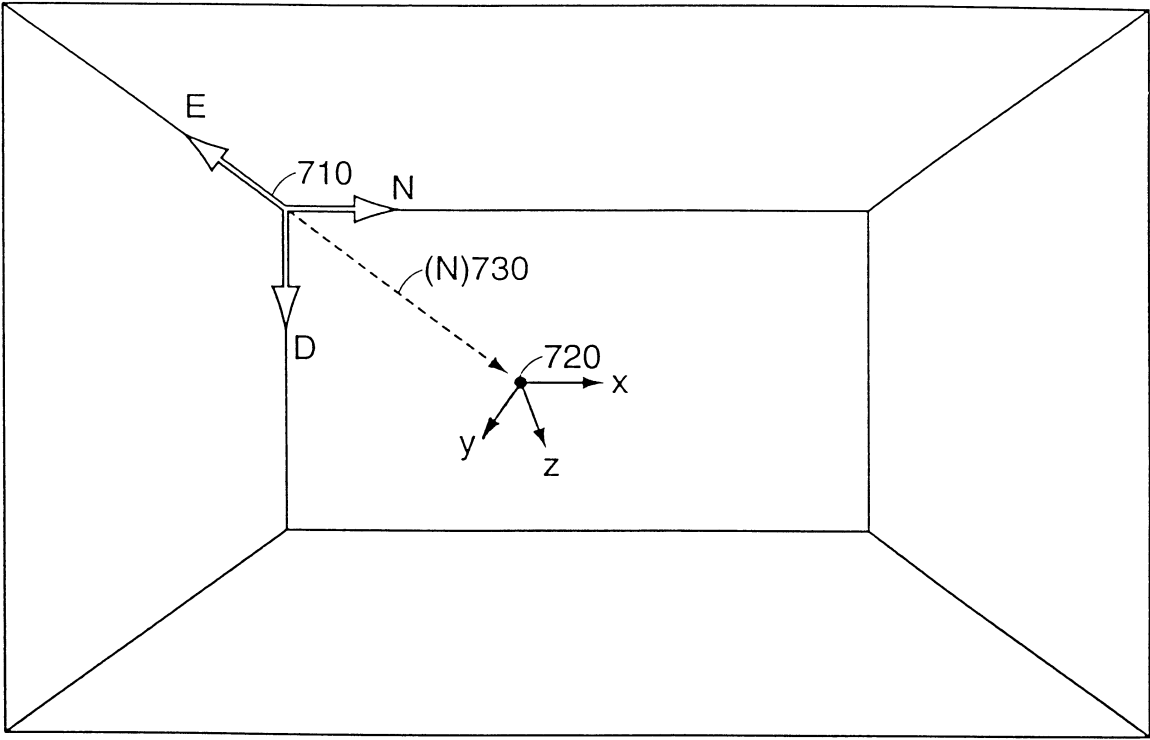
第 4 圖



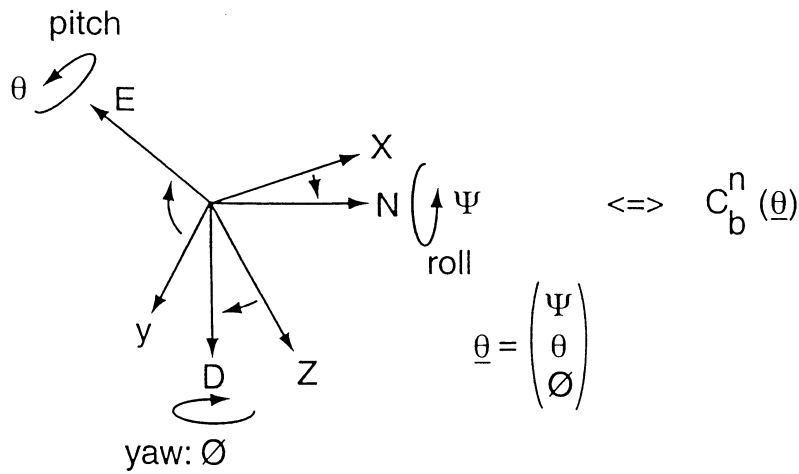
第 5 圖



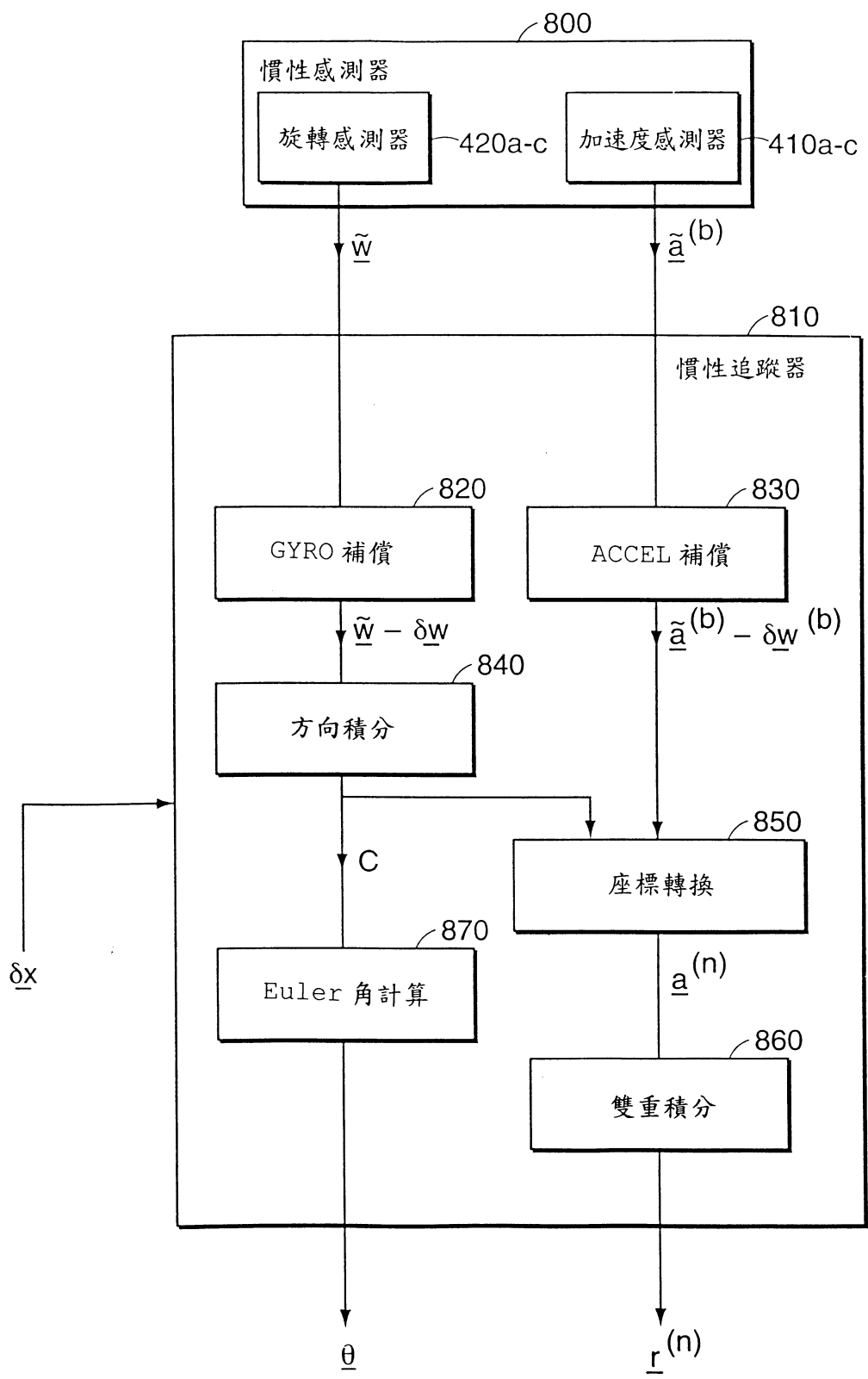
第 6 圖



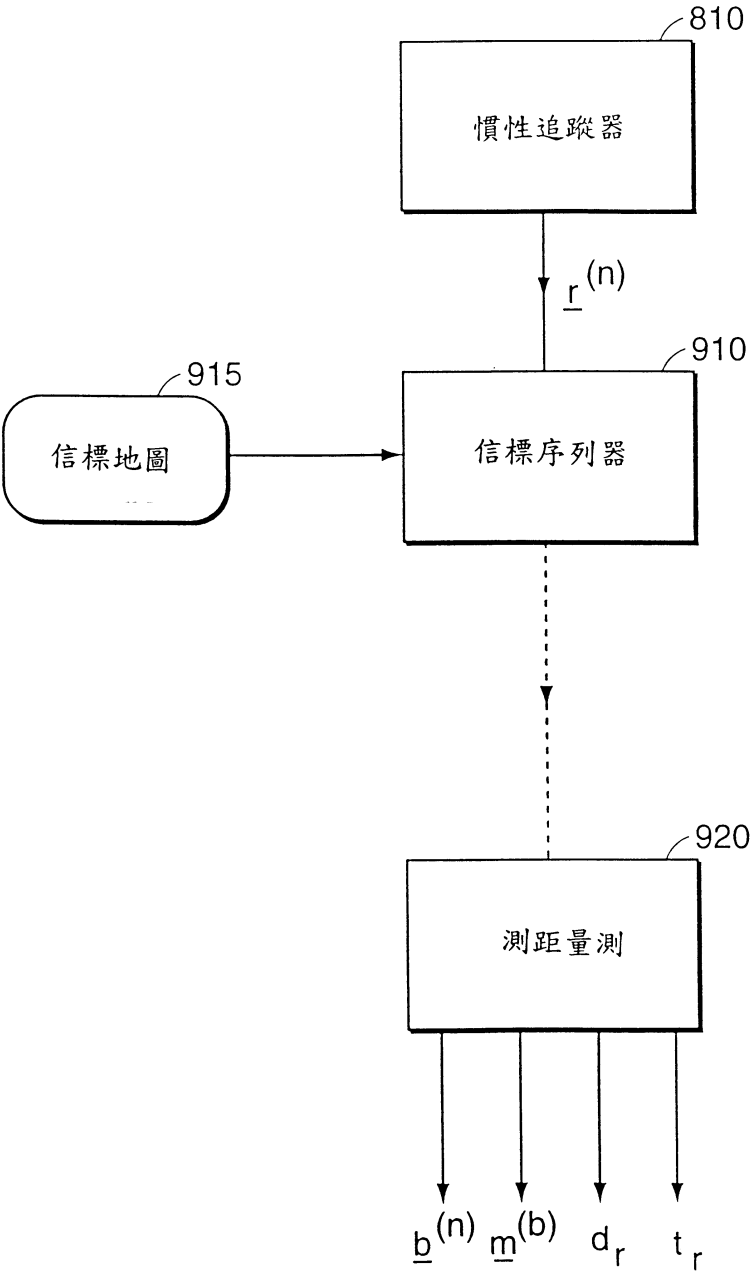
第 7a 圖



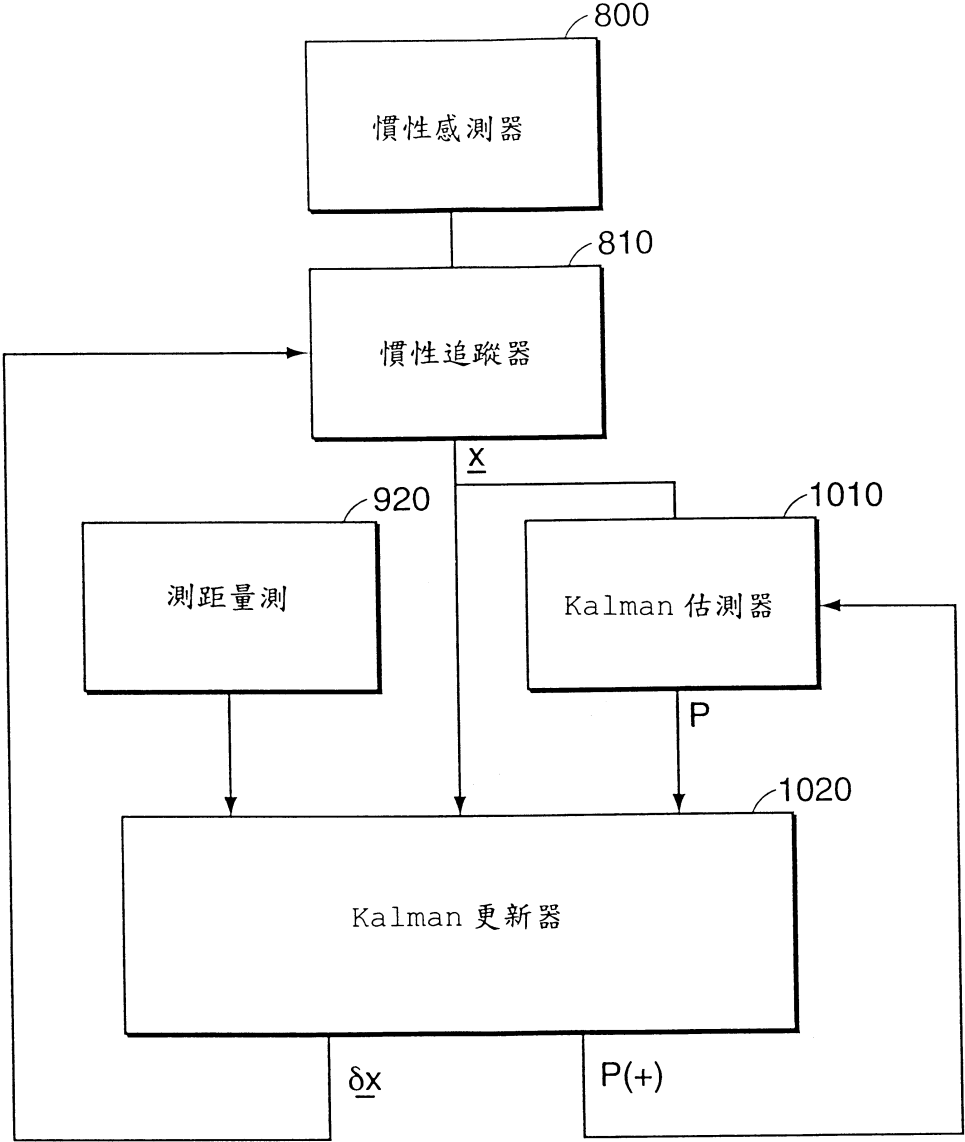
第 7b 圖



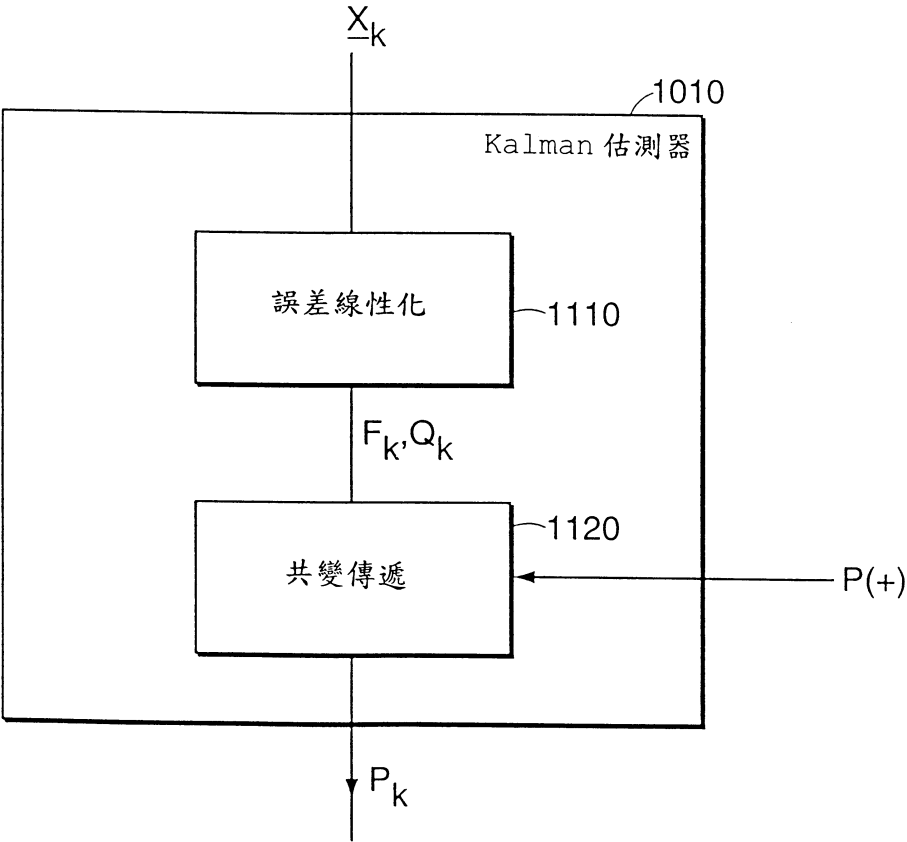
第 8 圖



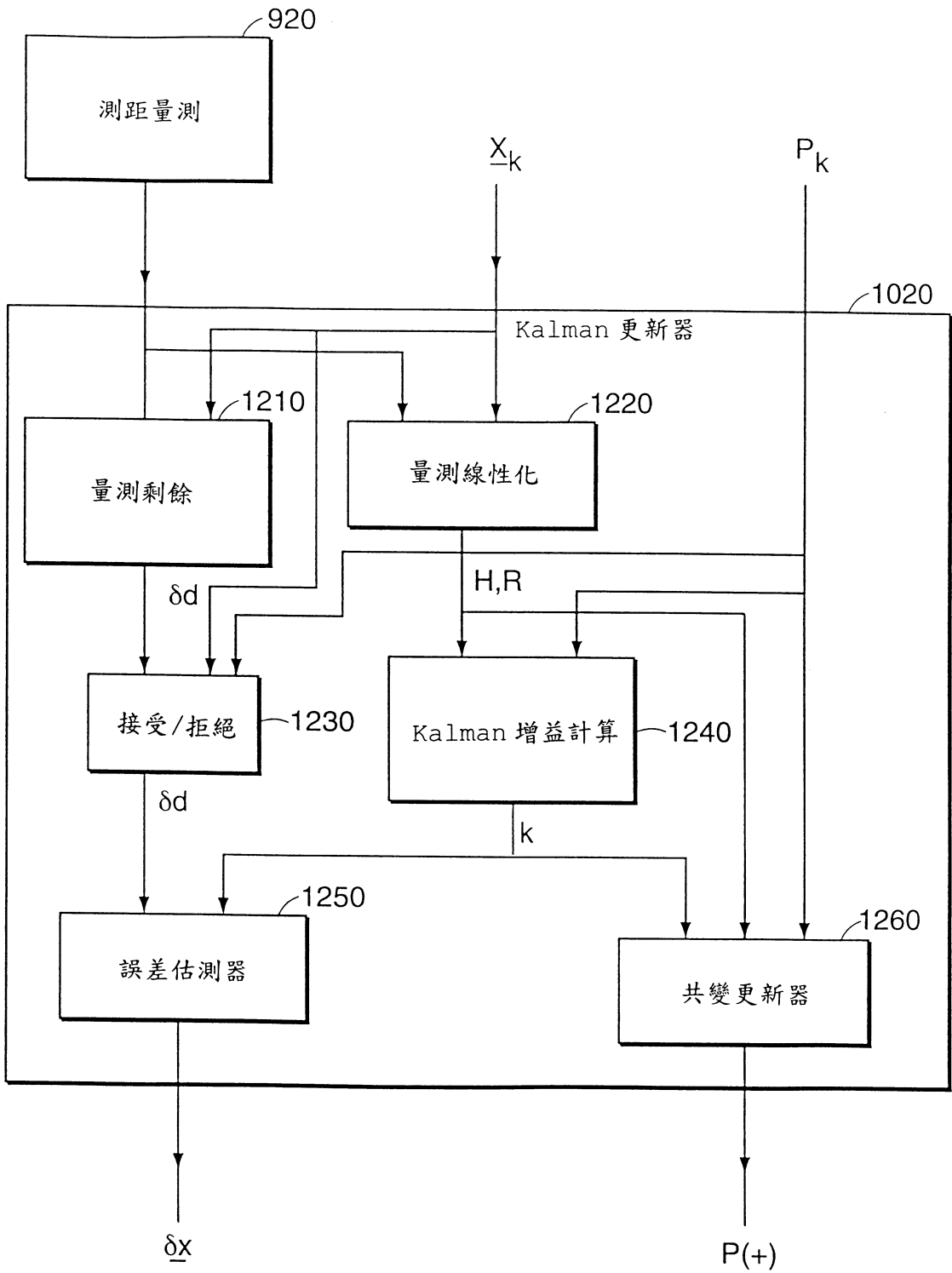
第 9 圖



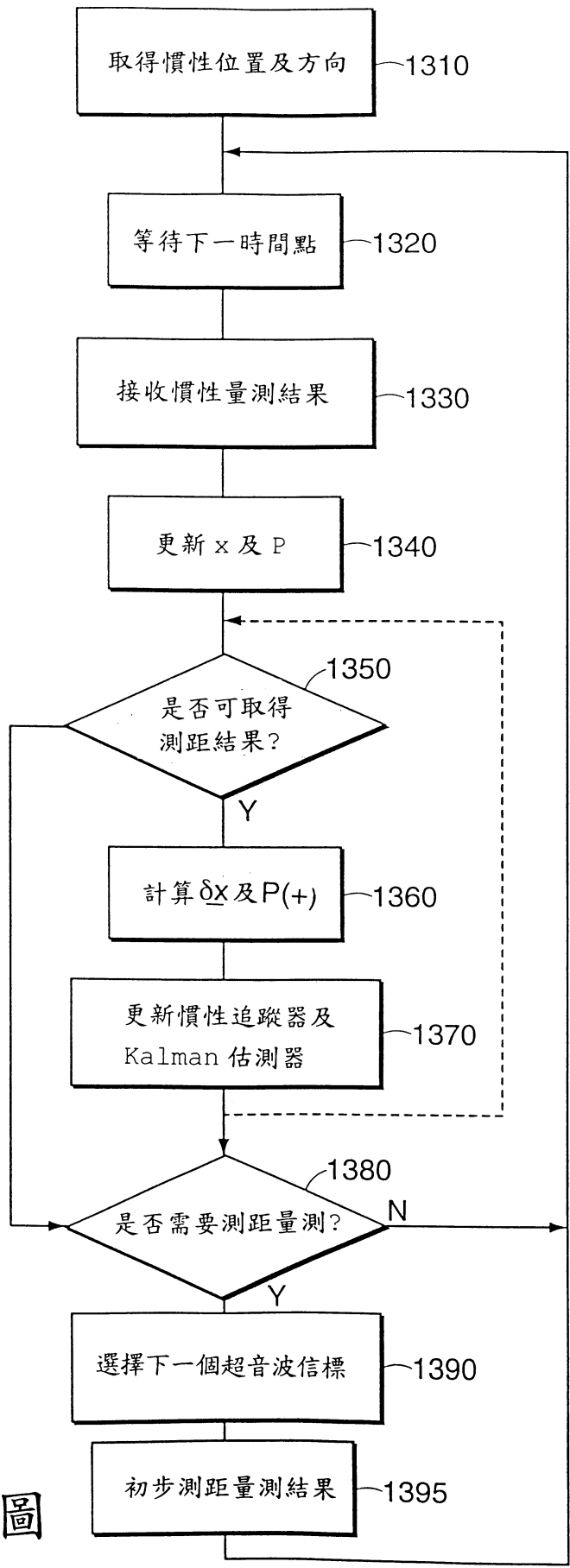
第 10 圖



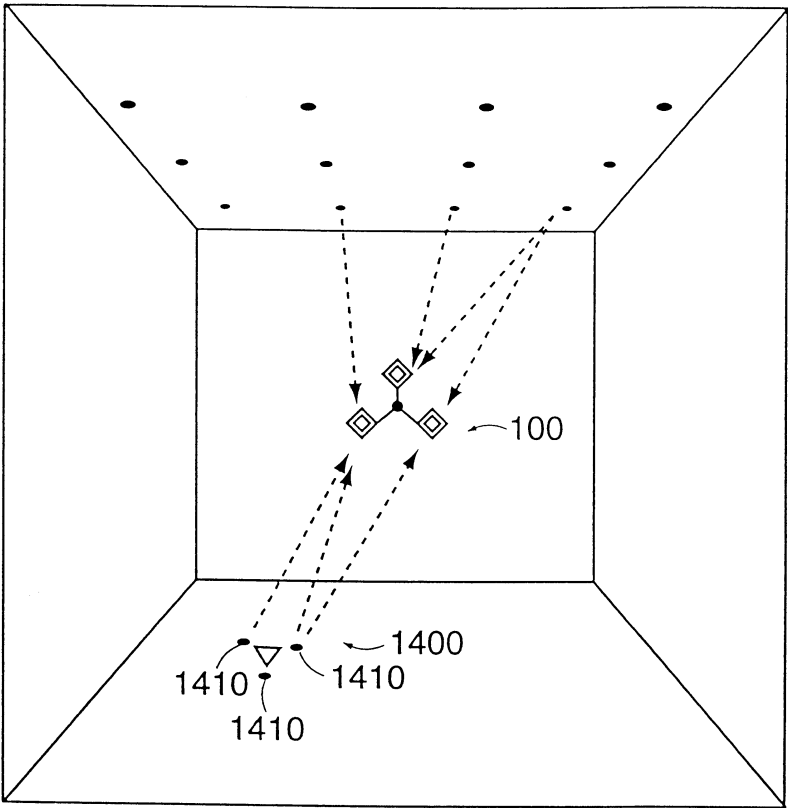
第 11 圖



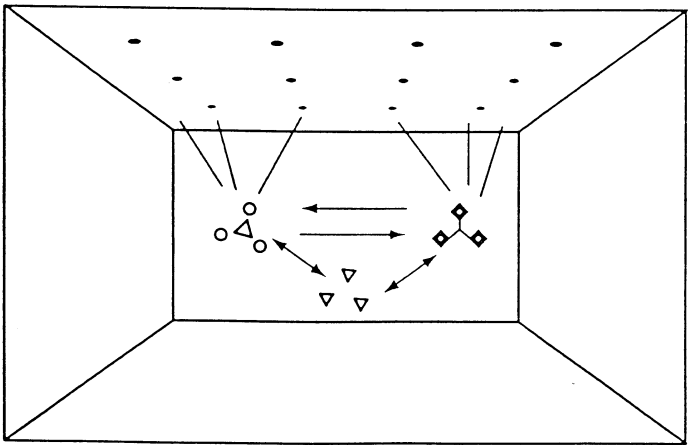
第 12 圖



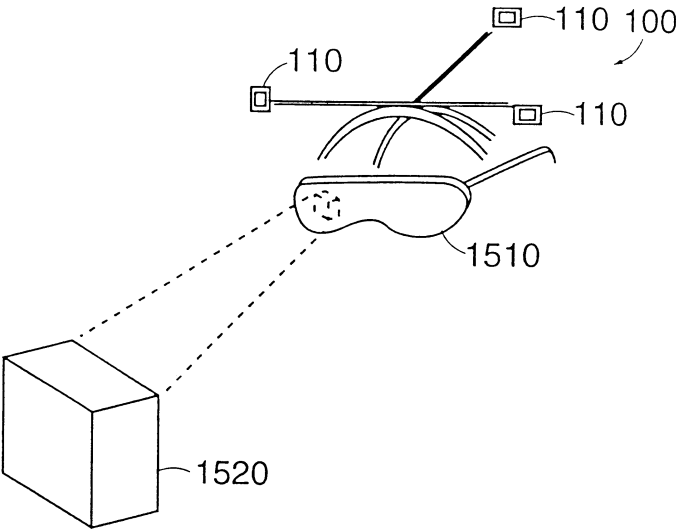
第 13 圖



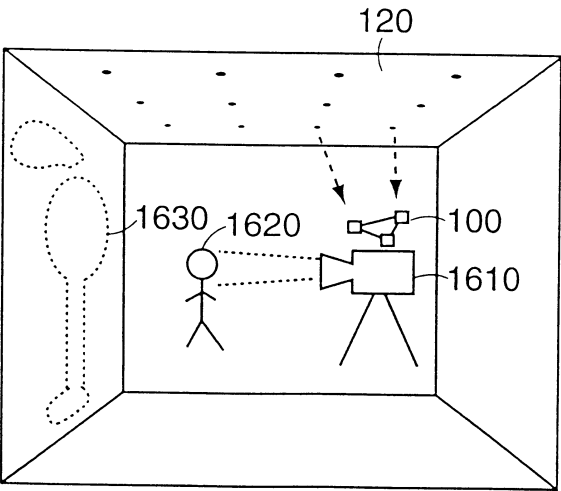
第 14a 圖



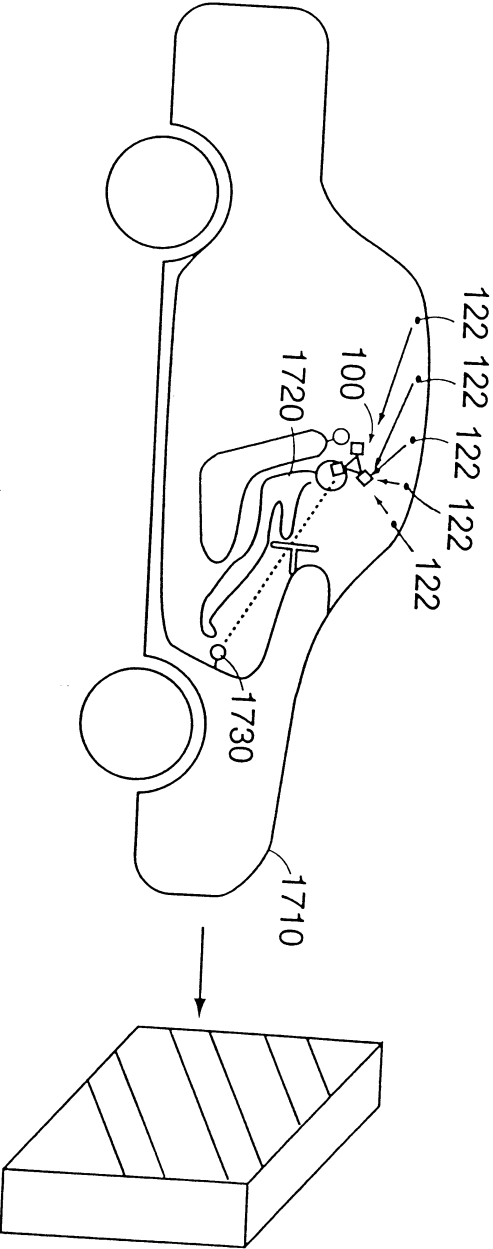
第 14b 圖



第 15 圖



第 16 圖



第17圖