



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公開本

(11) 公開編號：TW 201137310 A1

(43) 公開日：中華民國 100 (2011) 年 11 月 01 日

(21) 申請案號：099113261

(22) 申請日：中華民國 99 (2010) 年 04 月 27 日

(51) Int. Cl. :

G01C19/02 (2006.01)

B81B7/02 (2006.01)

(71) 申請人：國立交通大學 (中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72) 發明人：陳宗麟 CHEN, TSUNG LIN (TW) ; 紀建宇 CHI, CHIEN YU (TW) ; 李嘉緯 LEE, CHIA WEI (TW)

(74) 代理人：蘇建太；林義傑；蘇清澤

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：12 項 圖式數：10 共 32 頁

(54) 名稱

微機電陀螺儀

MEMS GYROSCOPE

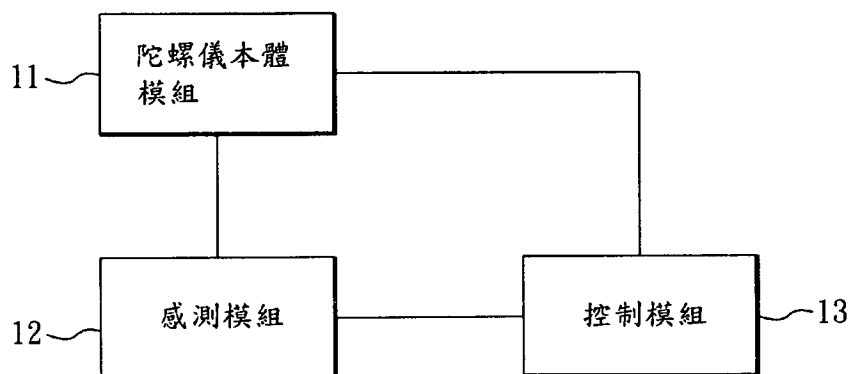
(57) 摘要

本發明係關於一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及機械結構瑕疵所造成的誤差，且無需積分程序便能運算出其所依附之待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。其包括：一陀螺儀本體模組、一與陀螺儀本體模組耦合的感測模組以及一分別與陀螺儀本體模組及感測模組耦合的控制模組。其中，控制模組係接受感測模組所感測出之陀螺儀本體模組的系統動態，再應用一陀螺儀控制方法控制陀螺儀本體模組並運算出其所依附之待測物的旋轉角度。此外，控制模組輸出至陀螺儀本體模組的一控制訊號係包括兩個外加頻率訊號，以驅動陀螺儀本體模組。

11：陀螺儀本體模組

12：感測模組

13：控制模組



發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號： 99113261

※申請日： 99.4.27 ※IPC 分類：G01C 19/02 (2006.01)
B81B 7/02 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

微機電陀螺儀

MEMS Gyroscope

二、中文發明摘要：

本發明係關於一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及機械結構瑕疵所造成的誤差，且無需積分程序便能運算出其所依附之待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。其包括：一陀螺儀本體模組、一與陀螺儀本體模組耦合的感測模組以及一分別與陀螺儀本體模組及感測模組耦合的控制模組。其中，控制模組係接受感測模組所感測出之陀螺儀本體模組的系統動態，再應用一陀螺儀控制方法控制陀螺儀本體模組並運算出其所依附之待測物的旋轉角度。此外，控制模組輸出至陀螺儀本體模組的一控制訊號係包括兩個外加頻率訊號，以驅動陀螺儀本體模組。

三、英文發明摘要：

A MEMS gyroscope is disclosed, capable of computing the rotating angle of a device under test attached thereto without the need to execute an off-line calibration process, of precluding the execution of an integration process, and of executing an on-line compensation process for the error introduced by the sensing circuit defect and by the mechanical structure defect of its gyroscope module. The disclosed MEMS gyroscope comprises: a gyroscope module, a sensing module coupled with the gyroscope module, and a control module couple with the gyroscope module and the sensing module, respectively. The control module receives the system dynamics of the gyroscope module sensed by the sensing module, and applies a gyroscope control method for controlling the gyroscope module and computing the rotating angle of the DUT. Moreover, the control module outputs a control signal including two extra frequency signals, to the gyroscope module, for driving the gyroscope module into operation.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖（ 1 ）。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 11 陀螺儀本體模組 12 感測模組
13 控制模組

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

「無」

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種微機電陀螺儀，尤指一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，將此微機電陀螺儀依附於一待測物上，無需積分程序便能運算出此待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。

【先前技術】

近年來，微機電陀螺儀的應用領域已大幅地擴張，如作為裝設於手持裝置之運動感測器(Motion Sensor)的角度量測元件等。但是，由於微機電陀螺儀本身的限制，如微機電製程所引入的感測電路瑕疵及機械結構瑕疵，應用微機電陀螺儀所進行之角度量測的精確度仍有極大的進步空間。所以，目前的微機電陀螺儀在進行角度量測前或量測達一定時間後，均需進行一離線校正程序，以將誤差值調整至一容許範圍內。

為此，業界已提出幾種改進方式以克服機械結構瑕疵對於前述之角度量測的準確度的影響，如採用複雜的元件設計、使用特殊的微機電製程或額外執行後製程等。但是，這些改進方式均會產生額外的製程成本，且可能因為複雜的元件設計反而拉低整體製程的良率，故這些針對機械結構瑕疵改進方式仍有待進一步改進。

另一方面，業界也提出數種改進方式，如調變技術(modulation)、切換電容(switch capacitor)架構或相關二重取樣(correlated double sampling, CDS)等，以排除常見於感測電路(包含可變電容及電荷放大器之電路)中的非理想因素(感測電路瑕疵)，如運算放大器的電壓偏移量、因導線產生的寄生電容、雜訊、感測電路的輸出訊號飄移量、偏壓值不確定性、差動式可變電容的不對稱性。但是，這些改進方式不僅過於複雜，更需額外設置相關電路，並不適用於極力微型化中的微機電陀螺儀。

除此之外，由於在目前的微機電陀螺儀所使用之角度量測程序中，均需先量測出陀螺儀本體模組的角速度，再利用積分程序得出旋轉角度，且積分程序往往會將量測雜訊與量測訊號一併積分，造成目前微機電陀螺儀之角度量測誤差往往更大於其角速度量測誤差。

因此，業界需要一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，且無需積分程序便能運算出其所依附之待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。

【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種微機電陀螺儀，俾能無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差而運算出其所依附之待測物之旋轉角度。

本發明之另一目的係在提供一種微機電陀螺儀，俾能無需經過複雜的積分程序，便可運算出其所依附之待測物之旋轉角度。

為達成上述目的，本發明之微機電陀螺儀係配合一待測物並包括：一陀螺儀本體模組，係具有複數個系統參數；一感測模組，係與此陀螺儀本體模組耦合，以感測此陀螺儀本體模組之一系統動態；以及一控制模組，係分別與此陀螺儀本體模組及此感測模組耦合，以接受此感測模組所感測出之此系統動態，且應用一陀螺儀控制方法控制此陀螺儀本體模組並運算出此微機電陀螺儀所依附之此待測物之一旋轉角度。其中，此陀螺儀控制方法係包括下列步驟：輸出一包括一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號的初始控制訊號至此陀螺儀本體模組，以驅動此陀螺儀本體模組；依據接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之估計數值，再依據此等系統參數分別具有之估計數值運算出一第一補償控制訊號，且此第一補償控制訊號包括此第一外加頻率訊號及此第二外加頻率訊號；輸出此第一補償控制訊號至此陀螺儀本體模組；依據再次接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之另一估計數值，再依據此等系統參數分別具有之另一估計數值運算出一第二補償控制訊號，且此第二補償控制訊號包括此第一外加頻率訊號及此第二外加頻率訊號；以及將此第二補償控制訊號與此第一補償控制訊號互相比較，且當此第二補償控制訊號與此第一補償控制訊號相同時，依據當時之此系統動態，應用

一濾波器單元及一角度運算單元運算出此待測物的此旋轉角度。

因此，由於本發明之微機電陀螺儀之控制模組係應用一陀螺儀控制方法控制其陀螺儀本體模組，且運算出本發明之微機電陀螺儀所依附之待測物的一旋轉角度，且其控制模組依據此陀螺儀控制方法所輸出至其陀螺儀本體模組的控制訊號(如初始控制訊號、第一補償控制訊號、第二補償控制訊號及後續的補償控制訊號等)均包含一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號，而此第一外加頻率訊號的頻率及此第二外加頻率訊號的頻率均不同於其陀螺儀本體模組的一特徵頻率，故本發明之微機電陀螺儀可將其感測電路(感測模組)瑕疵及其機械結構(陀螺儀本體模組)瑕疵所造成的誤差線上(即時)補償掉，更使得本發明之微機電陀螺儀無需執行離線校正程序，也無需積分程序，便能運算出其所依附之待測物的旋轉角度。

【實施方式】

如圖1所示，本發明一實施例之微機電陀螺儀係配合一待測物(圖中未示)並包括：一陀螺儀本體模組11、一感測模組12及一控制模組13。其中，陀螺儀本體模組11係具有複數個系統參數(圖中未示)，感測模組12則與陀螺儀本體模組11耦合，以感測陀螺儀本體模組的一系統動態(圖中未示)。此外，控制模組13係分別與陀螺儀本體模組11及感測模組12耦合，以接受感測模組12所感測出之系統動態(圖中未

示)，且應用一陀螺儀控制方法控制陀螺儀本體模組11並運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物之一旋轉角度(圖中未示)。至於前述之「系統參數」及「系統動態」的詳細內容，將詳細敘述於後。

如圖2所示，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法係包括下列步驟：

輸出一包括一第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)的初始控制訊號(U_0)至此陀螺儀本體模組，以驅動此陀螺儀本體模組；

依據接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之估計數值，再依據此等系統參數分別具有之估計數值運算出一第一補償控制訊號(U_1)，且此第一補償控制訊號(U_1)包括此第一外加頻率訊號(ω_x)及此第二外加頻率訊號(ω_y)；

輸出此第一補償控制訊號(U_1)至此陀螺儀本體模組；

依據再次接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之另一估計數值，再依據此等系統參數分別具有之另一估計數值運算出一第二補償控制訊號(U_2)，且此第二補償控制訊號(U_2)包括此第一外加頻率訊號(ω_x)及此第二外加頻率訊號(ω_y)；以及

將此第二補償控制訊號(U_2)與此第一補償控制訊號(U_1)互相比較，且當此第二補償控制訊號(U_2)與此第一補償控制訊號(U_1)相同時，依據當時之此系統動態，應用一濾波器單元及一角度運算單元運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的此旋轉角度。

以下，將配合圖式詳細敘述本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物之一旋轉角度的過程：

如圖3所示，其係本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組的示意圖。在本實施例中，陀螺儀本體模組11係一單軸振動式微機電陀螺儀，感測模組12則為一可變電容式位移感測器。此外，陀螺儀本體模組11之質量塊111的動態被侷限在X-Y平面上，以量測質量塊111於Z軸方向上的旋轉角速度(Ω_z)及旋轉角度。如此，質量塊111於X,Y兩軸上的動態可用下列方程式表示：

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + d_{xx}\dot{x} + d_{xy}\dot{y} + k_{xx}x + k_{xy}y &= u_x + 2m\Omega_z\dot{y} \\ m\ddot{y} + d_{xy}\dot{x} + d_{yy}\dot{y} + k_{xy}x + k_{yy}y &= u_y - 2m\Omega_z\dot{x} \end{aligned} \quad \text{式 1}$$

其中， m 為質量塊111的質量； d_{xx} 、 d_{yy} 為陀螺儀本體模組於x軸與y軸方向上的阻尼係數； k_{xx} 、 k_{yy} 為陀螺儀本體模組於x軸與y軸方向上的剛性係數； d_{xy} 為跨軸耦合(cross axis)的阻尼係數， k_{xy} 為跨軸耦合的剛性係數。

接著，經過處理，前述之式(1)可改寫為

$$\begin{aligned} \ddot{x} + (d_{xx}/m)\dot{x} + (d_{xy}/m)\dot{y} + (k_{xx}/m)x + (k_{xy}/m)y &= u_x/m + 2\Omega_z\dot{y} \\ \ddot{y} + (d_{xy}/m)\dot{x} + (d_{yy}/m)\dot{y} + (k_{xy}/m)x + (k_{yy}/m)y &= u_y/m - 2\Omega_z\dot{x} \end{aligned} \quad \text{式 2}$$

但是，由於本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組11之機械結構瑕疵的影響，上述之系統參數的數值皆可能與原先設計時的數值不同。因此，在本實施例中，

陀螺儀本體模組11係具有8個系統參數，即 k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z (陀螺儀本體模組的角速度)及 m (陀螺儀本體模組之質量塊的質量)，且這8個系統參數的實際數值係屬未知，需由控制模組13一一估計出來。

為了運算出前述之8個系統參數，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組係藉由建立一狀態觀察器的方式，依據接受自感測模組12之陀螺儀本體模組11的一系統動態，分別估算出前述之8個系統參數的估計數值。而在本實施例中，陀螺儀本體模組11的系統動態係至少包含陀螺儀本體模組11之質量塊111的位置(x 、 y)及/或質量塊111的速度(\dot{x} 、 \dot{y})。

而為了建立前述之狀態觀察器，前述之動態方程式(式2)可改寫成：

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f(X) + BU \\ Z &= HX + \bar{n} \end{aligned} \tag{式 3}$$

其中，

$$X = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y} \quad \Omega_z \quad k_{xx} \quad k_{yy} \quad k_{xy} \quad d_{xx} \quad d_{yy} \quad d_{xy} \quad m]$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & [0]_{2 \times 8} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \end{bmatrix}^T$$

$$U = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \quad \bar{n} = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix}$$

$$f(X) = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ -(k_{xx}/m)x - (k_{xy}/m)y - (d_{xx}/m)\dot{x} - (d_{xy}/m)\dot{y} + 2\Omega_z \dot{y} \\ \dot{y} \\ -(k_{xy}/m)x - (k_{yy}/m)y - (d_{xy}/m)\dot{x} - (d_{yy}/m)\dot{y} - 2\Omega_z \dot{x} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{12 \times 1}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [0]_{2 \times 8} \end{bmatrix}$$

如此，本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組11的「系統動態」及「系統參數」均被整合在一動態系統中。在本實施例中，由於所有的系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的實際數值皆為固定數值，即它們不會隨著微機電陀螺儀的運作而有所變化，故前述之狀態觀察器可表示如下：

$$\begin{aligned} \dot{\hat{X}} &= f(\hat{X}) + BU + LH(X - \hat{X}) \\ \hat{Z} &= H\hat{X} \end{aligned} \quad \text{式 4}$$

其中， \hat{X} 代表系統狀態的估測值， L 為觀察器增益。在本實施例中，觀察器增益 L 係藉由一里昂普諾夫法(Lyapunov method)得出。

如前所述，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組係應用一陀螺儀控制方法(如圖2所示)運算出本發明一實

施例之微機電陀螺儀所依附之待測物之一旋轉角度，而此陀螺儀控制方法的詳細應用步驟，則如下所述：

首先，控制模組13係輸出一包括一第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)的初始控制訊號(U_0)至陀螺儀本體模組11，而此初始訊號(U_0)可表示如下：

$$U_0 = \frac{1}{\hat{m}} \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} + \omega_x \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} + \omega_y \end{bmatrix} \quad \text{式 5}$$

其中，陀螺儀本體模組11經式5之控制訊號控制後具有一特徵頻率($\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\hat{m}}}$)，而前述之第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)均小於此特徵頻率。在本實施例中，第一外加頻率訊號(ω_x)係450 Hz的正弦函數訊號，第二外加頻率訊號(ω_y)則為500 Hz的正弦函數訊號。

其次，控制模組13依據接受自感測模組12之陀螺儀本體模組11的系統動態(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})，使用前述已建立之狀態觀察器，分別估算出前述之8個系統參數的估計數值。而且，這8個系統參數的估計數值與先前運算出初始控制訊號(U_0)時所使用之8個系統參數的數值相比，至少有部分系統參數的數值不同。

接著，控制模組13再依據這些系統參數的估計數值運算出一第一補償控制訊號(U_1)，而此第一補償控制訊號(U_1)

仍包括前述之第一外加頻率訊號(ω_x)及第二外加頻率訊號(ω_y)，且可表示如下：

$$U_1 = \frac{1}{\hat{m}} \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} + \omega_x \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} + \omega_y \end{bmatrix} \quad \text{式 6}$$

隨後，控制模組13輸出此第一補償控制訊號(U_1)至陀螺儀本體模組11，以驅動陀螺儀本體模組11。之後，控制模組13便依據再次接受自感測模組12之陀螺儀本體模組11的系統動態(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})，再次使用前述已建立之狀態觀察器，分別估算出前述之8個系統參數的另一估計數值。

接著，控制模組13再依據這些系統參數的另一估計數值運算出一第二補償控制訊號(U_2)，而此第二補償控制訊號(U_2)亦包括前述之第一外加頻率訊號(ω_x)及第二外加頻率訊號(ω_y)，且可表示如下：

$$U_2 = \frac{1}{\hat{m}} \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} + \omega_x \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} + \omega_y \end{bmatrix} \quad \text{式 7}$$

此時，控制模組13將此第二補償控制訊號(U_2)與前述之第一補償控制訊號(U_1)互相比較。若兩者不同時，控制模組13便將此第二補償控制訊號(U_2)輸出至陀螺儀本體模組11，以驅動陀螺儀本體模組11。

接著，控制模組13再依據前述之程序，再次運算出—第三補償控制訊號(U_3)並將此第三補償控制訊號(U_3)與前述之第二補償控制訊號(U_2)互相比較。需注意的是，控制模組13將會持續執行相同的程序，即持續運算出不同的補償控制訊號(U_n)並將補償控制訊號(U_n)輸出至陀螺儀本體模組11，直到下一次所運算出的補償控制訊號(U_{n+1})與目前運算出的補償訊號(U_n)相同為止。

如圖4所示，其係顯示當本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組之系統動態之各參數(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})之估計數值的變化趨勢示意圖。其中，系統動態的各參數(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})之估計數值均迅速地收斂至實際數值。此外，圖5則顯示本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。其中，這8個系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的估計數值均於0.3秒內收斂至實際數值。

而當此第二補償控制訊號(U_2)與前述之第一補償控制訊號(U_1)相同時，即當陀螺儀本體模組之系統動態之各參數的估計數值收斂至實際數值時，且其8個系統參數的估計數值也收斂至實際數值時，控制模組13便依據運算出第二補償訊號(U_2)所依據之系統動態，依序應用一濾波器單元及一角度運算單元，運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

在本實施例中，前述之濾波器單元係為一帶通濾波器單元(Band-pass filter)，且其頻率響應係如圖6所示。從圖6中可看出，此帶通濾波器單元的通帶係介於2.5 kHz 及3.5 kHz之間，且前述之陀螺儀本體模組111的特徵頻率係位於此帶通濾波器單元之通帶(pass band)內，以便過濾(擷取)出頻率在此特徵頻率附近的訊號。此時，陀螺儀本體模組111的系統動態便可表示如下：

$$\begin{aligned}\bar{x} &= BPF(\hat{x}), & \dot{\bar{x}} &= BPF(\dot{\hat{x}}) \\ \bar{y} &= BPF(\hat{y}), & \dot{\bar{y}} &= BPF(\dot{\hat{y}})\end{aligned}\quad \text{式 8}$$

接著，控制模組13將這4個參數帶入前述之角度運算單元中，以運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度(ϕ)。在本實施例中，此角度運算單元可表示為：

$$\phi = \bar{\phi} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2(k \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} + \dot{\bar{x}} \cdot \dot{\bar{y}})}{k \cdot (\bar{x}^2 - \bar{y}^2) + (\dot{\bar{x}}^2 - \dot{\bar{y}}^2)} \right) \quad \text{式 9}$$

至於運算出之待測物的旋轉角度(ϕ)與待測物的實際旋轉角度之間的比較，則如圖7所示。從圖7中可看出，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組13所運算出之旋轉角度與實際旋轉角度相符，且角度運算結果對於實際角度變化的反應速度極快，不會有延遲反應(lag)的發生。

因此，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組藉由應用圖2所示之陀螺儀控制方法的方式，不但可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，更無需經過複雜的積分程序，即能運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

在本發明另一實施例之微機電陀螺儀中，所有的系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的實際數值皆為未知，且其中某些系統參數非固定不變，即這些系統參數會隨著微機電陀螺儀的運作而有所變化。此外，由於本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法係與本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法相同，故此陀螺儀控制方法的詳細應用步驟在此便不再贅述。

但是，在本實施例中，第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)便不用如同前述之本發明一實施例之第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)一樣，需被限定至小於陀螺儀本體模組的特徵頻率，它們僅需不同於此特徵頻率即可。而且，在本實施例中，第一外加頻率訊號(ω_x)係450 Hz的正弦函數訊號，第二外加頻率訊號(ω_y)則為500 Hz的正弦函數訊號。

如圖8所示，其係顯示當本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。其中，在0.55秒後，角速度(Ω_z)由一開始的方波變化為正旋

波，系統阻尼係數(d_{xx} 、 d_{yy} 及 d_{xy})因陀螺儀本體劣化而發生快速且大幅度的變化。但是，即便本發明另一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組發生此一變化，這8個系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的估計數值仍可迅速地收斂至實際數值。

與本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組相同，當第二補償控制訊號(U_2)與第一補償控制訊號(U_1)相同時，本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組便依據運算出第二補償訊號(U_2)所依據之系統動態，依序應用一濾波器單元及一角度運算單元，運算出本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

在本發明另一實施例中，控制模組係先應用角度運算單元，依據運算出第二補償訊號(U_2)時所依據之系統動態，運算出一旋轉角度的估計值($\hat{\phi}$)。而此角度運算單元可表示為：

$$\hat{\phi} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2(k \cdot \hat{x} \cdot \hat{y} + \hat{\dot{x}} \cdot \hat{\dot{y}})}{k \cdot (\hat{x}^2 - \hat{y}^2) + (\hat{\dot{x}}^2 - \hat{\dot{y}}^2)} \right) \quad \text{式 10}$$

接著，再應用一低通濾波器單元(Low pass filter)過濾此旋轉角度的估計值($\hat{\phi}$)，以運算出本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度(ϕ)。所以，待測物的旋轉角度可表示為：

$$\phi = LPF(\hat{\phi}) \quad \text{式 11}$$

而如圖9所示，其係此低通濾波器單元(Low pass filter)的頻率響應示意圖，此低通濾波器單元的導通頻率係0.2 kHz，故本發明另一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組之角速度變化頻率的上限便為0.2 kHz。

至於本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之待測物的旋轉角度(ϕ)與待測物的實際旋轉角度之間的比較，則如圖10所示。從圖10中可看出，即使在0.55秒後，本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的角速度(Ω_z)由一開始的方波變化為正弦波，並且在0.45秒時，系統阻尼係數發生且大幅度的變化，本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之旋轉角度仍與實際旋轉角度大致相符，顯示本發明另一實施例之微機電陀螺儀可將誤差值控制在一可接受的範圍內(線上誤差補償)，使得本發明另一實施例之微機電陀螺儀無需立即停機以執行額外的離線校正程序。

因此，本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組藉由應用圖2所示之陀螺儀控制方法的方式，不但可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，更無需經過複雜的積分程序，即能運算出本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

綜上所述，由於本發明之微機電陀螺儀之控制模組係應用一陀螺儀控制方法控制其陀螺儀本體模組，且運算出本發明之微機電陀螺儀所依附之待測物的一旋轉角度，且

其控制模組依據此陀螺儀控制方法所輸出至其陀螺儀本體模組的控制訊號(如初始控制訊號、第一補償控制訊號、第二補償控制訊號及後續的補償控制訊號等)均包含一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號，而此第一外加頻率訊號的頻率及此第二外加頻率訊號的頻率均不同於其陀螺儀本體模組的一特徵頻率，故本發明之微機電陀螺儀可將其感測電路(感測模組)瑕疵及其機械結構(陀螺儀本體模組)瑕疵所造成的誤差線上(即時)補償掉，更使得本發明之微機電陀螺儀無需執行離線校正程序，也無需積分程序，便能運算出其所依附之待測物的旋轉角度。

上述實施例僅係為了方便說明而舉例而已，本發明所主張之權利範圍自應以申請專利範圍所述為準，而非僅限於上述實施例。

【圖式簡單說明】

圖1係本發明一實施例之微機電陀螺儀的示意圖。

圖2係本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法的流程示意圖。

圖3係本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組的示意圖。

圖4係顯示當本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組之系統動態之各參數之估計數值的變化趨勢示意圖。

圖5係顯示本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。

圖6係本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法所使用之帶通濾波器的頻率響應圖。

圖7係顯示本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之旋轉角度與實際旋轉角度之間差異的示意圖。

圖8係顯示當本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。

圖9係本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法所使用之低通濾波器的頻率響應圖。

圖10係顯示本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之旋轉角度與實際旋轉角度之間差異的示意圖。

【主要元件符號說明】

11 陀螺儀本體模組

12 感測模組

13 控制模組

111 質量塊

11 陀螺儀本體模組

12 感測模組

13 控制模組

111 質量塊

七、申請專利範圍：

1. 一種微機電陀螺儀，係配合一待測物並包括：

一陀螺儀本體模組，係具有複數個系統參數；

一感測模組，係與該陀螺儀本體模組耦合，以感測該陀螺儀本體模組之一系統動態；以及

一控制模組，係分別與該陀螺儀本體模組及該感測模組耦合，以接受該感測模組所感測出之該系統動態，且應用一陀螺儀控制方法控制該陀螺儀本體模組並運算出該微機電陀螺儀所依附之該待測物之一旋轉角度；

其中，該陀螺儀控制方法係包括下列步驟：

輸出一包括一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號的初始控制訊號至該陀螺儀本體模組，以驅動該陀螺儀本體模組；

依據接受之該系統動態分別估算出該等系統參數之估計數值，再依據該等系統參數分別具有之估計數值運算出一第一補償控制訊號，且該第一補償控制訊號包括該第一外加頻率訊號及該第二外加頻率訊號；

輸出該第一補償控制訊號至該陀螺儀本體模組；

依據再次接受之該系統動態分別估算出該等系統參數之另一估計數值，再依據該等系統參數分別具有之另一估計數值運算出一第二補償控制訊號，且該第二補償控制訊號包括該第一外加頻率訊號及該第二外加頻率訊號；以及

將該第二補償控制訊號與該第一補償控制訊號互相比較，且當該第二補償控制訊號與該第一補償控制訊號相同

時，依據當時之該系統動態，應用一濾波器單元及一角度運算單元運算出該待測物的該旋轉角度。

2. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該微機電陀螺儀係為一振動式微機電陀螺儀。

3. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該等系統參數係至少包含該陀螺儀本體模組之質量塊的質量、該陀螺儀本體模組的阻尼係數、該陀螺儀本體模組的剛性係數及該陀螺儀本體模組的角速度。

4. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該系統動態係至少包含該陀螺儀本體模組之質量塊的位置及該陀螺儀本體模組之質量塊的速度。

5. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該感測模組係為一可變電容式位移感測器。

6. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該控制模組係藉由建立一狀態觀察器的方式，依據該系統動態分別估算出該等系統參數之估計數值。

7. 如申請專利範圍第6項所述之微機電陀螺儀，其中該狀態觀察器係具有一觀察器增益，且該觀察器增益係藉由一里昂普諾夫法得出。

8. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該陀螺儀本體模組係具有一特徵頻率。

9. 如申請專利範圍第8項所述之微機電陀螺儀，其中該濾波器單元係一帶通濾波器單元，且該陀螺儀控制方法係先應用該帶通濾波器單元過濾該陀螺儀本體模組於該第

二補償控制訊號與該第一補償控制訊號相同時之該系統動態，再應用該角度運算單元，依據過濾後之該系統動態運算出該待測物的該旋轉角度。

10. 如申請專利範圍第9項所述之微機電陀螺儀，其中該第一外加頻率訊號的頻率及該第二外加頻率訊號的頻率均小於該特徵頻率，且該特徵頻率係位於該帶通濾波器單元之通帶內。

11. 如申請專利範圍第8項所述之微機電陀螺儀，其中該濾波器單元係一低通濾波器單元，且該陀螺儀控制方法係先應用該角度運算單元，依據該陀螺儀本體模組於該第二補償控制訊號與該第一補償控制訊號相同時之該系統動態運算出一旋轉角度的估計值，再應用該低通濾波器單元過濾該旋轉角度的估計值，以運算出該待測物的該旋轉角度。

12. 如申請專利範圍第11項所述之微機電陀螺儀，其中該第一外加頻率訊號的頻率及該第二外加頻率訊號的頻率均不同於該特徵頻率，且該低通濾波器單元的導通頻率係該陀螺儀本體模組之角速度變化頻率的上限。

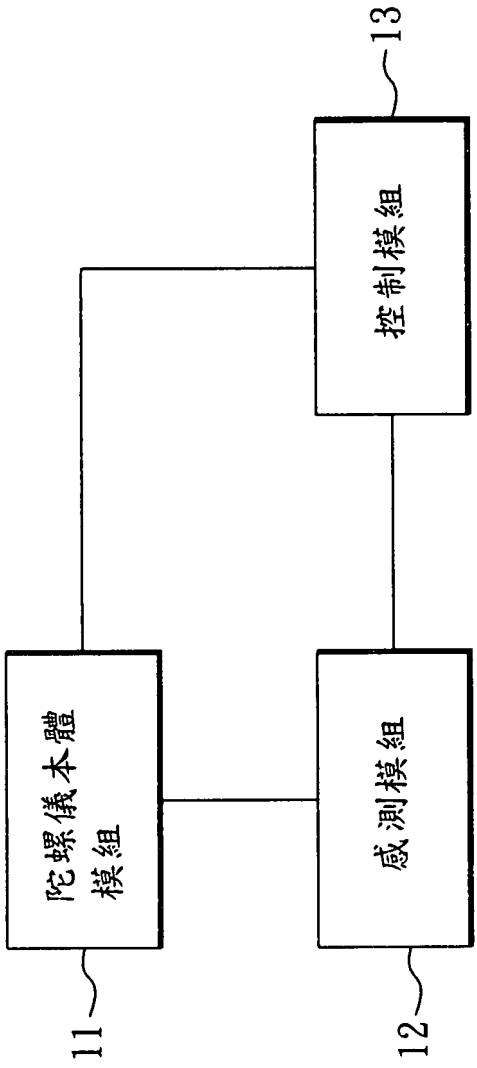


圖1

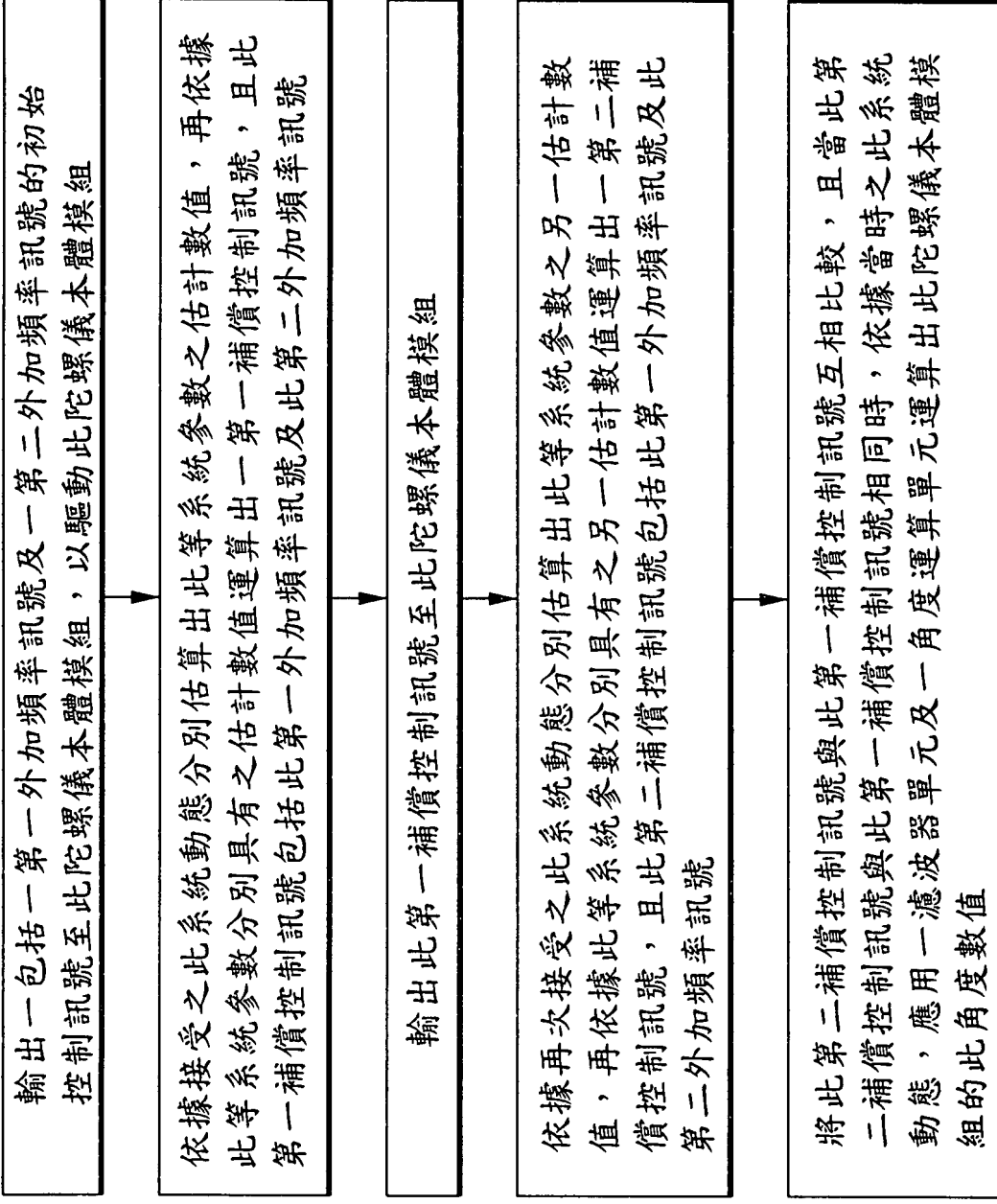


圖2

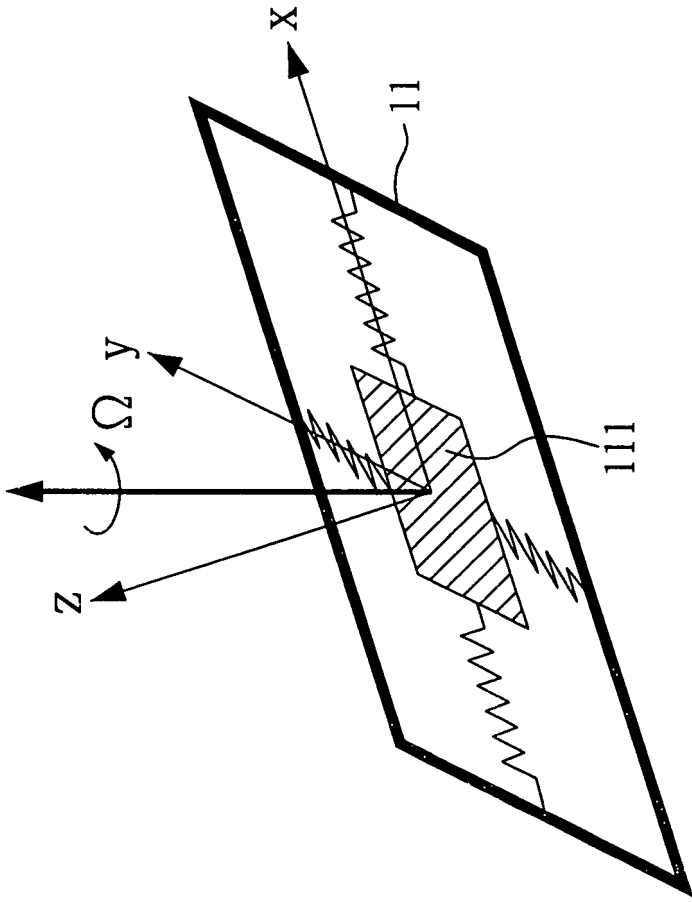


圖3

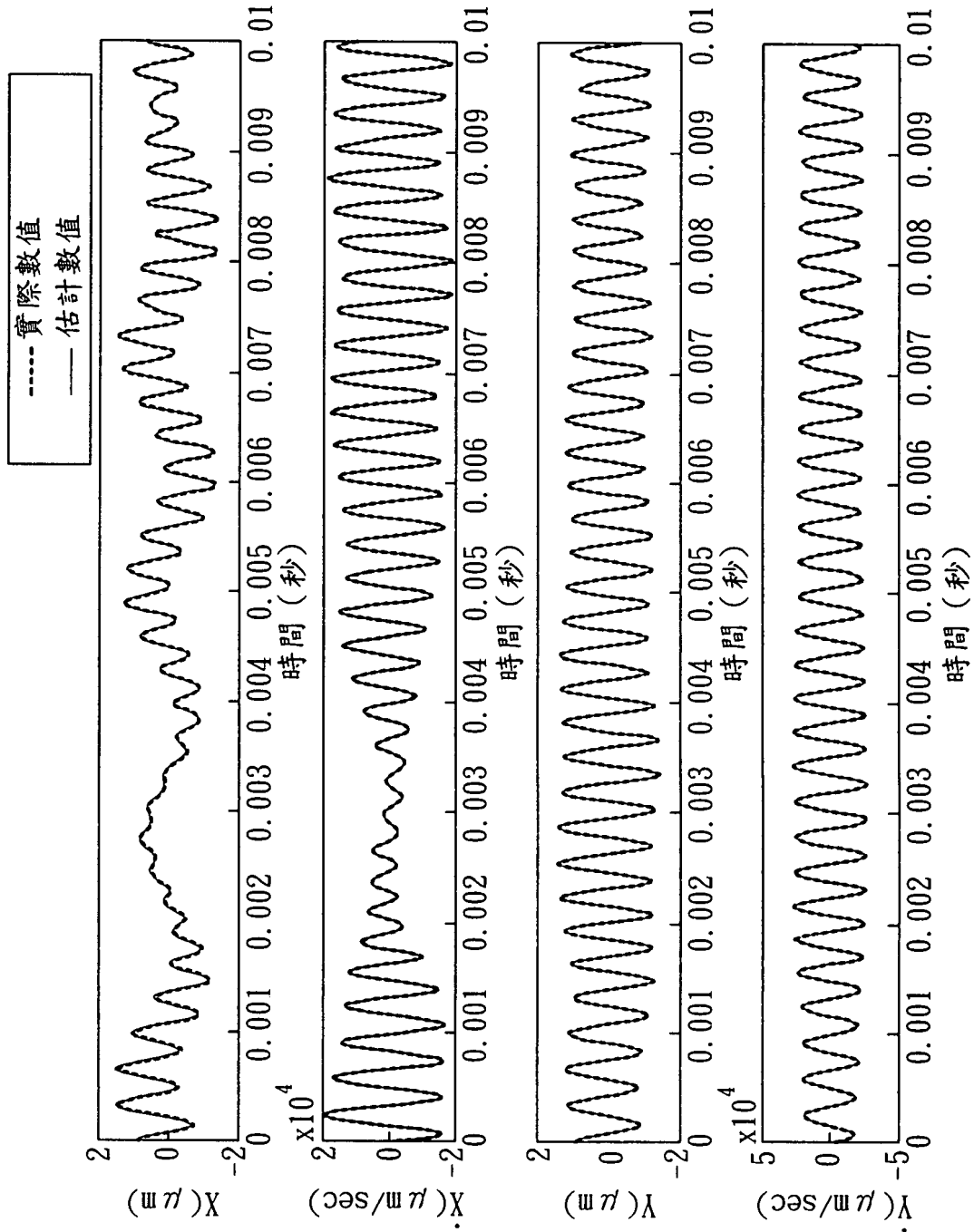


圖4

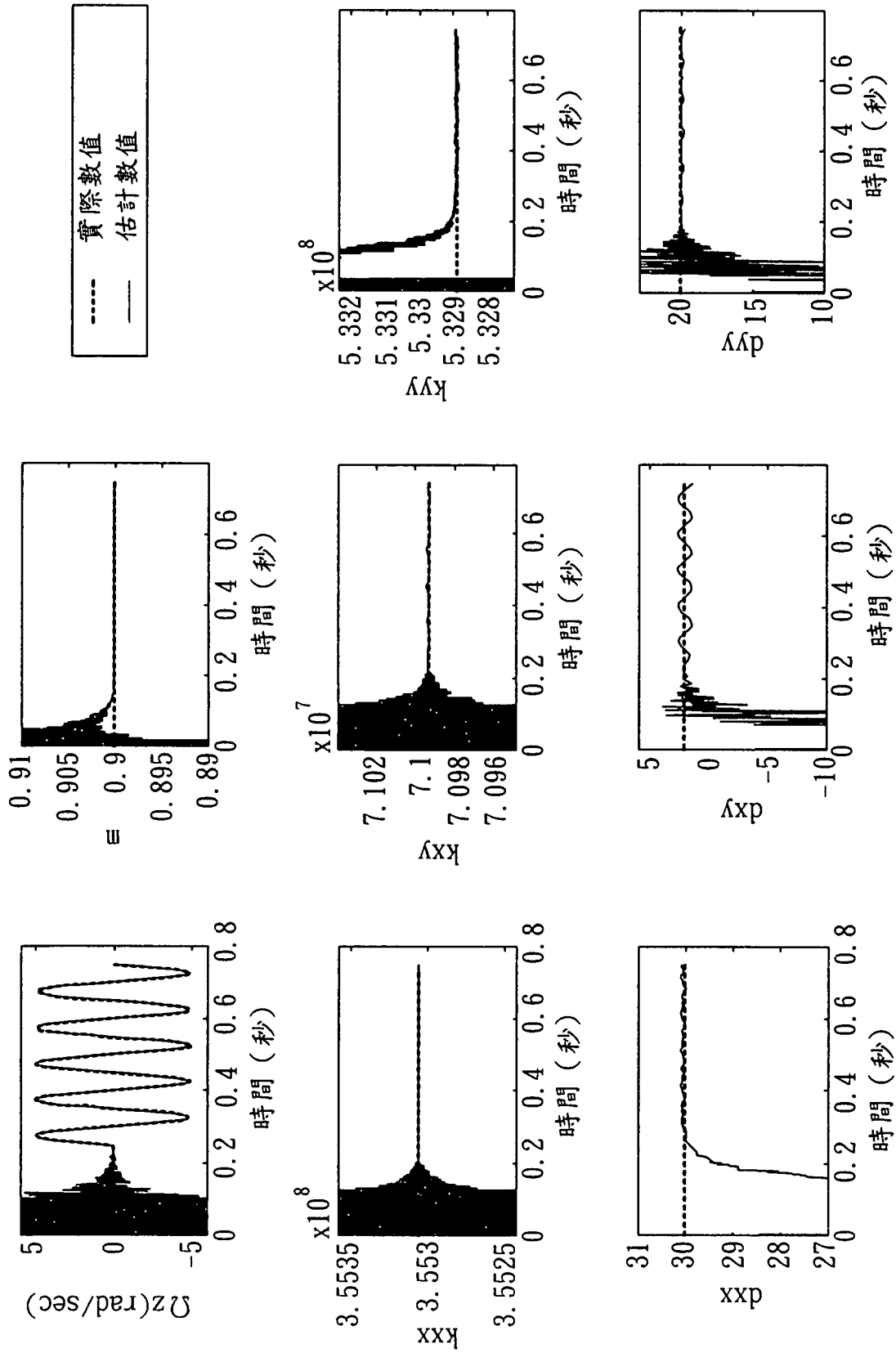


圖5

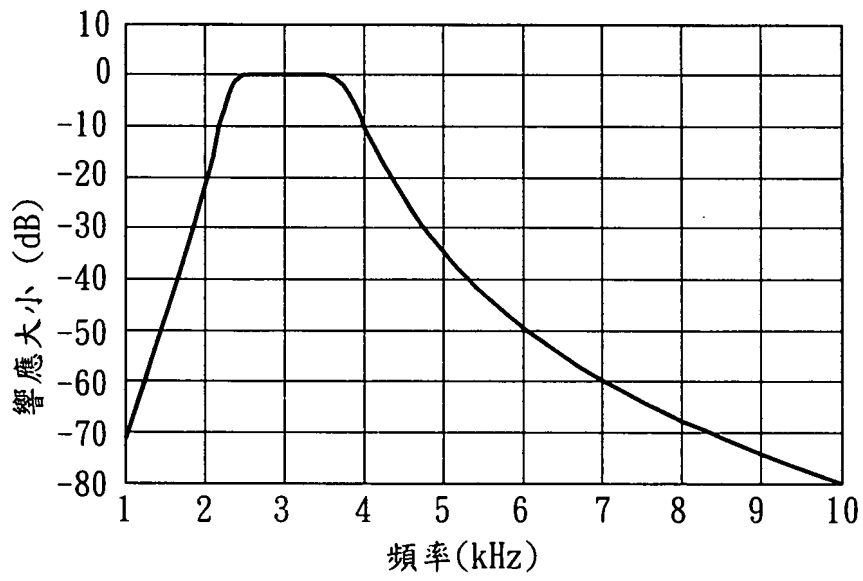


圖6

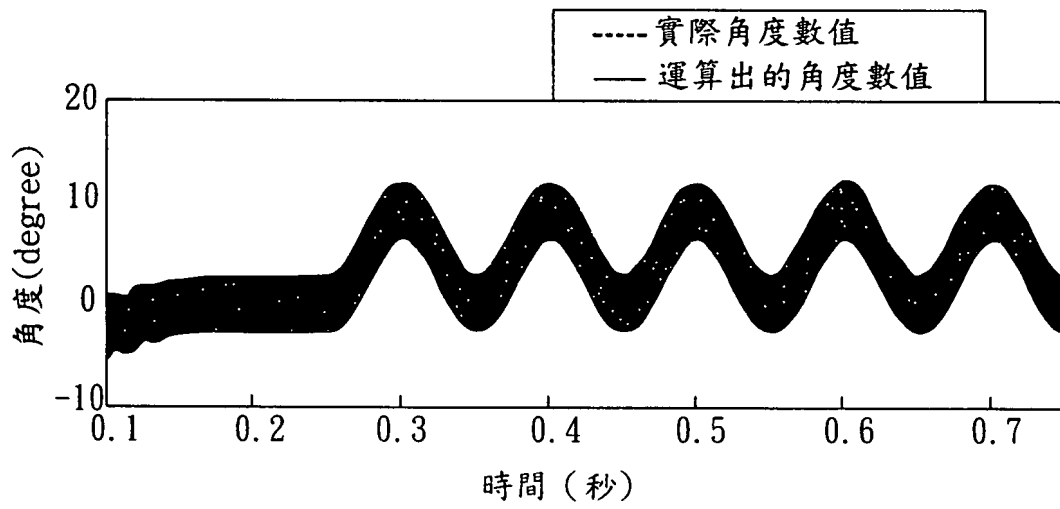


圖7

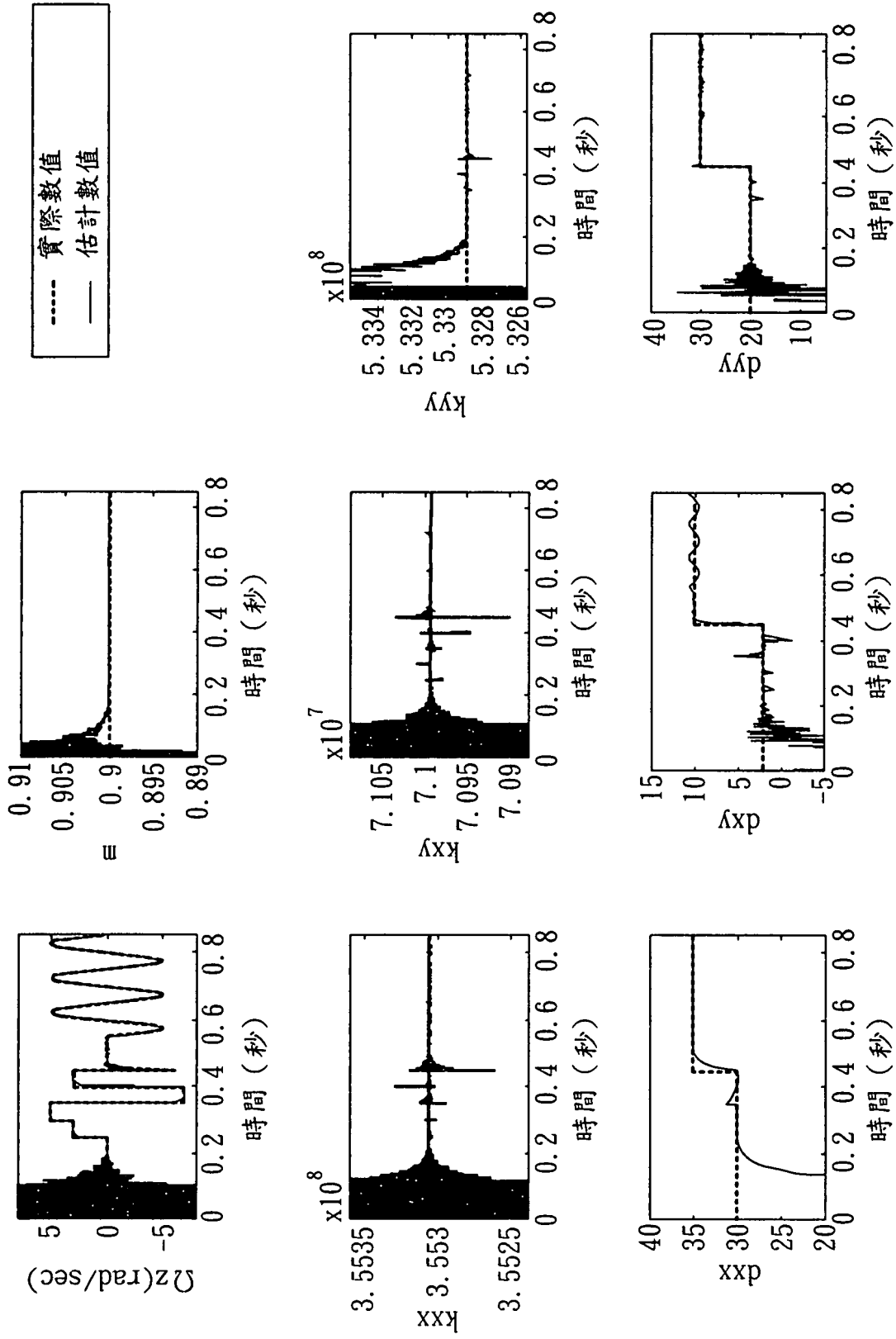


圖8

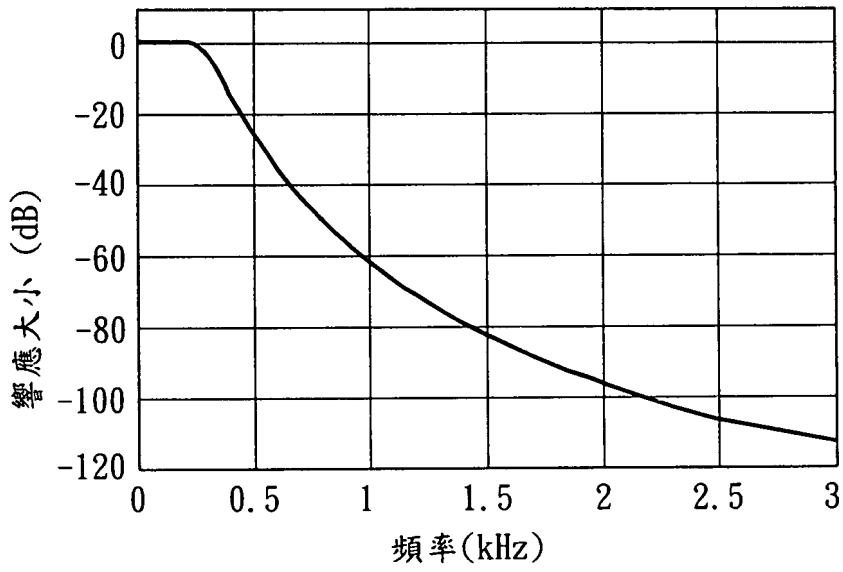


圖9

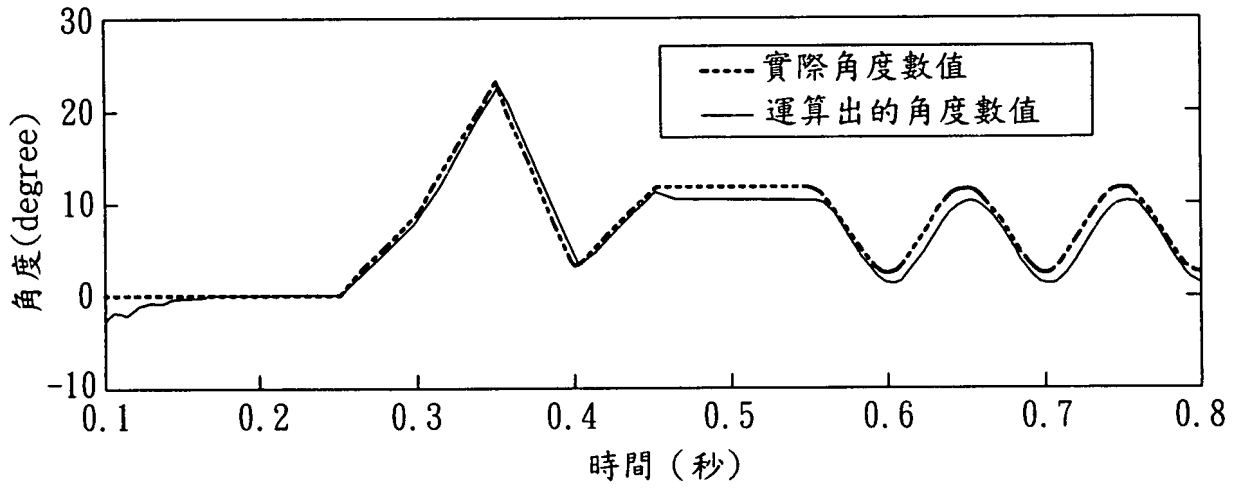


圖10

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 99113261

※ 申請日： 99. 4. 27

※IPC 分類：

G01C 19/02 (2006.01)

B81B 7/02

(2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

微機電陀螺儀

MEMS Gyroscope

二、中文發明摘要：

本發明係關於一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及機械結構瑕疵所造成的誤差，且無需積分程序便能運算出其所依附之待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。其包括：一陀螺儀本體模組、一與陀螺儀本體模組耦合的感測模組以及一分別與陀螺儀本體模組及感測模組耦合的控制模組。其中，控制模組係接受感測模組所感測出之陀螺儀本體模組的系統動態，再應用一陀螺儀控制方法控制陀螺儀本體模組並運算出其所依附之待測物的旋轉角度。此外，控制模組輸出至陀螺儀本體模組的一控制訊號係包括兩個外加頻率訊號，以驅動陀螺儀本體模組。

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號： 99113261

※ 申請日： 99. 4. 27

※IPC 分類：

G01C 19/02 (2006.01)

B81B 7/02

(2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

微機電陀螺儀

MEMS Gyroscope

二、中文發明摘要：

本發明係關於一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及機械結構瑕疵所造成的誤差，且無需積分程序便能運算出其所依附之待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。其包括：一陀螺儀本體模組、一與陀螺儀本體模組耦合的感測模組以及一分別與陀螺儀本體模組及感測模組耦合的控制模組。其中，控制模組係接受感測模組所感測出之陀螺儀本體模組的系統動態，再應用一陀螺儀控制方法控制陀螺儀本體模組並運算出其所依附之待測物的旋轉角度。此外，控制模組輸出至陀螺儀本體模組的一控制訊號係包括兩個外加頻率訊號，以驅動陀螺儀本體模組。

三、英文發明摘要：

A MEMS gyroscope is disclosed, capable of computing the rotating angle of a device under test attached thereto without the need to execute an off-line calibration process, of precluding the execution of an integration process, and of executing an on-line compensation process for the error introduced by the sensing circuit defect and by the mechanical structure defect of its gyroscope module. The disclosed MEMS gyroscope comprises: a gyroscope module, a sensing module coupled with the gyroscope module, and a control module couple with the gyroscope module and the sensing module, respectively. The control module receives the system dynamics of the gyroscope module sensed by the sensing module, and applies a gyroscope control method for controlling the gyroscope module and computing the rotating angle of the DUT. Moreover, the control module outputs a control signal including two extra frequency signals, to the gyroscope module, for driving the gyroscope module into operation.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖（ 1 ）。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

11 陀螺儀本體模組

12 感測模組

13 控制模組

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

「無」

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種微機電陀螺儀，尤指一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，將此微機電陀螺儀依附於一待測物上，無需積分程序便能運算出此待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。

【先前技術】

近年來，微機電陀螺儀的應用領域已大幅地擴張，如作為裝設於手持裝置之運動感測器(Motion Sensor)的角度量測元件等。但是，由於微機電陀螺儀本身的限制，如微機電製程所引入的感測電路瑕疵及機械結構瑕疵，應用微機電陀螺儀所進行之角度量測的精確度仍有極大的進步空間。所以，目前的微機電陀螺儀在進行角度量測前或量測達一定時間後，均需進行一離線校正程序，以將誤差值調整至一容許範圍內。

為此，業界已提出幾種改進方式以克服機械結構瑕疵對於前述之角度量測的準確度的影響，如採用複雜的元件設計、使用特殊的微機電製程或額外執行後製程等。但是，這些改進方式均會產生額外的製程成本，且可能因為複雜的元件設計反而拉低整體製程的良率，故這些針對機械結構瑕疵改進方式仍有待進一步改進。

另一方面，業界也提出數種改進方式，如調變技術(modulation)、切換電容(switch capacitor)架構或相關二重取樣(correlated double sampling, CDS)等，以排除常見於感測電路(包含可變電容及電荷放大器之電路)中的非理想因素(感測電路瑕疵)，如運算放大器的電壓偏移量、因導線產生的寄生電容、雜訊、感測電路的輸出訊號飄移量、偏壓值不確定性、差動式可變電容的不對稱性。但是，這些改進方式不僅過於複雜，更需額外設置相關電路，並不適用於極力微型化中的微機電陀螺儀。

除此之外，由於在目前的微機電陀螺儀所使用之角度量測程序中，均需先量測出陀螺儀本體模組的角速度，再利用積分程序得出旋轉角度，且積分程序往往會將量測雜訊與量測訊號一併積分，造成目前微機電陀螺儀之角度量測誤差往往更大於其角速度量測誤差。

因此，業界需要一種無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，且無需積分程序便能運算出其所依附之待測物之旋轉角度的微機電陀螺儀。

【發明內容】

本發明之主要目的係在提供一種微機電陀螺儀，俾能無需執行離線校正程序，便可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差而運算出其所依附之待測物之旋轉角度。

本發明之另一目的係在提供一種微機電陀螺儀，俾能無需經過積分程序，便可運算出其所依附之待測物之旋轉角度。

為達成上述目的，本發明之微機電陀螺儀係配合一待測物並包括：一陀螺儀本體模組，係具有複數個系統參數；一感測模組，係與此陀螺儀本體模組耦合，以感測此陀螺儀本體模組之一系統動態；以及一控制模組，係分別與此陀螺儀本體模組及此感測模組耦合，以接受此感測模組所感測出之此系統動態，且應用一陀螺儀控制方法控制此陀螺儀本體模組並運算出此微機電陀螺儀所依附之此待測物的一旋轉角度。其中，此陀螺儀控制方法係包括下列步驟：輸出一包括一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號的初始控制訊號至此陀螺儀本體模組，以驅動此陀螺儀本體模組；依據接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之估計數值，再依據此等系統參數分別具有之估計數值運算出一第一補償控制訊號，且此第一補償控制訊號包括此第一外加頻率訊號及此第二外加頻率訊號；輸出此第一補償控制訊號至此陀螺儀本體模組；依據再次接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之另一估計數值，再依據此等系統參數分別具有之另一估計數值運算出一第二補償控制訊號，且此第二補償控制訊號包括此第一外加頻率訊號及此第二外加頻率訊號；以及將此第二補償控制訊號與此第一補償控制訊號互相比較，且當此第二補償控制訊號與此第一補償控制訊號相同時，依據當時之此系統動態，應用

一濾波器單元及一角度運算單元運算出此待測物的此旋轉角度。

因此，由於本發明之微機電陀螺儀之控制模組係應用一陀螺儀控制方法控制其陀螺儀本體模組，且運算出本發明之微機電陀螺儀所依附之待測物之一旋轉角度，且其控制模組依據此陀螺儀控制方法所輸出至其陀螺儀本體模組的控制訊號(如初始控制訊號、第一補償控制訊號、第二補償控制訊號及後續的補償控制訊號等)均包含一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號，而此第一外加頻率訊號的頻率及此第二外加頻率訊號的頻率均不同於其陀螺儀本體模組的一特徵頻率，故本發明之微機電陀螺儀可將其感測電路(感測模組)瑕疵及其機械結構(陀螺儀本體模組)瑕疵所造成的誤差線上(即時)補償掉，更使得本發明之微機電陀螺儀無需執行離線校正程序，也無需積分程序，便能運算出其所依附之待測物的旋轉角度。

【實施方式】

如圖1所示，本發明一實施例之微機電陀螺儀係配合一待測物(圖中未示)並包括：一陀螺儀本體模組11、一感測模組12及一控制模組13。其中，陀螺儀本體模組11係具有複數個系統參數(圖中未示)，感測模組12則與陀螺儀本體模組11耦合，以感測陀螺儀本體模組的一系統動態(圖中未示)。此外，控制模組13係分別與陀螺儀本體模組11及感測模組12耦合，以接受感測模組12所感測出之系統動態(圖中未

示)，且應用一陀螺儀控制方法控制陀螺儀本體模組11並運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物之一旋轉角度(圖中未示)。至於前述之「系統參數」及「系統動態」的詳細內容，將詳細敘述於後。

如圖2所示，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法係包括下列步驟：

輸出一包括一第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)的初始控制訊號(U_0)至此陀螺儀本體模組，以驅動此陀螺儀本體模組；

依據接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之估計數值，再依據此等系統參數分別具有之估計數值運算出一第一補償控制訊號(U_1)，且此第一補償控制訊號(U_1)包括此第一外加頻率訊號(ω_x)及此第二外加頻率訊號(ω_y)；

輸出此第一補償控制訊號(U_1)至此陀螺儀本體模組；

依據再次接受之此系統動態分別估算出此等系統參數之另一估計數值，再依據此等系統參數分別具有之另一估計數值運算出一第二補償控制訊號(U_2)，且此第二補償控制訊號(U_2)包括此第一外加頻率訊號(ω_x)及此第二外加頻率訊號(ω_y)；以及

將此第二補償控制訊號(U_2)與此第一補償控制訊號(U_1)互相比較，且當此第二補償控制訊號(U_2)中之估計數值與此第一補償控制訊號(U_1)中之估計數值相同時，依據當時之此系統動態，應用一濾波器單元及一角度運算單元運算出本

發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的此旋轉角度。

以下，將配合圖式詳細敘述本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物之一旋轉角度的過程：

如圖3所示，其係本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組的示意圖。在本實施例中，陀螺儀本體模組11係一單軸振動式微機電陀螺儀，感測模組12則為一可變電容式位移感測器。此外，陀螺儀本體模組11之質量塊111的動態被侷限在X-Y平面上，以量測質量塊111於Z軸方向上的旋轉角速度(Ω_z)及旋轉角度。如此，質量塊111於X,Y兩軸上的動態可用下列方程式表示：

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + d_{xx}\dot{x} + d_{xy}\dot{y} + k_{xx}x + k_{xy}y &= u_x + 2m\Omega_z\dot{y} \\ m\ddot{y} + d_{xy}\dot{x} + d_{yy}\dot{y} + k_{xy}x + k_{yy}y &= u_y - 2m\Omega_z\dot{x} \end{aligned} \quad \text{式 1}$$

其中， m 為質量塊111的質量； d_{xx} 、 d_{yy} 為陀螺儀本體模組於x軸與y軸方向上的阻尼係數； k_{xx} 、 k_{yy} 為陀螺儀本體模組於x軸與y軸方向上的剛性係數； d_{xy} 為跨軸耦合(cross axis)的阻尼係數， k_{xy} 為跨軸耦合的剛性係數。

接著，經過處理，前述之式(1)可改寫為

$$\begin{aligned} \ddot{x} + (d_{xx}/m)\dot{x} + (d_{xy}/m)\dot{y} + (k_{xx}/m)x + (k_{xy}/m)y &= u_x/m + 2\Omega_z\dot{y} \\ \ddot{y} + (d_{xy}/m)\dot{x} + (d_{yy}/m)\dot{y} + (k_{xy}/m)x + (k_{yy}/m)y &= u_y/m - 2\Omega_z\dot{x} \end{aligned} \quad \text{式 2}$$

但是，由於本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組11之機械結構瑕疵的影響，上述之系統參數的數值皆可能與原先設計時的數值不同。因此，在本實施例中，陀螺儀本體模組11係具有8個系統參數，即 k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z (陀螺儀本體模組的角速度)及 m (陀螺儀本體模組之質量塊的質量)，且這8個系統參數的實際數值係屬未知，需由控制模組13一一估計出來。

為了運算出前述之8個系統參數，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組係藉由建立一狀態觀察器的方式，依據接受自感測模組12之陀螺儀本體模組11的一系統動態，分別估算出前述之8個系統參數的估計數值。而在本實施例中，陀螺儀本體模組11的系統動態係至少包含陀螺儀本體模組11之質量塊111的位置(x 、 y)及/或質量塊111的速度(\dot{x} 、 \dot{y})。

而為了建立前述之狀態觀察器，前述之動態方程式(式2)可改寫成：

$$\begin{aligned} \dot{X} &= f(X) + BU \\ Z &= HX + \bar{n} \end{aligned} \tag{式 3}$$

其中，

$$X = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y} \quad \Omega_z \quad k_{xx} \quad k_{yy} \quad k_{xy} \quad d_{xx} \quad d_{yy} \quad d_{xy} \quad m]$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & [0]_{2 \times 8} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \end{bmatrix}^T$$

$$U = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \quad \bar{n} = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \end{bmatrix}$$

$$f(X) = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ -(k_{xx}/m)x - (k_{xy}/m)y - (d_{xx}/m)\dot{x} - (d_{xy}/m)\dot{y} + 2\Omega_z \dot{y} \\ \dot{y} \\ -(k_{xy}/m)x - (k_{yy}/m)y - (d_{xy}/m)\dot{x} - (d_{yy}/m)\dot{y} - 2\Omega_z \dot{x} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{12 \times 1}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & [0]_{2 \times 8} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \end{bmatrix}$$

如此，本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組11的「系統動態」及「系統參數」均被整合在一動態系統中。在本實施例中，由於所有的系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的實際數值皆為固定數值，即它們不會隨著微機電陀螺儀的運作而有所變化，故前述之狀態觀察器可表示如下：

$$\begin{aligned} \dot{\hat{X}} &= f(\hat{X}) + BU + LH(X - \hat{X}) \\ \hat{Z} &= H\hat{X} \end{aligned} \quad \text{式 4}$$

其中， \hat{x} 代表系統狀態的估測值，L為觀察器增益。在本實施例中，觀察器增益L係藉由一里昂普諾夫法(Lyapunov method)得出。

如前所述，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組係應用一陀螺儀控制方法(如圖2所示)運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的一旋轉角度，而此陀螺儀控制方法的詳細應用步驟，則如下所述：

首先，控制模組13係輸出一包括一第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)的初始控制訊號(U_0)至陀螺儀本體模組11，而此初始訊號(U_0)可表示如下：

$$U_0 = \frac{1}{\hat{m}} \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} + \omega_x \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} + \omega_y \end{bmatrix} \quad \text{式 5}$$

其中，陀螺儀本體模組11經式5之控制訊號控制後具有一特徵頻率($\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\hat{m}}}$)，而前述之第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)均小於此特徵頻率。在本實施例中，第一外加頻率訊號(ω_x)係450 Hz的正弦函數訊號，第二外加頻率訊號(ω_y)則為500 Hz的正弦函數訊號。

其次，控制模組13依據接受自感測模組12之陀螺儀本體模組11的系統動態(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})，使用前述已建立之狀態觀察器，分別估算出前述之8個系統參數的估計數值。而且，這8個系統參數的估計數值與先前運算出初始控制訊

號(U_0)時所使用之8個系統參數的數值相比，至少有部分系統參數的數值不同。

接著，控制模組13再依據這些系統參數的估計數值運算出一第一補償控制訊號(U_1)，而此第一補償控制訊號(U_1)仍包括前述之第一外加頻率訊號(ω_x)及第二外加頻率訊號(ω_y)，且可表示如下：

$$U_1 = \frac{1}{\hat{m}} \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} + \omega_x \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} + \omega_y \end{bmatrix} \quad \text{式 6}$$

隨後，控制模組13輸出此第一補償控制訊號(U_1)至陀螺儀本體模組11，以驅動陀螺儀本體模組11。之後，控制模組13便依據再次接受自感測模組12之陀螺儀本體模組11的系統動態(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})，再次使用前述已建立之狀態觀察器，分別估算出前述之8個系統參數的另一估計數值。

接著，控制模組13再依據這些系統參數的另一估計數值運算出一第二補償控制訊號(U_2)，而此第二補償控制訊號(U_2)亦包括前述之第一外加頻率訊號(ω_x)及第二外加頻率訊號(ω_y)，且可表示如下：

$$U_2 = \frac{1}{\hat{m}} \begin{bmatrix} \hat{d}_{xx}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{xy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xx}\hat{x} + \hat{k}_{xy}\hat{y} - k\hat{x} + \omega_x \\ \hat{d}_{xy}\dot{\hat{x}} + \hat{d}_{yy}\dot{\hat{y}} + \hat{k}_{xy}\hat{x} + \hat{k}_{yy}\hat{y} - k\hat{y} + \omega_y \end{bmatrix} \quad \text{式 7}$$

此時，控制模組13將此第二補償控制訊號(U_2)與前述之第一補償控制訊號(U_1)互相比較。若兩者不同時，控制模組13便將此第二補償控制訊號(U_2)輸出至陀螺儀本體模組11，以驅動陀螺儀本體模組11。

接著，控制模組13再依據前述之程序，再次運算出一第三補償控制訊號(U_3)並將此第三補償控制訊號(U_3)與前述之第二補償控制訊號(U_2)互相比較。需注意的是，控制模組13將會持續執行相同的程序，即持續運算出不同的補償控制訊號(U_n)並將補償控制訊號(U_n)輸出至陀螺儀本體模組11，直到下一次所運算出的補償控制訊號(U_{n+1})中之估計數值與目前運算出的補償訊號(U_n)中之估計數值相同為止。

如圖4所示，其係顯示當本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組之系統動態之各參數(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})之估計數值的變化趨勢示意圖。其中，系統動態的各參數(x 、 y 及/或 \dot{x} 、 \dot{y})之估計數值均迅速地收斂至實際數值。此外，圖5則顯示本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。其中，這8個系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的估計數值均於0.3秒內收斂至實際數值。

而當此第二補償控制訊號(U_2)中之估計數值與前述之第一補償控制訊號(U_1)中之估計數值相同時，即當陀螺儀本體模組之系統動態之各參數的估計數值收斂至實際數值

時，且其8個系統參數的估計數值也收斂至實際數值時，控制模組13便依據運算出第二補償訊號(U_2)所依據之系統動態，依序應用一濾波器單元及一角度運算單元，運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

在本實施例中，前述之濾波器單元係為一帶通濾波器單元(Band-pass filter)，且其頻率響應係如圖6所示。從圖6中可看出，此帶通濾波器單元的通帶係介於2.5 kHz 及3.5 kHz之間，且前述之陀螺儀本體模組111的特徵頻率係位於此帶通濾波器單元之通帶(pass band)內，以便過濾(擷取)出頻率在此特徵頻率附近的訊號。此時，陀螺儀本體模組111的系統動態便可表示如下：

$$\begin{aligned}\bar{x} &= BPF(\hat{x}), & \bar{\dot{x}} &= BPF(\hat{\dot{x}}) \\ \bar{y} &= BPF(\hat{y}), & \bar{\dot{y}} &= BPF(\hat{\dot{y}})\end{aligned}\quad \text{式 8}$$

接著，控制模組13將這4個參數帶入前述之角度運算單元中，以運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度(ϕ)。在本實施例中，此角度運算單元可表示為：

$$\phi = \bar{\phi} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2(k \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} + \bar{\dot{x}} \cdot \bar{\dot{y}})}{k \cdot (\bar{x}^2 - \bar{y}^2) + (\bar{\dot{x}}^2 - \bar{\dot{y}}^2)} \right) \quad \text{式 9}$$

至於運算出之待測物的旋轉角度(ϕ)與待測物的實際旋轉角度之間的比較，則如圖7所示。從圖7中可看出，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組13所運算出之旋轉角度與實際旋轉角度相符，且角度運算結果對於實際角度變化的反應速度極快，不會有延遲反應(lag)的發生。

因此，本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組藉由應用圖2所示之陀螺儀控制方法的方式，不但可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，更無需經過複雜的積分程序，即能運算出本發明一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

在本發明另一實施例之微機電陀螺儀中，所有的系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的實際數值皆為未知，且其中某些系統參數非固定不變，即這些系統參數會隨著微機電陀螺儀的運作而有所變化。此外，由於本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法係與本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法相同，故此陀螺儀控制方法的詳細應用步驟在此便不再贅述。

但是，在本實施例中，第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)便不用如同前述之本發明一實施例之第一外加頻率訊號(ω_x)及一第二外加頻率訊號(ω_y)一樣，需被限定至小於陀螺儀本體模組的特徵頻率，它們僅需不同於此特徵頻率即可。而且，在本實施例中，第一外加頻率

訊號(ω_x)係450 Hz的正弦函數訊號，第二外加頻率訊號(ω_y)則為500 Hz的正弦函數訊號。

如圖8所示，其係顯示當本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。其中，在0.55秒後，角速度(Ω_z)由一開始的方波變化為正弦波，系統阻尼係數(d_{xx} 、 d_{yy} 及 d_{xy})因陀螺儀本體劣化而發生快速且大幅度的變化。但是，即便本發明另一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組發生此一變化，這8個系統參數(k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{xy} 、 d_{xx} 、 d_{yy} 、 d_{xy} 、 Ω_z 及 m)的估計數值仍可迅速地收斂至實際數值。

與本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組相同，第二補償控制訊號(U_2)中之估計數值與第一補償控制訊號(U_1)中之估計數值相同時，本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組便依據運算出第二補償訊號(U_2)所依據之系統動態，依序應用一濾波器單元及一角度運算單元，運算出本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

在本發明另一實施例中，控制模組係先應用角度運算單元，依據運算出第二補償訊號(U_2)時所依據之系統動態，運算出一旋轉角度的估計值($\hat{\phi}$)。而此角度運算單元可表示為：

$$\hat{\phi} = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2(k \cdot \hat{x} \cdot \hat{y} + \dot{\hat{x}} \cdot \dot{\hat{y}})}{k \cdot (\hat{x}^2 - \hat{y}^2) + (\dot{\hat{x}}^2 - \dot{\hat{y}}^2)} \right) \quad \text{式 10}$$

接著，再應用一低通濾波器單元(Low pass filter)過濾此旋轉角度的估計值($\hat{\phi}$)，以運算出本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度(ϕ)。所以，待測物的旋轉角度可表示為：

$$\phi = LPF(\hat{\phi}) \quad \text{式 11}$$

而如圖9所示，其係此低通濾波器單元(Low pass filter)的頻率響應示意圖，此低通濾波器單元的導通頻率係0.2 kHz，故本發明另一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組之角速度變化頻率的上限便為0.2 kHz。

至於本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之待測物的旋轉角度(ϕ)與待測物的實際旋轉角度之間的比較，則如圖10所示。從圖10中可看出，即使在0.55秒後，本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的角速度(Ω_z)由一開始的方波變化為正旋波，並且在0.45秒時，系統阻尼係數發生且大幅度的變化，本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之旋轉角度仍與實際旋轉角度大致相符，顯示本發明另一實施例之微機電陀螺儀可將誤差值控制在一可接受的範圍內(線上誤差補

償)，使得本發明另一實施例之微機電陀螺儀無需立即停機以執行額外的離線校正程序。

因此，本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組藉由應用圖2所示之陀螺儀控制方法的方式，不但可線上補償其感測電路瑕疵及其機械結構瑕疵所造成的誤差，更無需經過複雜的積分程序，即能運算出本發明另一實施例之微機電陀螺儀所依附之待測物的旋轉角度。

綜上所述，由於本發明之微機電陀螺儀之控制模組係應用一陀螺儀控制方法控制其陀螺儀本體模組，且運算出本發明之微機電陀螺儀所依附之待測物的一旋轉角度，且其控制模組依據此陀螺儀控制方法所輸出至其陀螺儀本體模組的控制訊號(如初始控制訊號、第一補償控制訊號、第二補償控制訊號及後續的補償控制訊號等)均包含一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號，而此第一外加頻率訊號的頻率及此第二外加頻率訊號的頻率均不同於其陀螺儀本體模組的一特徵頻率，故本發明之微機電陀螺儀可將其感測電路(感測模組)瑕疵及其機械結構(陀螺儀本體模組)瑕疵所造成的誤差線上(即時)補償掉，更使得本發明之微機電陀螺儀無需執行離線校正程序，也無需積分程序，便能運算出其所依附之待測物的旋轉角度。

上述實施例僅係為了方便說明而舉例而已，本發明所主張之權利範圍自應以申請專利範圍所述為準，而非僅限於上述實施例。

【圖式簡單說明】

圖1係本發明一實施例之微機電陀螺儀的示意圖。

圖2係本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法的流程示意圖。

圖3係本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組的示意圖。

圖4係顯示當本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組之系統動態之各參數之估計數值的變化趨勢示意圖。

圖5係顯示本發明一實施例之微機電陀螺儀之陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。

圖6係本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法所使用之帶通濾波器的頻率響應圖。

圖7係顯示本發明一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之旋轉角度與實際旋轉角度之間差異的示意圖。

圖8係顯示當本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組應用陀螺儀控制方法時，其陀螺儀本體模組所具之8個系統參數之估計數值的變化趨勢示意圖。

圖9係本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所應用之陀螺儀控制方法所使用之低通濾波器的頻率響應圖。

圖10係顯示本發明另一實施例之微機電陀螺儀之控制模組所運算出之旋轉角度與實際旋轉角度之間差異的示意圖。

【主要元件符號說明】

七、申請專利範圍：

1. 一種微機電陀螺儀，係配合一待測物並包括：

一陀螺儀本體模組，係具有複數個系統參數；

一感測模組，係與該陀螺儀本體模組耦合，以感測該陀螺儀本體模組之一系統動態；以及

一控制模組，係分別與該陀螺儀本體模組及該感測模組耦合，以接受該感測模組所感測出之該系統動態，且應用一陀螺儀控制方法控制該陀螺儀本體模組並運算出該微機電陀螺儀所依附之該待測物之一旋轉角度；

其中，該陀螺儀控制方法係包括下列步驟：

輸出一包括一第一外加頻率訊號及一第二外加頻率訊號的初始控制訊號至該陀螺儀本體模組，以驅動該陀螺儀本體模組；

依據接受之該系統動態分別估算出該等系統參數之估計數值，再依據該等系統參數分別具有之估計數值運算出一第一補償控制訊號，且該第一補償控制訊號包括該第一外加頻率訊號及該第二外加頻率訊號；

輸出該第一補償控制訊號至該陀螺儀本體模組；

依據再次接受之該系統動態分別估算出該等系統參數之另一估計數值，再依據該等系統參數分別具有之另一估計數值運算出一第二補償控制訊號，且該第二補償控制訊號包括該第一外加頻率訊號及該第二外加頻率訊號；以及

將該第二補償控制訊號與該第一補償控制訊號互相比較，且當該第二補償控制訊號中之估計數值與該第一補償

控制訊號中之估計數值相同時，依據當時之該系統動態，應用一濾波器單元及一角度運算單元運算出該待測物的該旋轉角度。

2. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該微機電陀螺儀係為一振動式微機電陀螺儀。

3. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該等系統參數係至少包含該陀螺儀本體模組之質量塊的質量、該陀螺儀本體模組的阻尼係數、該陀螺儀本體模組的剛性係數及該陀螺儀本體模組的角速度。

4. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該系統動態係至少包含該陀螺儀本體模組之質量塊的位置及該陀螺儀本體模組之質量塊的速度。

5. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該感測模組係為一可變電容式位移感測器。

6. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該控制模組係藉由建立一狀態觀察器的方式，依據該系統動態分別估算出該等系統參數之估計數值。

7. 如申請專利範圍第6項所述之微機電陀螺儀，其中該狀態觀察器係具有一觀察器增益，且該觀察器增益係藉由一里昂普諾夫法得出。

8. 如申請專利範圍第1項所述之微機電陀螺儀，其中該陀螺儀本體模組係具有一特徵頻率。

9. 如申請專利範圍第8項所述之微機電陀螺儀，其中該濾波器單元係一帶通濾波器單元，且該陀螺儀控制方法

係先應用該帶通濾波器單元過濾該陀螺儀本體模組於該第二補償控制訊號中之估計數值與該第一補償控制訊號中之估計數值相同時之該系統動態，再應用該角度運算單元，依據過濾後之該系統動態運算出該待測物的該旋轉角度。

10. 如申請專利範圍第9項所述之微機電陀螺儀，其中該第一外加頻率訊號的頻率及該第二外加頻率訊號的頻率均小於該特徵頻率，且該特徵頻率係位於該帶通濾波器單元之通帶內。

11. 如申請專利範圍第8項所述之微機電陀螺儀，其中該濾波器單元係一低通濾波器單元，且該陀螺儀控制方法係先應用該角度運算單元，依據該陀螺儀本體模組於該第二補償控制訊號中之估計數值與該第一補償控制訊號中之估計數值相同時之該系統動態運算出一旋轉角度的估計值，再應用該低通濾波器單元過濾該旋轉角度的估計值，以運算出該待測物的該旋轉角度。

12. 如申請專利範圍第11項所述之微機電陀螺儀，其中該第一外加頻率訊號的頻率及該第二外加頻率訊號的頻率均不同於該特徵頻率，且該低通濾波器單元的導通頻率係該陀螺儀本體模組之角速度變化頻率的上限。