

類別：工程與技術類

篇名：

陀螺儀的原理及應用

作者：

葉俊霆。國立桃園農工。生機科。三年乙班

呂睿紘。國立桃園農工。生機科。三年乙班

指導老師：

彭國勝老師

趙婉琇老師

壹●前言

一、研究動機

大多數人小時候都有玩過陀螺，但是對陀螺和現在常聽到的陀螺儀卻不甚了解；智慧型手機與許多 3C 產品裡頭都有使用陀螺儀，究竟陀螺儀到底是甚麼？它有甚麼功能？沒有它又會如何？傳統旋轉式的陀螺儀和現在放在手機裡的電子式陀螺儀又有什麼差別呢？因此，我們想知道以上關於陀螺儀的種種問題，探討後歸納出本篇小論文，使大家對陀螺儀有更進一步的認識。

二、研究目的

為了了解陀螺儀的原理，和為什麼手機和一些電子產品都要使用陀螺儀，又分類成哪幾種？原本的用途又是甚麼呢？它帶給我們的生活有什麼變化。

三、研究方法

藉由查詢圖書館相關書籍雜誌、網路資料、及利用學校資源，整合結果匯集成本論文。

四、正文大綱

- (一) 陀螺儀原理概述
- (二) 陀螺儀功能分類
- (三) 陀螺儀用途及應用實例
- (四) 陀螺儀感測數據分析

貳●正文

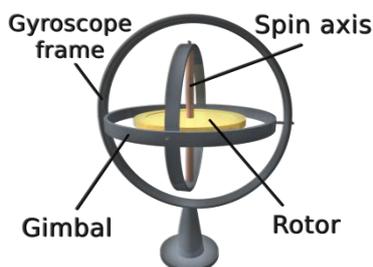
一、陀螺儀原理概述

陀螺儀又名角速度計，測量單位為（度／秒）的角速度，而傳統陀螺儀是用來測量角位移，以下對陀螺儀原理及特性整理。

(一) 陀螺儀原理

陀螺儀（如圖一）的基本原理就是，旋轉物體的旋轉軸所指的方向不受外力時，是不會改變的，基於這個原理，用它來保持方向；陀螺儀在使用時要給它一

個力，令它快速旋轉，然後運用多種方式感測軸所指的方向，並將數據傳回。



圖一：陀螺儀（註一）

（二）陀螺儀特性（註二）

陀螺儀廣泛用於航空和航海領域，是因為它的兩種特性，一種為**定軸性**（inertia or rigidity），另一種是**進動性**（precession），這兩樣特性都是建立在角動量守恆的原則下。

1、定軸性（註三）

當陀螺儀以高速旋轉時，且沒有其他外力矩作用在陀螺儀上，陀螺儀的自轉軸必會指向一個固定的方向，同時反抗任何改變陀螺儀軸向的力量，這種物理現象稱之為陀螺儀的定軸性或穩定性。

隨著轉動慣量或角速度的增加，使其穩定性更佳；轉動慣量通常以 I 表示，角速度通常以 ω 表示，動能公式 $K = \frac{1}{2} m v^2$ ，又 $v = r\omega$ 、 $I = mr^2$ ，得出 $K = \frac{1}{2} I\omega^2$ ，由以上公式我們可以得知轉動慣量與角速度的平方成反比，轉動慣量大的剛體所獲得的角速度小，反之，轉動慣量小的剛體所獲得的角速度大。

2、進動性（註四）

進動性是指自轉物體之自轉軸繞著另一軸旋轉的現象，又被稱為旋進，典型的例子為陀螺，當陀螺開始旋轉時，自轉軸與鉛直線重合（如圖二所示）；過一段時間後，由於摩擦損耗能量，此時會發現自轉軸偏離鉛直線（如圖三所示），且會沿著鉛直線旋轉，這就是所謂的「進動」現象。影響進動性大小的因素被分為以下三種：

- （1）外力愈大，進動性也愈大。
- （2）陀螺儀的轉動慣量愈大，進動性愈小。
- （3）陀螺儀的角速度愈大，進動性愈小。



圖二：穩定的陀螺（自行拍攝）



圖三：不穩的陀螺（自行拍攝）

二、陀螺儀功能分類（註五）

利用陀螺儀的動力學特性製成的各種儀表或裝置，從眾多裝置中列舉出以下四種：

表一：陀螺儀的功能分類（自行整理）

名稱	功能敘述	圖片
陀螺羅盤	常使用在航行或飛行物體作方向基準用的三自由度陀螺儀，外環軸鉛直，轉子軸與子午面平行，且正端指向北，重心沿著鉛垂軸偏離支撐中心；轉子軸偏離子午面時產生的重力矩使陀螺旋進到子午面，這種利用重力矩的陀螺羅盤又稱為稱擺式羅盤。近代發展出的電控陀螺羅盤就是利用自動控制系統來替代重力擺，使用起來方便了不少。	 <p>圖四：陀螺羅盤（註六）</p>
速率陀螺儀	速率陀螺儀可以直接測量運載器角速率的二自由度陀螺儀，把外環固定在運載器上並使內環軸垂直於要量測角速率的軸；當外環繞量測軸旋進時，陀螺會產生力矩迫使內環與轉子一起相對外環旋進，再利用彈簧限制這個相對旋進，使內環的旋進角和彈簧的變形量成正比關係，所以由平衡時的內環旋進角即可知道陀螺力矩與運載器的角速率。這種陀螺儀在遠距離測量或自動控制中使用較多。	 <p>圖五：速率陀螺儀（註七）</p>

<p>光纖 陀螺儀</p>	<p>光纖陀螺儀是以光纖線圈為基礎的感測元件，由雷射二極管所發射出兩個方向的光線並沿著光纖傳播，光線傳播路徑的變化，決定了感測元件的角位移；光纖陀螺儀的優點是全固態、不須旋轉且無摩擦、壽命長、精度高、啟動快、尺寸小、重量輕、使用時只需要低電壓即可運作。</p>	 <p>圖六：光纖陀螺儀（註八）</p>
<p>MEMS 陀螺儀</p>	<p>MEMS 是微機電系統的縮寫，這種微機電陀螺儀價格比光纖陀螺儀更便宜，但精度較差，如要使 MEMS 陀螺儀提高精度，必須參考感測器數值進行補償；MEMS 技術的陀螺儀因成本低，能夠大量生產，已經能廣泛用於各項領域，例如 IPHONE 的三軸陀螺儀技術。</p>	 <p>圖七：MEMS 陀螺儀（自行拍攝）</p>

三、陀螺儀用途及應用實例（註九）

依據前段所敘述的，人們利用陀螺儀的原理和特性，運用在各種不同的領域當中，並且貼近我們的生活，以下將敘述陀螺儀的用途與應用實例。

（一）陀螺儀用途

1、陀螺儀用來感測準確的各種信號

陀螺儀最早是被用在航海和航空領域，作為導航與定位之用，但隨着科技的進步與技術的發展，陀螺儀不只可以作為指示儀表，也是自動控制系統中的一種信號感測器，依據使用需求的不同，陀螺儀能感測準確的方位、水平、位置、速度和加速度等信號，獲取這些信號能使駕駛員與自動導航系統來控制飛機、船艦按照預定的航線行動；而也可以直接利用這些信號在導彈、衛星或火箭等航行體的姿態控制及軌道控制上。

2、陀螺儀作為穩定器，增加各種設施的穩定性

作為穩定器，陀螺儀能讓列車在單軌鐵道上行駛而不會傾倒，能降低船舶在風浪中的搖晃程度，能使衛星上的相機對地面穩定等等；作為精密測量儀器，陀螺儀能夠提供一個指向地心的方向，為建造地面設施、礦山隧道、石油鑽探以及

導彈發射井等準確的方位基準；由上述可見，陀螺儀的應用層面是相當廣泛的，在航空、航海、武器、汽車、環境監控及智慧型手機等領域都可以看到它的蹤跡，可以說和我們的生活息息相關。

（二）陀螺儀應用實例

1、隧道中心線測量

在挖掘隧道工程中，隧道坑裡的中心線一般採用低精確度的長距離導線來測量，特別是使用**全斷面隧道鑽掘機（TBM）**挖掘的情況，從立坑的短基準中心線出發必須要有很高的測角精度，需要頻繁的檢查測量的精確度，尤其是在密集的城市地區，無法進行過多的檢測作業，如果使用陀螺經緯儀就可以得到高精度的基準，並且可以降低成本（檢查點最少），是一種高效率量測中心線的方法。

2、通視障礙時的方向角取得

當有通視障礙且無法從已知點取得方向角時，可以採用天文測量或陀螺經緯儀測量方向角，如果使用天文測量需要複雜的天文計算，且受限於天氣、雲的多寡等因素阻礙；使用陀螺經緯儀測量就不會受限於上述因素，也就可以節省更多時間，測量變得更方便，使用上也變得更加容易。

3、智慧型手機應用

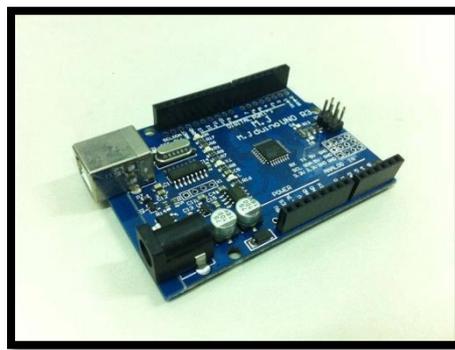
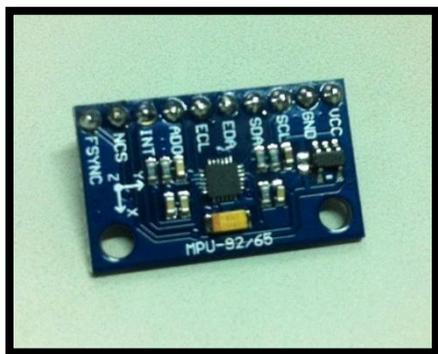
2010年起，蘋果公司將三軸電子式陀螺儀內建到 iPhone4，可當作各類遊戲的感測器，讓手機的操控更加多元，例如飛行遊戲、體育遊戲與射擊遊戲，透過陀螺儀監測玩家手的位移，從而實現各種遊戲操作效果；也可以用於輸入設備，通過傾斜、偏轉手機，從而達到選擇目錄和執行操作；現今智慧型手機內建電子陀螺儀幾乎成為基本配備。

4、防手震相機（註十）

防手震相機的原理是利用高性能陀螺儀感測器，以及使用 IC 控制及處理相機晃動信號，透過陀螺式感測器偵測相機的晃動方向及大小，再調整鏡片讓影像保持穩定、清晰而不模糊，因為直接由光學層面上校正，所以可保持最佳的影像品質，讓使用者能夠輕易地捕捉動人一刻。

四、陀螺儀感測數據分析

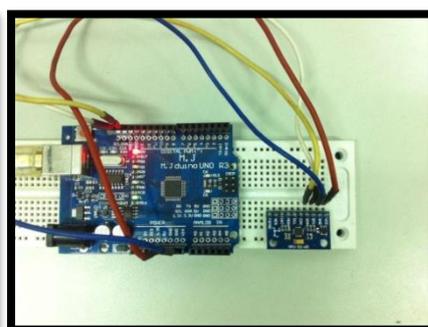
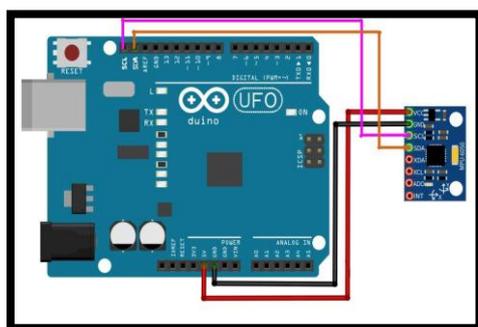
我們實際使用陀螺儀感測器（如圖八），並利用 Arduino 板子（如圖九）、麵包板配合單心線，將感測器組裝在一起；觀察它所傳回之數據，並繪製成圖表，使大家更容易理解數據代表的內容。



圖八：陀螺儀感測器（自行拍攝） 圖九：Arduino 板子（自行拍攝）

（一）組裝與接線（註十一）

本次實驗接線部分並不會很複雜，只需要接上四條電線即可，腳位 VCC 接上 5 伏特之電源，腳位 GND、SCL、SDA 依序接上 Arduino 上的同名腳位，如圖十所示；實際把元件與麵包板組合如圖十一所示。

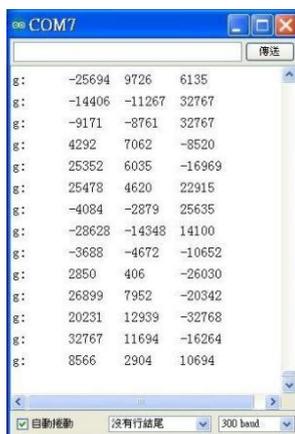


圖十：接線圖（自行修編繪製） 圖十一：組裝完成機構（自行拍攝）

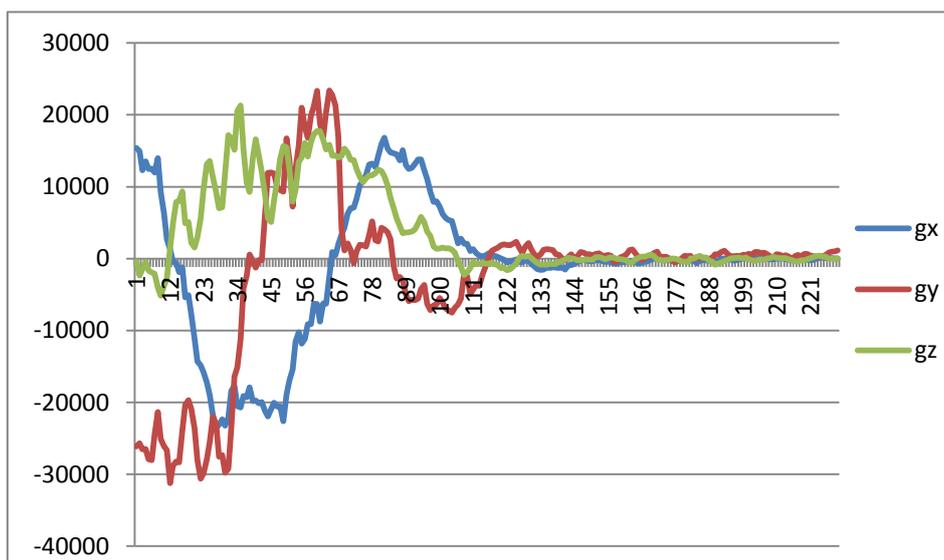
（二）陀螺儀數據處理（註十二）

將可以驅動陀螺儀感測器的程式碼燒進 Arduino 板子中（因本次實驗重點不在此程式，就不在這裡做多餘的論述），開啟 **serial monitor**（**串行監控**）模式，即時監控感測器所傳回之數據（如圖十二），監控視窗中開始快速的跑出大量數據，仔細觀察後會發現數據密密麻麻而且震幅很大，沒辦法直接觀察出其規律性；此

時利用 Microsoft Office Excel 開啟那些大量數據，並轉換成折線圖把數據用圖表的方式呈現出來（如圖十三）。



圖十二：串行監控視窗（自行拍攝）



圖十三：陀螺儀數據折線圖（自行繪製）

（三）實驗結論

表二橫軸所表示的是資料數目，縱軸所表示的是角速度，三線代表顏色分別為 x 軸（藍線）、y 軸（紅線）、z 軸（綠線）；把此表格拆成前後兩段，可以明顯的看到前半段數據振幅相當劇烈，代表角速度不斷的在改變，這是劇烈搖晃感測器所得到的成果；後半段就相當平穩，代表沒有角速度的發生，不管是靜止或是直線運動都可以達到這個成果。

本次實驗所使用的陀螺儀是屬於 MEMS 陀螺儀的一種，由於使用了表格使數據更容易觀察，可以發現縱軸是以一萬來間隔，所以看似平穩的數據曲線，其

實誤差也不小，如果真的要實際運用，就必須再把數據做一些處理，例如像表二一樣擴大取樣範圍、取過去時間的平均或是利用高斯定律等，不過這些方法也不是十全十美的，這是做為一個產品的設計者必須要克服的問題。

參●結論

前半段敘述了陀螺儀的定軸性和進動性，人們也很厲害的運用了這兩種特性發展出各式各樣的陀螺儀裝置，從 200 多年前運用在航海上的慣性導航系統，到近代發展出的微機電陀螺儀，都讓人類的文明前進了一大步；後半段舉出了陀螺儀裝置應用在生活周遭的各項實例，陀螺儀可以作為感測器、穩定器、量測儀器等裝置來使用，運用例子從到衛星、火箭，小到手機、相機，已經和我們的生活有著密不可分的關係；聽起來如此方便的陀螺儀，實際使用過後，發現不如所想的容易使用，還必須動點腦筋、結合數學，才能夠靈活的運用它。

用於感測角速度的三軸陀螺儀也常與三軸加速度計、三軸磁場感測器整合為九軸姿態感測器，主要應用在遊戲、虛擬實境、MMI(人機介面)、GPS 導航系統及機械人等各項領域當中；現在的陀螺儀發展越來越迅速，傳統導航用的陀螺儀跟光纖陀螺儀或 MEMS 陀螺儀構造已經相差甚遠，現在陀螺儀朝著緊湊結構、高靈敏度、小體積、工作可靠與低成本等等，都是現代陀螺儀的重要的發展方向。

在開始製作本小論文之前，我們對陀螺儀的認知就是一個利用真正的陀螺轉子的感測儀器，經過了本次資料的蒐集和觀察，才發現那已經是幾百年前就已經在使用的裝置了，現在的電子式陀螺儀中並沒有一個會旋轉的小陀螺，而是利用科氏力的原理而達成的；影響定軸性和進動性這兩項物理特性的因素在學校力學課時就有教過，其實學校所教的知識都只是一些基礎，累積這些基礎的知識，並不斷的學習、研究、整合，也許又會有一種新的裝置誕生在你我的手中呢！

肆●引註資料

註一：陀螺儀-維基百科。擷取日期：2015 年 11 月 1 日。取自：
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%99%80%E8%9E%BA%E5%84%80>

註二：同註一

註三：李榮華（2015）。**機械力學 II**。臺北市：龍騰

註四：黃智賢（2014）搞定陀螺儀——從傳統到現代。**物理雙月刊**，36(3)228-235。

註五：陀螺儀-台灣 Wiki。擷取日期：2015 年 11 月 1 日。取自：
<http://www.twwiki.com/wiki/%E9%99%80%E8%9E%BA%E5%84%80>

註六：陀螺羅盤。擷取日期，2015 年 11 月 1 日。取自：
<http://www.canstockphoto.hk/images-photos/%E9%99%80%E8%9E%BA%E7%BE%85%E7%9B%A4.html>

註七：速率陀螺儀。擷取日期，2015 年 11 月 1 日。取自：
<http://www.procal-tech.com/procal/Product.aspx?Hcrus=BySubCategories&ProductId=1479>

註八：光纖陀螺儀。擷取日期，2015 年 11 月 1 日。取自：
<http://hangtian3.cn.chemnet.com/show/pdetail--1669284.html>

註九：陀螺儀-百度百科。擷取日期，2015 年 11 月 1 日。取自：
<http://baike.baidu.com/subview/58048/11146619.htm>

註十：黃青嵐譯（2006）。防手震相機。科學人雜誌，NO.57

註十一：施士文（2015）。Arduino 微電腦應用實習。新北市：台科大

註十二：孫駿榮、吳明展、盧聰勇（2011）。Arduino 一試就上手。台北市：碁峯