

# 2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 190016  
參展科別 電腦科學與資訊工程  
作品名稱 第五代行動通訊中基地台毫米波天線精確的方位角量測

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 歐陽明、黃芳蘭

作者姓名 張紹昀、胡家瑜

關鍵詞 第五代行動通訊、方位角、基地台

## 作者簡介



我是張紹昀(左)，就讀北一女中高中三年級，高中時在程式設計課程中，慢慢累積程式基礎，並在偶然間接觸了和第五代行動通訊先關的知識，我的夥伴和我對此都很有興趣，並決定深入研究，此間雖然遇到了許多困難，但我們經過共同的努力，以及身邊父母、朋友、老師、教授無盡的支持，終使我們得到成果，感謝陪伴我的人，讓我享受追逐知識的樂趣！

我是胡家瑜(右)，就讀北一女中高三，從高一開始才接觸程式設計，從零到現在這樣的成果一路上收穫滿滿，也接受了非常多人的幫助，始終感恩在心，今天能走到這一步是意外也是幸運，希望這三年努力做出的作品帶給我的不只是知識更是與身邊夥伴一同努力得到的情誼，更在做科學研究上得到經驗。

## 摘要

第五代行動通訊（5th generation mobile networks）是現今科技發展的趨勢，新技術的出現也衍生出很多新的問題，在基地台點對點傳輸時，需要精確角度的天線才足以準確地接收高頻波短的毫米波，雖然現今已經有精密儀器能測量精確的方位角，但價格較高且使用方法複雜，面對數量龐大的 5G 基地台時，維修成本過高。本研究利用手機拍照得到天線與目標物相對角度，結合預先得知目標物的方位角，再經過數學運算即可得到精確的天線指向。本研究希望以隨手可得的手機，配合簡單的方法，可得到精確的天線指向，解決第五代行動通訊可能面臨的問題。

## Abstract

The 5th generation mobile networks are the trend of today's technology development. The emergence of new technologies also brings some new problems. In order to receive the millimeter wave from other Base station, it will need the antenna of precise bearing angle. Though there are precision instrument to measure antenna bearing angle, its price is high and it needs complicated operation. When it comes to the large number of 5th generation mobile networks cell site, the maintenance costs are too high. This research got the relative angle of target object and antenna by using cellphone to take a picture, and combined the relative angle with the azimuth of the object. Then, the precise antenna direction can be obtained by mathematical operation. This research hope to use cellphone and simple operation method to get the precise bearing angle of the antenna, and can solve the problem derive from 5th generation mobile network

# 壹、前言

## 一、研究動機

在我們現在日常生活所使用的第四代行動通訊中，電磁波載波頻率為 2.6GHz，由於要提高資料的傳量，第五代行動通訊在台灣所開放的電磁波載波頻率約為 28GHz 和 3.5GHz。第五代行動通訊是現今科技的趨勢，我們有位認識的長輩即是在此行業當中，追求較高的傳輸頻率，使波長相對變短，因此在基地台之間點對點的傳輸中，對於天線方向角度的精準度要求則更高。這位長輩發現了此問題，並告知我們，我們便希望能找出一個取得方位角的方式。以得到比指南針、手機羅盤精確的方位角，而過程又能較高精密的土木工程儀器更加方便，價格低廉。手機是現在生活中平凡且易取得的工具，因此我們採用手機照相的方式，配合影像處理及基本數學計算來得到照片中天線的方位角

## 二、相關研究探討

### 1、第五代行動通訊

隨著科技快速的發展，人們追求更高速度、更低延遲、更低功耗的網路。第五代行動通訊即因應而生。邱昱瀚（民 108）等人研究指出其主要運用到的幾項新技術如下：

(一) 毫米波 (Millimeter-wave, mmv) : 指波長在毫米數量級的電磁波，主要是運用在 28GHz，相較於 4G 微波通訊 (Microwave,  $\mu\text{m}$ ) 擁有更大的頻寬，且最



大頻寬可達到 1GHz。

圖 1、5G 毫米波示意圖

(一) 微基站 (Small cell Base Station) : 由於毫米波的波長短，頻率高，電磁波的繞射能力變弱，導致其主要問題為高穿透損耗 (Penetration Loss)，因此需使

用多個 5G 微基站來達到和一個 4G 基地台相同的覆蓋面積。

圖 2、微基站示意圖

由以上兩點可得知，毫米波通訊有著較高的路徑損失 (Path-Loss)，為了解決此問題，毫米波通訊在小空間放置大量天線元件，以形成窄波束，又可稱為筆型波 (Pencil Beam)，網路的密集化可提高微基站 (sBs) 使用直視波進行傳輸



(line of sight propagation, LOS) 的機會，且具有高度的方向性，借助此種方向性，毫米波頻帶所建立的鏈路範圍可達約 200 公尺。

然而因具有高度的方向性，使得原本 6GHz 以下低頻段所使用的全方位天線 (Isotropic Antenna)，須變為指向性天線 (Directional Antenna)，在基地台之間點對點的傳輸時，便會要求精確的方位角，才足以準確地接受訊號。

圖 3、電磁波原理

## 2、 羅盤種類及特性

$$C = v * \lambda$$

C = 光速， v = 頻率(Hz) λ = 波長 (nm)

固定為 $3*10^8$  m/s

吳宗憲等人論文指出，日常生活中我們常使用到的指南針發展於中國古代，是用地球磁場和磁鐵的特性來製作而成的，手機中的電子羅盤 (E-Compass)，又

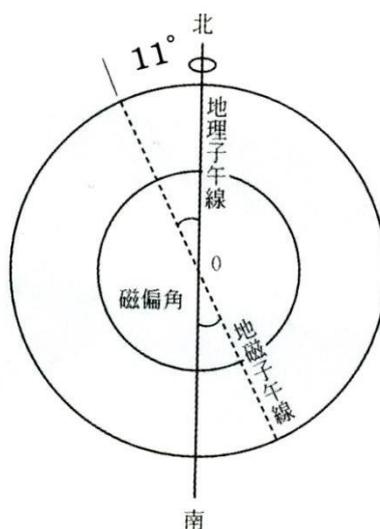
稱數位羅盤、數位指南針，製作原理有基於霍爾效應（Hall Effect）與基於通量閘（Fluxgate）兩種：

（一） 基於霍爾效應的電子羅盤：是指當恆定的電流通過在磁場內的一個導體時，導體內的電荷載子受到勞倫磁力而朝導體兩側聚集，產生電場與電壓（霍爾電壓）的現象。電子羅盤輸出數位訊號以判定裝載裝置之朝向，藉由測定電流經過磁場的電壓變化量，來感應地球地磁北極，進而判定裝置朝向。基於通量閘的電子羅盤：通量閘為由磁芯及拾波線圈、激發線圈組成，是一個向量式磁強計，當磁場經由磁芯影響拾波線圈時，會造成磁通量的變化，進而形成感應電壓，是主要的磁探測方式。

雖然製作原理不盡相同，但兩者都有著利用地磁的共通點。地球磁場雖極為接近地理南北極，但其實有著  $11^\circ$  的磁偏角（國中教科書），所以手機的電子羅盤以及指南針在影響之下都至少有  $1^\circ$  以上的誤差，也因此古代航海時，不能只倚靠指南針來判定方位，還得利用觀星等方法。此外，即使地磁誤差在短距離時方位會接近準確，但當兩個 5G 基地台的天線需要校正時，因為距離較遠便會產生極大的偏差，甚至可能造成通訊的延遲。

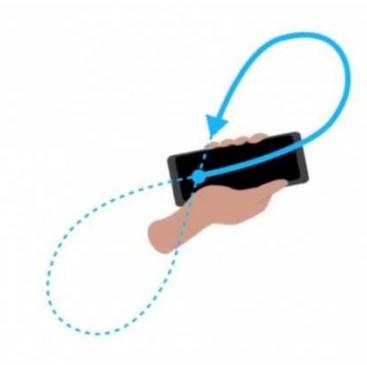
圖 4、地球磁偏角示意圖

且兩種羅盤都容易受到外界干擾，像是固定磁性強度的磁性物體，如磁鐵及具有磁鐵的電子產品，或是使用中會產生磁性的電子產品或磁性環境，都會影



響羅盤的準確度。

電子羅盤可透過干擾校正去計算修正偏差，例如要求使用者將裝置以八字形重複畫圈，讓電子羅盤偵測到最大量與最小量的磁量值，藉此計算後進行校準，但仍十分不便且仍存在誤差。



置放角度也可能造成方向資訊偏差，因為電子羅盤會隨著傾斜角度增加而增大方向角的誤差；因此電子羅盤區分為平面電子羅盤與三軸電子羅盤兩種類型。平面電子羅盤必須確保裝置水平，否則方向資訊容易產生誤差，但其價格較為便宜。三軸電子羅盤則可偵測傾斜角度，並進行傾斜角度的補償的計算。

圖 5、干擾校正示意圖

### 三、 研究目的

設計一個程式利用影像處理及數學計算得到天線精準的方位角。

## 貳、研究方法

### 一、研究設備及器材

#### (1) 硬體

1. 筆記型電腦 (CPU : Intel Core i7-7700HQ ; GPU : GeForce GTX 1060)
2. 手機 (4608\*3456 pixels)
3. 手機 (750\*1334 pixels)
4. 手機指南針 (iPhone 內建指南針 ; 版本 : iOS 13)

#### (2) 軟體

1. Python 3.7 (程式語言)
2. Windows 10 版本 1903 (作業系統)
3. 相關套件 : Pillow (PIL) 、 Matplotlib

### 1、研究流程

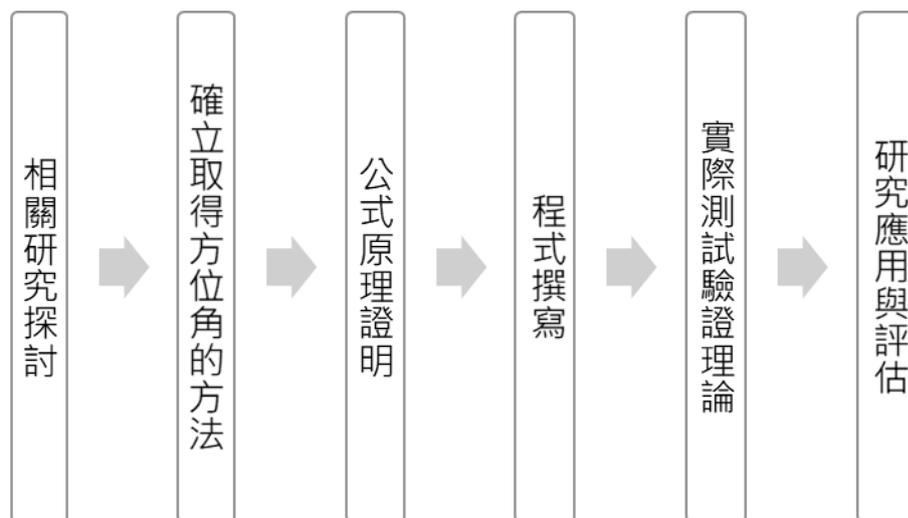


圖 6、實驗流程圖

### 2、研究方法

- (1) 利用相機成像原理

$$\frac{H}{S} = \frac{H'}{S'}$$

$H$  : 物體實際長度  
 $S$  : 相機和物體的距離  
 $H'$  : 物體在照片上的長度  
 $S'$  : 相機底片位置

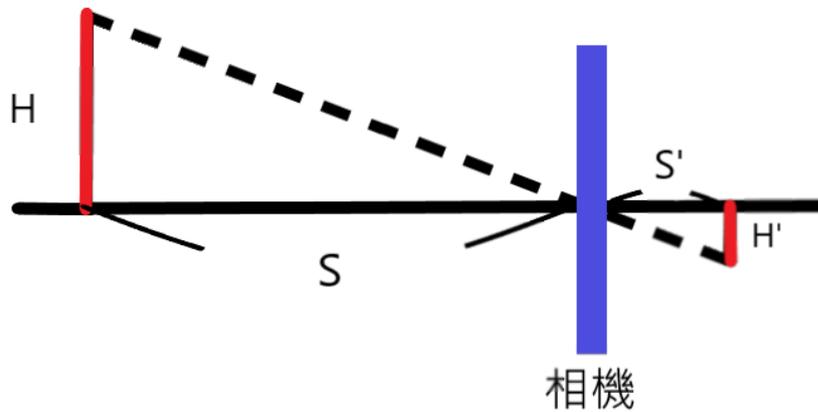


圖 7、相機成像原理

(2) 研究方法論證

1. 實際示意圖

(1) 藍色虛線部分為實際距離

(2) X 值為目標物(target)與所在地的水平距離

(3) Y 值為天線到目標物的實際距離

(4) 藉由 x,y 值可計算出  $\tan \theta$  值，並查表得到角度

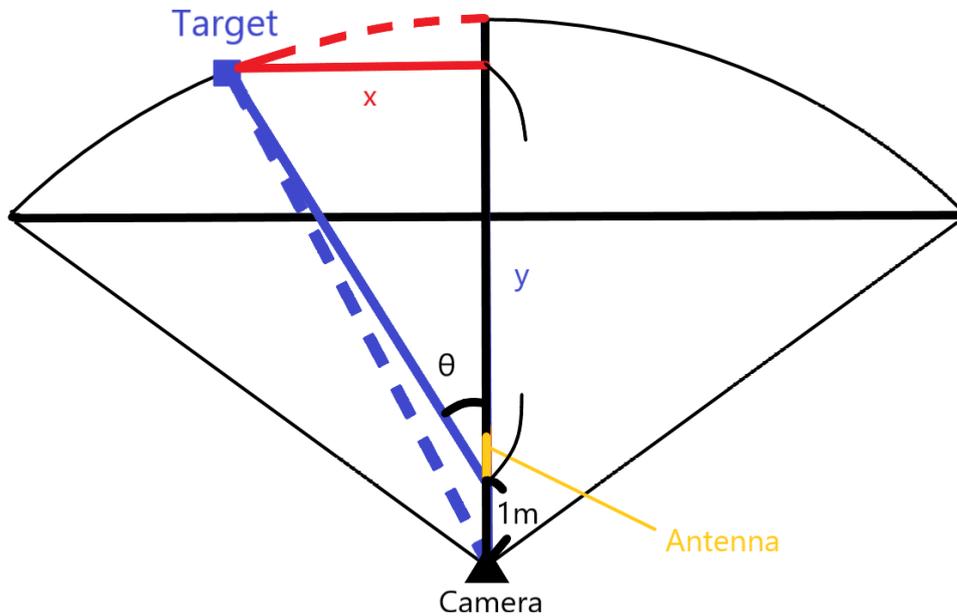


圖 8、俯視示意圖

(3) 實驗內容

1. 前置處理

- (1) 架設一個距離手機前一公尺的已知長度  $n$  之基準物後拍攝照片
- (2) 點擊基準物兩端在圖片上的位置
- (3) 讀取點擊座標，得出像素相差值  $m$
- (4) 得到當標的物距離相機一公尺時，實際距離與相片上像素相差值之比值

$$\frac{n}{m} = \frac{n}{m} = \frac{n}{m}$$

2. 將手機固定在天線（Antenna）正後方一公尺後拍攝照片

3. 取得目標物（Target）在圖片上和天線在圖片上橫軸所相差的像素值  $d$

(1)  $\frac{n}{m} \times d \frac{n}{m} \times d \frac{n}{m} \times d \frac{n}{m} \times d$  即可得到實際距離  $x$

(2) 由 Google Maps 得知所在地和目標物的距離，將距離減去相機和天線的距離  $n$  公尺即為示意圖上之  $y$

(3) 由  $\frac{x}{y}$  即可得到所求天線指向與目標物所夾角度  $\theta$  的  $\tan$  值

(4) 對照三角函數表，即可得到  $\theta$  之值



圖 9、實驗示意圖

(4) 結論

找出新的方法取得方位角並進行實驗以驗證理論的正確性。

## 參、研究結果與討論

1、 做出我們研究與指南針、手機羅盤的比較，角度皆由正北方為  $0^\circ$  向東偏，實驗包括天線指向與目標物夾較大角度和較小角度。

	指南針	手機羅盤	本實驗計算角度
地點一	$2^\circ$	$10^\circ$	$9.6^\circ$
地點二	$334^\circ$	$346^\circ$	$338^\circ$
地點三	$318^\circ$	$328^\circ$	$320.5^\circ$
地點四	$5^\circ$	$1^\circ$	$4.5^\circ$

由表中四個不同地點的實驗可知，經過多次測試本實驗在角度計算上和一般指南針接近，而手機羅盤則與另兩者有較大的角度誤差，可能是因為置放角度和搖晃，指南針和手機羅盤的角度皆會隨手持或是附近磁場干擾而有不固定的問題，本研究角度的計算是利用靜態的照片而不會產生此問題。

2、 證明得出角度為標準答案（Ground truth）：

(1) 方法：

1. 將天線指向一棟已知方位角的建築物，則天線方位角即為已知。
2. 利用本實驗算出天線的方位角。
3. 比較兩個角度，若兩角度誤差小於  $1^\circ$ ，則可知實驗方法正確。

(2) 實作：

1. 選定一棟建築物，本實驗選擇新光三越站前店，且此建築物離我們選定標的物（台北 101 大樓）間隔  $27^\circ$ 。
2. 利用光直進原理，直接將天線對準選定之目標物
3. 經過程式運算，得出角度為  $27.5^\circ$ 。
4. 指南針指出之角度為  $30^\circ$ ，而手機羅盤顯示之角度為  $25^\circ$ 。

(3) 結論：

1. 誤差的確小於  $1^\circ$ ，可證明本研究正確。
2. 本研究所計算誤差也的確比手機羅盤及指南針小。

## 肆、結論與應用

- 1、 在嘗試過錯誤的方法後我們轉換方法，成功寫出完整的程式計算天線角度。
- 2、 利用已知方位角的建築物驗證我們研究之正確性。
- 3、 經過和指南針及手機羅盤比較的實驗，可知利用地磁的指南針易受周遭環境干擾，角度不固定，較易有誤差。
- 4、 我們所使用的量測方式因為是藉由影像處理、相機成像、數學計算和距離所計算，也由理論證明所得結果的確比其他兩種羅盤更為精準。

## 伍、參考文獻

- [1] Zong-Sian Wu. Augmented Reality Game Design of Mobile Devices Using a Three-axis Accelerometer And an Electronic compass, 2013.
- [2] 邱昱瀚. Designs of algorithms for client association and resource allocation in mmWave 5G networks, 2019.
- [3] Li-Yan Rao. Research of 8 Loop MIMO Antenna System for 5G Application, 2018.
- [4] <https://blog.csdn.net/songzitea/article/details/17304925>
- [5] <http://www.isu.edu.tw/upload/80205/21/5G%20-03.pdf>
- [6] KKDAI.Github, Opportunity about new 5G Radio Briadband , Retrieved from <http://www.evanlin.com/page21/>
- [7] 5G 資訊網, 2019 Retrieved from <http://www.u9h.com/news/1256.html>
- [8] Super HSP, mobile01, 2017 Retrieved from <https://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=566&t=5195758&p=2>
- [10]地理教室無國界,2013 Retrieved from [http://lovegeo.blogspot.com/2019/09/12\\_3.html](http://lovegeo.blogspot.com/2019/09/12_3.html)

## 【評語】 190016

本作品探討 5G 指向性天線的方向角量測問題，並巧妙使用手機的感測能力，提升方向角量測的準確度。本作品在研究方法與步驟上，展現嚴謹的良好科學方法，若能在研究成果的驗證中，考量更多的外在變因，同時進一步與研究發想主題有更貼切的相互呼應，將能更加提升本作品的貢獻，也能讓本作品的呈現更為完整。