

教育部5G行動寬頻人才培育計畫 5G天線與射頻技術聯盟中心

行動終端多天線設計課程推廣模組

廖文照

國立台灣科技大學
電機工程學系

TAIWAN TECH
National Taiwan University of Science and Technology

1



教育部5G行動寬頻人才培育計畫
5G天線與射頻技術聯盟中心

Outline

- 單元一:天線輻射原理、重要參數與微型化技術
- 單元二:電磁數值方法與天線模擬技術
- 單元三:行動裝置小型化天線
- 單元四:行動終端多天線設計與解耦合技術
- 單元五:天線製作與基礎量測方法

TAIWAN TECH
National Taiwan University of Science and Technology

2

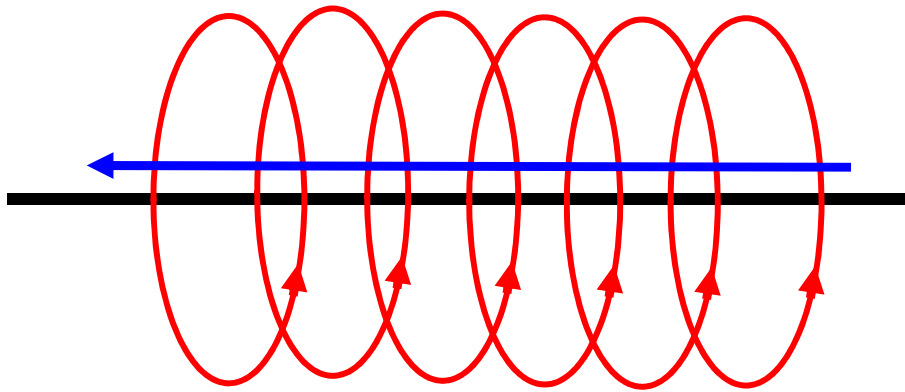


教育部5G行動寬頻人才培育計畫
5G天線與射頻技術聯盟中心

天線的輻射

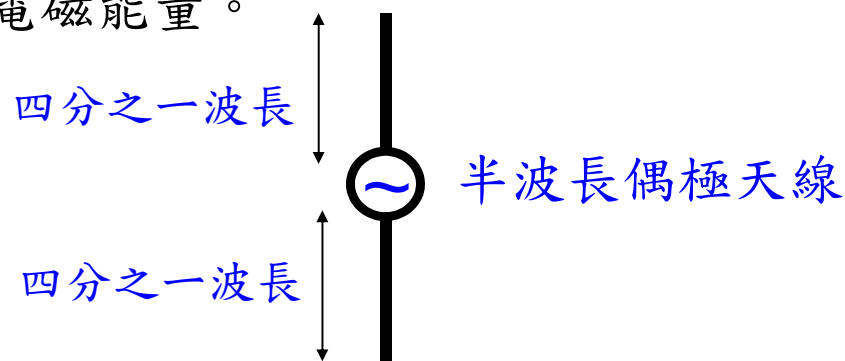
Everything Radiates, But Most Things Cancel!

- 安培右手定則告訴我們，電流可產生磁場



天線的輻射

- 為了讓天線有效率的轉換電流成電磁波，天線的尺寸必須與操作頻率的波長相當或稍大。
- 相較之下，電流在電路板上的傳輸迴路，除了極高頻的諧振外，對於基頻頻率的波長而言是非常小的。
- 因此當電路長度較波長小得許多時，便無法有效的輻射或接收電磁能量。



A3 天線的相關重要參數圖

天線物理參數

- 大小
- 重量

天線電路參數

- 天線電阻, Z_A
- 輻射電阻, R_r
- 天線溫度, T_A

電流
分布

天線輻射相關參數

- 場形
- 極化, LP CP EP
- 功率場形, PN
- 波瓣區域, Ω_A
- 指向性, D
- 增益, G
- 有效孔徑, A_e
- 雷達截面, σ



基本天線特性－指向性、增益、效率

指向性

$$D(\theta, \phi) = \frac{P_{rad}(\theta, \phi)}{\frac{P_{rad, total}}{4\pi}} = \frac{|f(\theta, \phi)|^2}{\frac{1}{4\pi} \iint |f(\theta, \phi)|^2 d\Omega}$$

增益

$$G(\theta, \phi) = \frac{P_{rad}(\theta, \phi)}{\frac{P_{in}}{4\pi}}$$

效率

$$e = \frac{G}{D} = \frac{P_{rad, total}}{P_{in}}$$



Outline

- 單元一:天線輻射原理、重要參數與微型化技術
- 單元二:電磁數值方法與天線模擬技術
- 單元三:行動裝置小型化天線
- 單元四:行動終端多天線設計與解耦合技術
- 單元五:天線製作與基礎量測方法

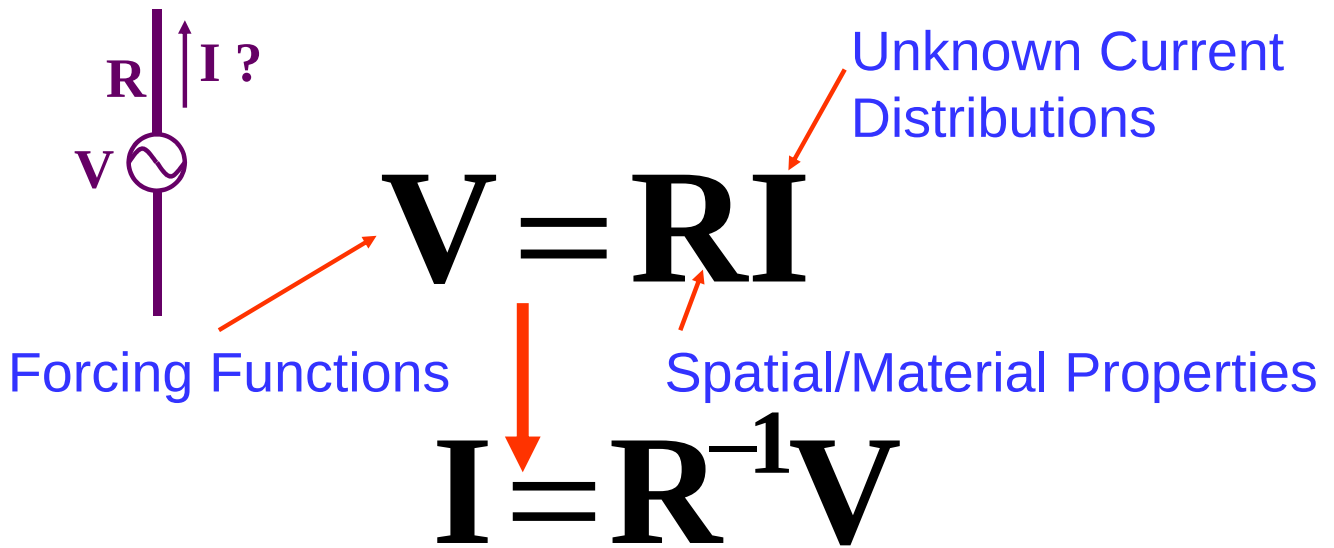


何謂電磁數值模擬

- Given **known forcing function** (sources), **boundary conditions** and **problem geometry**, we can apply EM relationships to **solve desired properties numerically** (or analytically if the problem is not too complicated).
- 在給定一已知外力作用(訊號源)、邊界條件和幾何形狀，我們可以應用數值方法和電磁關係式解出欲求的特性。(若問題的幾何結構不是太複雜，也可以用分析方法求解)



數值方法求解原則



Assume the inverse of R exists

數值模擬方法程序

1. Define your problem geometry 設定幾何條件
2. Define EM properties of your structure 設定電磁特性
3. Define forcing function/boundary conditions of your problem 給訂邊界條件
4. Define problem solving parameters (cell size, # of iteration, convergence conditions...) 設定求解參數
5. Apply the solver 使用電磁方法求解
6. Find desired properties (gain, patterns...) using solved current distribution via integration 分析結果

Outline

- 單元一:天線輻射原理、重要參數與微型化技術
- 單元二:電磁數值方法與天線模擬技術
- **單元三:行動裝置小型化天線**
- 單元四:行動終端多天線設計與解耦合技術
- 單元五:天線製作與基礎量測方法



行動通訊的天線發展趨勢

- 行動通訊裝置的天線設計挑戰
 - 微型化→為裝置美觀
 - 隱形化→為裝置美觀
 - 須與其他無線系統共存→寬頻與多頻設計



小型天線的限制 – 可發射的能量

- Minimum Q
- Maximum BW
- Impedance
- Maximum Directivity
- Realized Gain

進入天線結構的能量密度可分為對外輻射與儲存在結構間兩部份

對外輻射的能量密度

$$w_e = \frac{1}{2} \epsilon |E|^2 = w_e^{rad} + w_e^{store}$$

$$w_e^{rad} = \frac{1}{2} \epsilon |E_\theta^{rad}|^2 = \frac{\eta_0^2}{r^2} \sin^2 \theta$$

儲存在結構間的能量密度

$$w_e^{store} = w_e - w_e^{rad} = \frac{4\pi\eta_0}{3\omega} \left[\frac{1}{k^3 a^3} + \frac{1}{ka} \right]$$

體積分得天線發射的能量總和

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \text{Re}(\bar{E} \times \bar{H}^*) \cdot \hat{r} r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi = \frac{8\pi\eta_0}{3}$$

我們可定義儲存與發射能量的比值Q

$$Q \approx \frac{2\omega W_e^{store}}{P_r} = \left[\frac{1}{k^3 a^3} + \frac{1}{ka_*} \right]$$

TAIWAN TECH

National Taiwan University of Science and Technology

J. S. McLean, "A Re-examination of the Fundamental Limits on the Radiation Q of Electrically Small Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 44, pp. 672-675, May 1996.



教育部5G行動寬頻人才培育計畫

5G天線與射頻技術聯盟中心

常見的手機/行動裝置天線形式

- 傳統上，為了有良好的收發訊號品質，手機天線多半採用具有全方向性(Omni-direction)輻射場型的天線如：
 - 單極天線(Monopole Antenna/ Whip Antenna/ Wire Antenna)
 - 曲折型天線(Meander-Line Antenna)
 - 迴路天線 (Loop Antenna)
 - 螺旋天線(Helical Antenna)
 - 螺線天線(Spiral Antenna)
 - 倒F型天線(Inverted-F Antenna)
 - 平面倒F型天線(Planar Inverted F Antenna, PIFA)
 - 片型微帶天線(Patch Antenna)
 - 陶瓷晶片天線(Ceramic Chip Antenna)
 - 碎形天線 (Fractal Antenna)

TAIWAN TECH

National Taiwan University of Science and Technology



教育部5G行動寬頻人才培育計畫

5G天線與射頻技術聯盟中心

Outline

- 單元一:天線輻射原理、重要參數與微型化技術
- 單元二:電磁數值方法與天線模擬技術
- 單元三:行動裝置小型化天線
- **單元四:行動終端多天線設計與解耦合技術**
- 單元五:天線製作與基礎量測方法



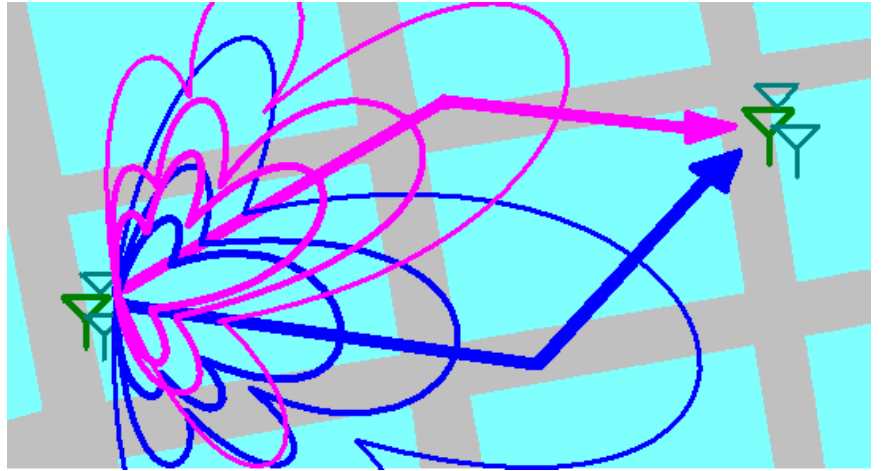
行動終端多天線設計

- 多輸入多輸出技術:
 - 介紹可大幅提升通訊頻寬的MIMO多輸入多輸出技術，包含其物理原理與實行上所需的軟硬體配合。
- 天線分集與多天線系統:
 - 介紹實行MIMO技術必備的多天線系統與其達到天線分集的原理，並闡述小型化多天線系統中進行天線解耦合的設計方法。
- 天線分集評估與多重路徑傳播環境:
 - 介紹傳播環境與MIMO技術施行的關係，以及如何使用天線分集增益量測系統評估通道是否富含多重路徑的方法。

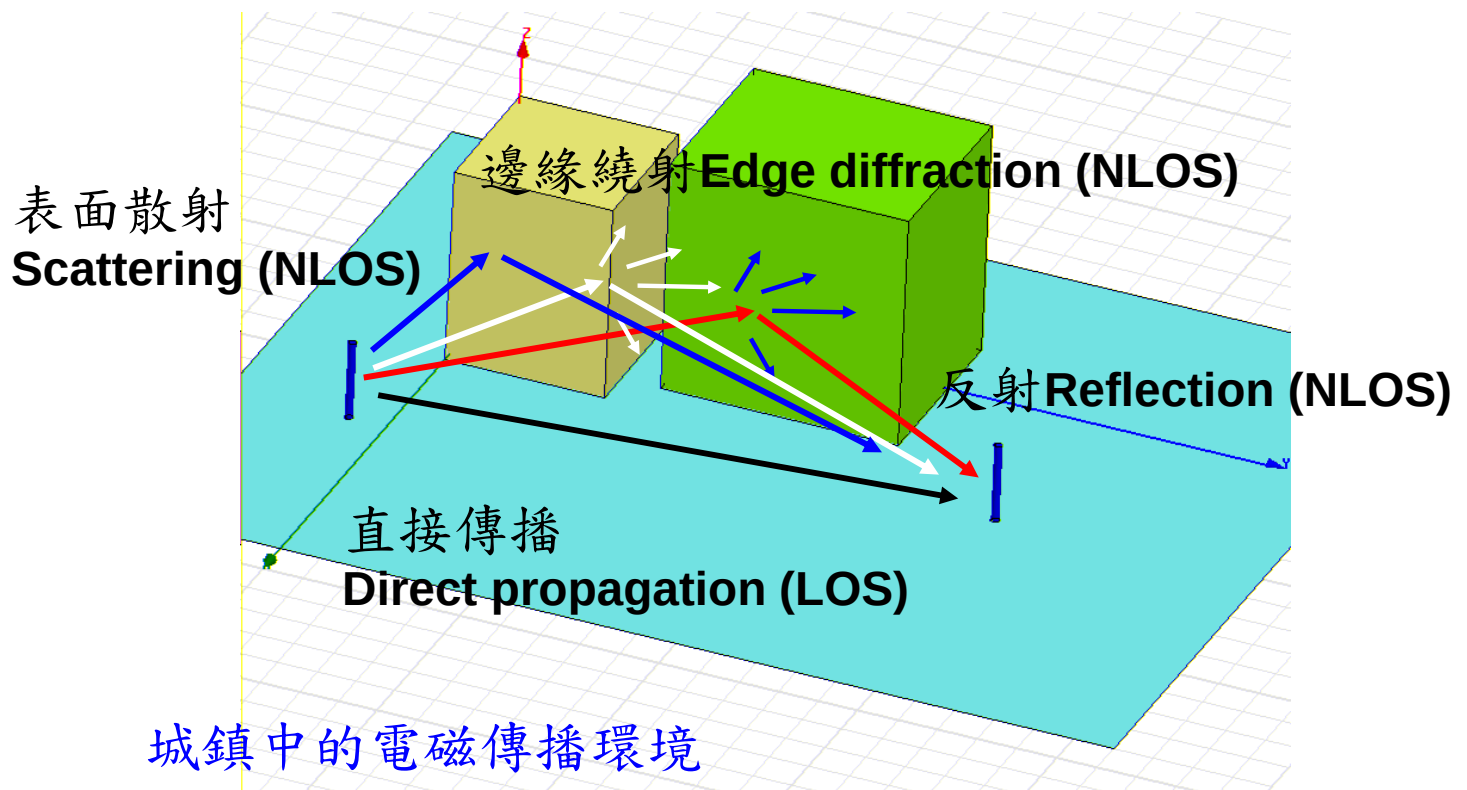


多輸入多輸出(MIMO)技術

- 若使用天線陣列或指向性天線形成基地台以及客戶端天線，則可將傳輸訊號集中在特定方向，避免多重路徑干擾
- 而不同的可能傳播路徑，則可被視為獨立的傳輸通道，傳送其他的資料，增加傳輸率



分集天線技術



城鎮中的電磁傳播環境

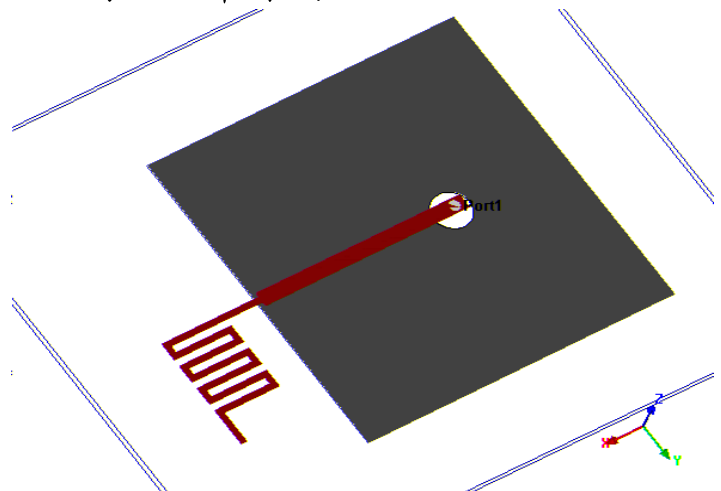
Outline

- 單元一:天線輻射原理、重要參數與微型化技術
- 單元二:電磁數值方法與天線模擬技術
- 單元三:行動裝置小型化天線
- 單元四:行動終端多天線設計與解耦合技術
- 單元五:天線製作與基礎量測方法



天線製程

- 微帶天線可以簡單的用**PCB蝕刻設備**製作。
- 另一個利用電腦輔助天線設計的優點是**平面設計圖可以輸出**，作為蝕刻的遮照。
- 接下來我們用展示曲折型天線設計來展示。



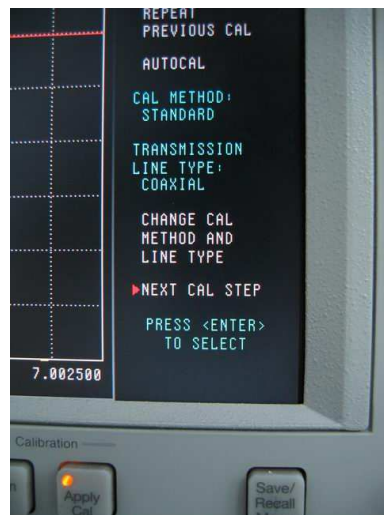
校正工具



校正步驟



按Begin
Cat

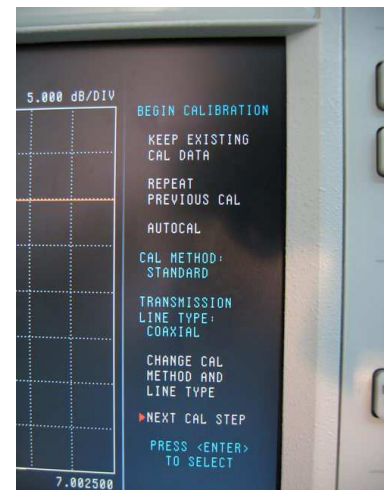


按Next Cal Step

選擇分析點數



按Next Cal Step



Outline

- 實驗一:以 Rectenna 觀察指向/全向性天線輻射特性
- 實驗二: HFSS 電磁模擬軟體操作教學:波導管例
- 實驗三: HFSS 電磁模擬軟體天線設計:偶極天線例
- 實驗四: HFSS 天線設計教學:單極天線及其變形
- 實驗五: HFSS :微帶天線及其多模態、多極化設計
- 實驗六: HFSS :以極化分集減少天線輻射耦合
- 實驗七: HFSS :以接地面突出結構減少天線傳導耦合
- 實驗八:以 PCB 板製作小型化行動裝置雙天線系統
- 實驗九:以網儀量測天線輸入阻抗與耦合係數

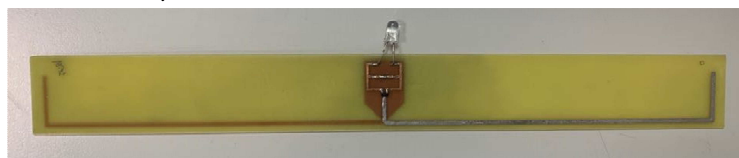


Rectenna

● Rectenna : (整流天線)

一個簡單的整流天線由一個偶極天線和一個連接在偶極子元件上的 RF 二極管組成。二極管通過微波對天線中感應的 AC 進行整流，以產生 DC 電力，該 DC 電力為連接在二極管上的負載供電。

正面



反面



模擬操作範例：矩形導波管

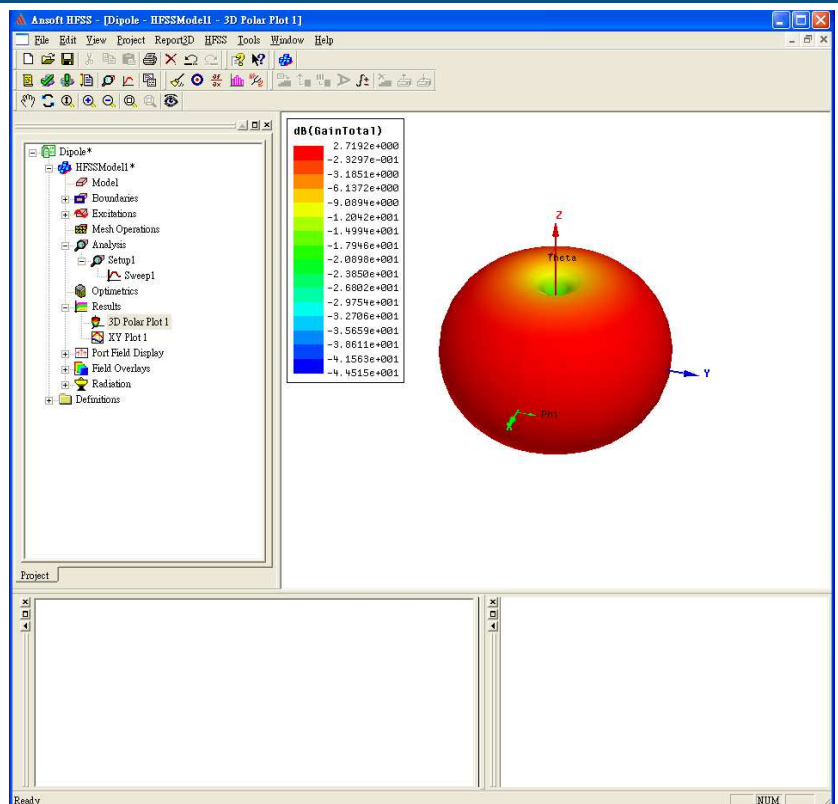
- 矩形導波管具有非常簡單的幾何架構，因此選擇矩形導波管作為操作教學範例。
- 導波管是典型的傳輸線型式，可運用在高頻、高功率的應用
- 與pair wire、微帶線和同軸電纜比較，導波管擁有低耗損和堅固的結構等優點，因此較適合如雷達和微波鏈等需要“負荷高功率”的應用



偶極天線分析結果

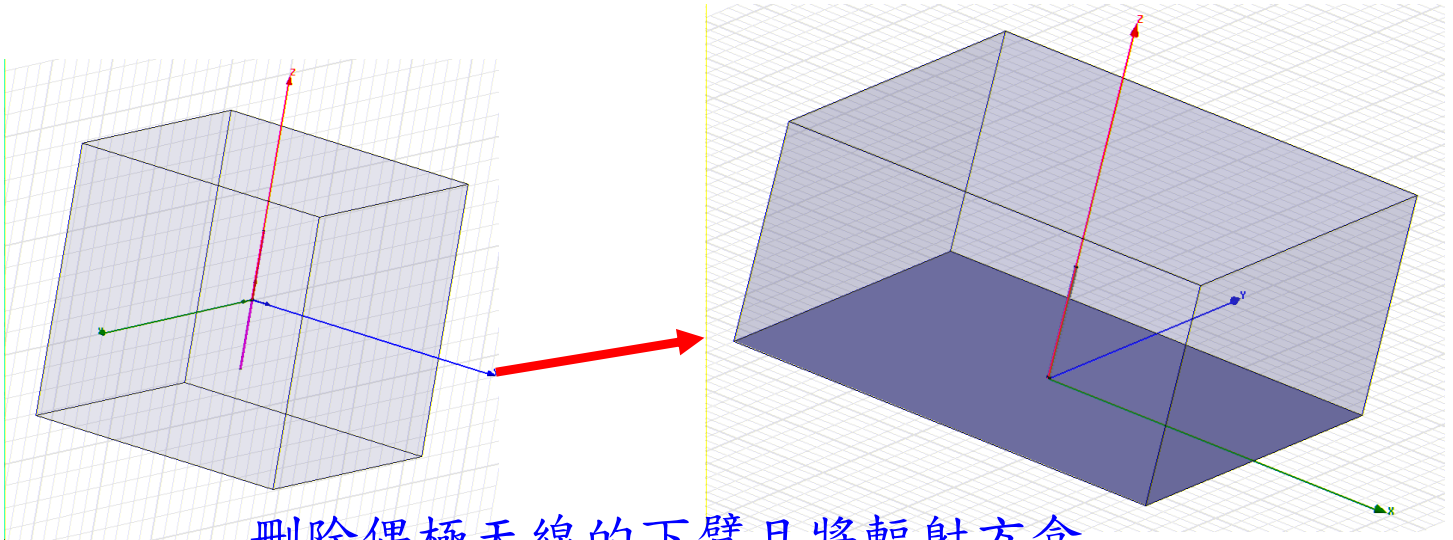
根據天線教科書，我們預期天線場型應在Z軸上有零點(null)，長的像甜甜圈，而增益應接近於3 dB

此圖看起來不太像甜甜圈，這是因為顯示範圍會自動設定從最小值到最大值(-45至2.7 dBi)



單極天線幾何架構設置

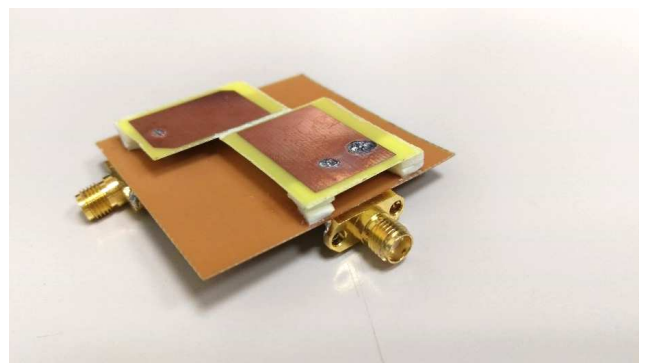
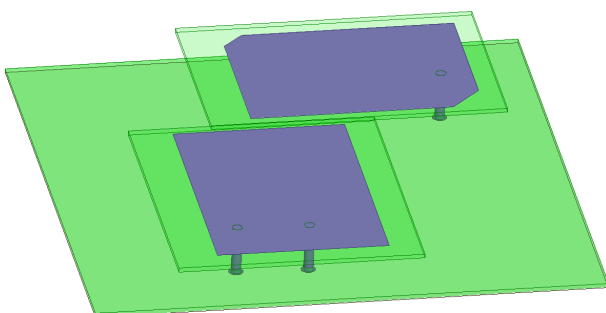
接地面上的單極天線模型能藉由將原本偶極天線模型修改後來模擬



刪除偶極天線的下臂且將輻射方盒 (Z軸) 高度減半、並加上接地金屬面

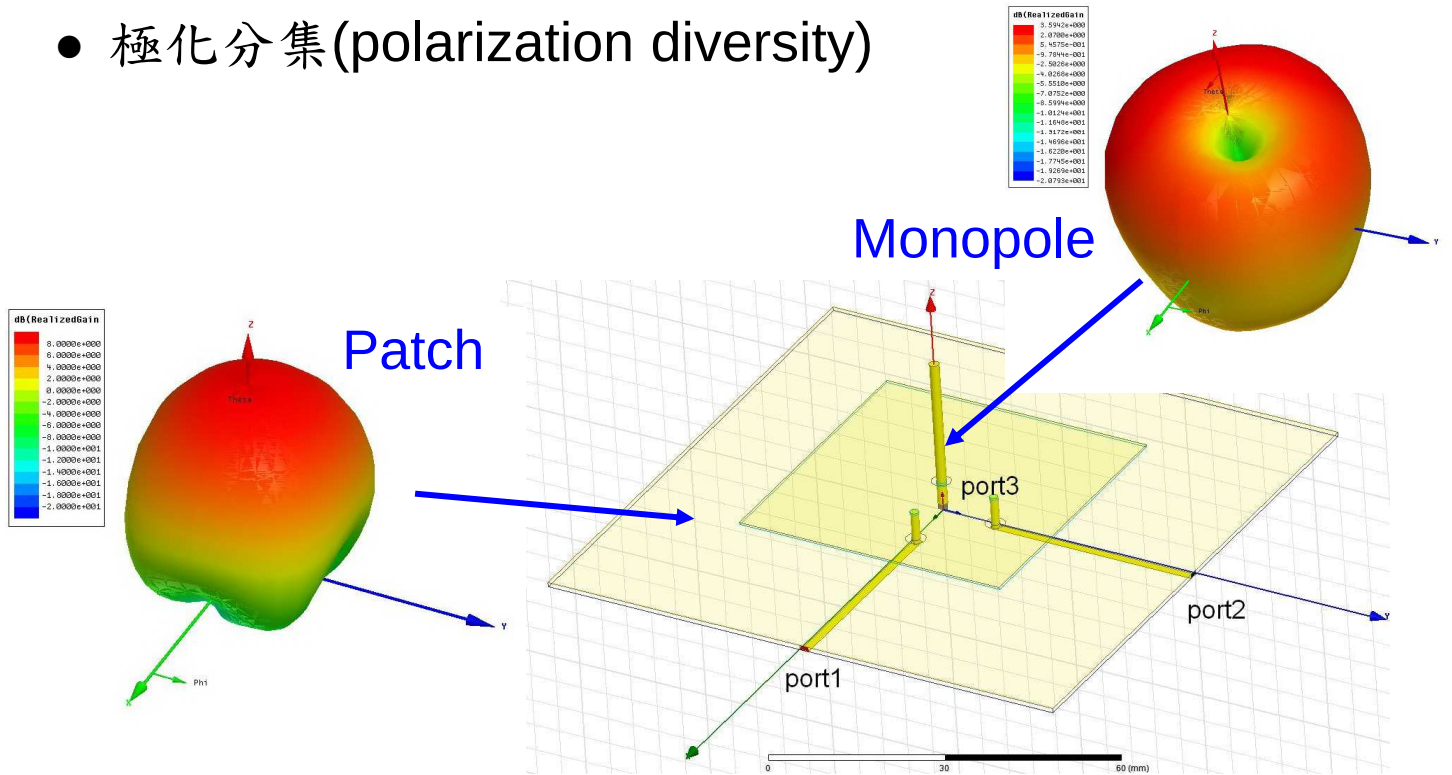
微帶天線設計動機與天線應用需求

- 本天線系統包含兩個微帶天線單元
- 目標操作頻率為5.15 ~ 5.85 GHz
- 其中一個為可透過指撥開關切換場型的 Patch 天線
- 因兩天線距離靠近，為降低耦合量，以極化正交方式擺放。



天線分集的種類

- 極化分集(polarization diversity)



雙天線解耦合-實測

- 加上解耦合結構

量測 V.S 模擬

