

天線和傳播

簡介

- 天線可定義成一種可以發射電磁能量至空間中或從空間中接收電磁能量的導電體或導電系統
 - 天線將無線電頻率電能轉變成電磁能量輻射到週遭的環境
 - 天線接收電磁能量並將之轉變成無線電頻率之電能提供給接收器處理
- 雙向通訊系統中經常使用共同的天線來傳送和接收信號

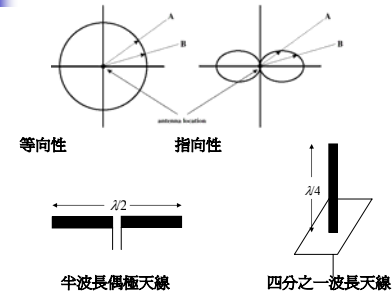
天線輻射場型

- 輻射場型
 - 天線的輻射場型可描述天線性能
 - 輻射場型幾乎都以三維場型的二維橫切面來描述
- 波束寬度 (半功率波束寬度)
 - 度量天線方向性
- 輻射場型
 - 天線用於接收信號時，輻射場型即是接收場型

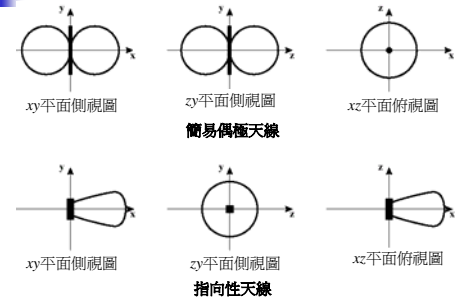
天線型式

- 等向性天線 (理想化)
 - 向空間中所有方向的輻射能量都相同
- 偶極天線
 - 半波長偶極天線(赫茲天線)
 - 四分之一波長垂直天線(Marconi 天線)
- 拋物面反射天線

天線型式 (續)



天線型式 (續)



天線增益

- 天線增益
 - 可用來度量天線的指向性，以理想的等向性天線任一方向的輸出功率為參考基準，天線在指定方向的輸出功率定義為天線增益
- 有效面積
 - 天線的有效面積與天線本身的尺寸與形狀有關

7

天線增益(續)

- 天線增益跟有效面積的關係是

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

- G = 天線增益
- A_e = 有效面積
- f = 載波頻率
- c = 光速($\approx 3 \times 10^8$ m/s)
- λ = 載波的波長

8

傳播模式

- 地波的傳播
- 天波的傳播
- 視線傳播

9

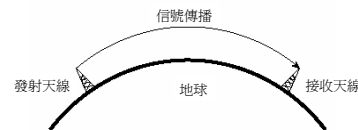
地波的傳播

地波或多或少地沿著地球的輪廓來傳輸，而且在視覺地平線上能夠傳輸相當遠的距離，傳輸信號頻率在2 MHz以下。好幾個因素說明此頻帶的電磁波能跟隨地球輪廓傳播的特性，其中一個因素是電磁波在地表產生感應電流，並造成靠近地表附近的波行進較緩慢，這導致波前(wave front)向下傾斜而跟隨著地球的曲率前進。另一個因素是繞射(diffraction)，這是電磁波碰到障礙物產生的一種現象。大氣造成此頻帶的電磁波散射，因此無法穿越上面的大氣層，地波通訊最有名的例子就是AM無線電。

10

地波的傳播

- 沿著地球的輪廓來傳輸
- 可以傳輸相當遠的距離
- 傳輸信號頻率在2 MHz以下
- 例如AM無線電



11

天波的傳播

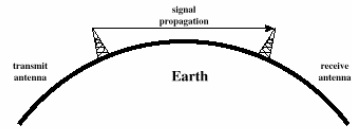
- 從地面上的天線發射一信號至在大氣的電離層，電離層看似一個堅硬的反射表面會將波反射回地面
- 地波或多或少地沿著地球的輪廓來傳輸，而且在視覺地平線上能夠傳輸相當遠的距離
- 繞射這是電磁波碰到障礙物產生的一種現象
- 例子
 - AM無線電
 - CB radio



12

視線傳播(Line-of-Sight, LoS)

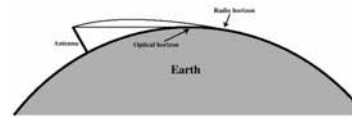
- 信號無法藉由地波或天波的方式傳播，一定要用視線傳播
- 衛星通信 – 超過30 MHz的信號在電離層不會發生反射
- 地面上的通訊 – 發送和接收的天線一定要在彼此的有效(effective)視線上



13

視線傳輸(折射效應)

- 折射 – 大氣會使微波彎曲或折射
- 折射的發生是因為電磁波的行進速度與傳輸介質密度有關
- 當電磁波從某一密度的傳輸媒介到另一密度的傳輸媒介行進時速度會改變
- 傳輸介質的交接處產生一次電磁波方向的彎曲



14

視線(直線)傳輸距離

- 光學和無線電視線(直線)傳輸距離

$$d = 3.57\sqrt{h}$$

- 有效的(或無線電)到地平線的視線傳輸

$$d = 3.57\sqrt{Kh}$$

- d = 天線到地平線之間的視線距離，單位為公里
- h = 天線的高度，單位為公尺
- K = 其中 K 是折射的調節因子，最佳實用值為 $K = 4/3$

15

視線(直線)傳輸距離(續)

- 地面上兩個天線之間的LOS傳輸的最大距離為:

$$3.57\left(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2}\right)$$

- h_1 = 天線1的高度
- h_2 = 天線2的高度

16

LOS無線傳輸干擾

- 衰減和衰減失真
- 自由空間的衰減
- 大氣的吸收作用
- 多重路徑
- 折射
- 熱雜訊

17

衰減

- 信號強度的衰減與距離有關，對於引導式媒介來說，信號強度的衰減通常與距離成對數關係
- 對於無引導式媒介來說，大氣造成的衰減是一個更複雜之距離的函數，傳輸工程師對衰減有三個考慮因素：
 - 接收機所接收之信號強度要夠大，那麼接收機內電路系統才能夠檢測和表示該信號
 - 信號必須保持比雜訊大，使得接收信號無誤
 - 高頻率信號衰減較大，而產生失真

18

自由空間的衰減

- 以理想等向性天線來說，自由空間的衰減表示為

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}$$

- P_t = 傳送天線端的信號功率
 - P_r = 接收天線端的信號功率
 - λ = 波長
 - d = 兩個天線間的傳播距離
 - c = 光速 (3×10^8 m/s)
- 注意到 d 和 λ 的單位要相同(例如：公尺)

19

自由空間的衰減(續)

- 以dB為單位，自由空間衰減方程式可寫成：

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \\ &= -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21.98 \text{ dB} \\ &= 20 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 147.56 \text{ dB} \end{aligned}$$

20

自由空間的衰減(續)

- 對於其他天線而言，我們必須考慮天線的增益，其自由空間衰減方程式寫成：

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi)^2 (d)^2}{G_r G_t \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_r A_t} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_r A_t}$$

- G_t = 傳送端的天線增益
- G_r = 接收端的天線增益
- A_r = 發射天線的有效發射面積
- A_t = 接收天線的有效接收面積

21

自由空間的衰減(續)

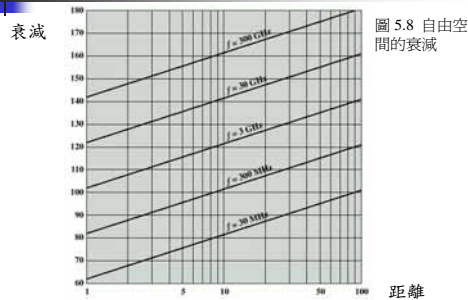
- 以dB為單位，由天線增益和有效區域之關係推導得到

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 20 \log(\lambda) + 20 \log(d) - 10 \log(A_r A_t) \\ &= -20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(A_r A_t) + 169.54 \text{ dB} \end{aligned}$$

- 因此，當天線尺寸和距離相同時，載波波長越長(載波頻率越低)，自由空間路徑的損失會越大。

22

自由空間的衰減(續)



23

雜訊的種類

- 熱雜訊(Thermal noise)
- 互調雜訊(Intermodulation noise)
- 串音(Crosstalk)
- 脈衝雜訊(Impulse noise)

24

熱雜訊

- 熱雜訊是電子的熱攪動所造成
- 存在於所有的電子裝置和傳輸介質中並且是溫度的函數。熱雜訊在頻帶內均勻分佈故常稱為白色雜訊
- 熱雜訊無法消除，故熱雜訊定義了通訊系統性能的上限，衛星通訊收到的信號非常微弱，所以熱雜訊對衛星通訊的影響特別顯著。

25

熱雜訊 (續)

- 任何的裝置或導體中頻寬為1Hz的熱雜訊定義為：

$$N_0 = kT \text{ (W/Hz)}$$

- N_0 = 熱雜訊在每1Hz頻寬的瓦特數
- k = 波茲曼常數(Boltzmann's constant)
= 1.3803×10^{-23} J/K
- T = 溫度(絕對溫度)

26

熱雜訊 (續)

- 假設雜訊與頻率無關
- 頻寬 B Hz 的熱雜訊(單位瓦特):

$$N = kTB$$

或寫成(單位dBW)

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B$$
$$= -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log B$$

27

熱雜訊 (續)

焦耳(Joule)是電機、機械和熱力的國際系統的能量單位。瓦特(watt)是功率單位，相當於焦耳/秒。絕對溫度0度是攝氏-273.15度。

範例：給定有效雜訊溫度為294°K和頻寬為10 MHz的接收器，此接收器輸出的熱雜訊單位是

$$N = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log(294) + 10 \log 10^7$$
$$= -228.6 + 24.7 + 70$$
$$= -133.9 \text{ dBW}$$

28

雜訊術語

- 不同頻率信號共用同一個傳輸媒介時有可能造成互調雜訊
 - 互調雜訊 – 互調雜訊是由兩個原始頻率之和頻、差頻以及這些和頻或差頻的倍頻所組合的信號
- 串音 – 不同信號路徑之間產生我們不想要的耦合現象稱為串音
- 脈衝雜訊是一種短暫不規則、非連續
 - 脈衝雜訊是一種短暫不規則、非連續且高振幅的雜訊
 - 包括外部電磁干擾、閃電以及通信系統的故障和瑕疵

29

E_b/N_0 的表示式

- 此參數是每位元信號能量和每赫芝的雜訊功率密度之比值
$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR}$$
- E_b/N_0 是數位通訊系統性能的度量標準
 - 給定達到某種錯誤率的 E_b/N_0 值，可以用前面公式來選擇參數值
 - 當位元率 R 增加時，必須提高發送信號功率以保持所需的 E_b/N_0

30

E_b/N_0 與訊雜比(SNR)之關係

- E_b/N_0 與訊雜比(SNR)之關係描述如下

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N_o R}$$

- 參數 N_o 是雜訊能量密度(單位為瓦特/赫茲)。因此，頻寬 B_T 的雜訊能量為並改寫上式成

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S B_T}{N R} \quad (5.4)$$

31

E_b/N_0 與頻譜效率之相關性

- Shannon最大通道容量方程式為 $C = B \log(1 + S/N)$
- 當通道容量 C 的單位為位元/每秒；通道頻寬 B 的單位為Hz，上式可以寫成

$$\frac{S}{N} = 2^{C/B} - 1$$

- 利用上式、 $B = B_T$ 和 $C = R$ ，我們有

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B}{C} (2^{C/B} - 1)$$

32

E_b/N_0 與頻譜效率之相關性

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B}{C} (2^{C/B} - 1)$$

求達到頻譜效率6 bps/Hz所需要的最小 E_b/N_0 。
直接利用以上公式可得

$$Eb/NO = (1/6)(2^6-1) = 10.5 = 10.21dB$$

33

其他衰減

- **大氣吸收效應** - 水蒸汽和氧氣造成最主要的衰減
- **多重路徑** - 障礙物會反射信號並造成接收機可收到不同延遲的多重信號
- **折射** - 氣傳播高度影響信號速度或大氣環境變化時會產生折射

34

多重路徑傳播

- **反射** - 當電磁信號遇到比信號波長大的物體表面時會發生反射
- **繞射** - 比無線電波波長大的建築物邊緣會發生的繞射現象
- **散射** - 散射發生時進入的信號會分散成幾個更弱的向外射出信號

35

多重路徑傳播(續)

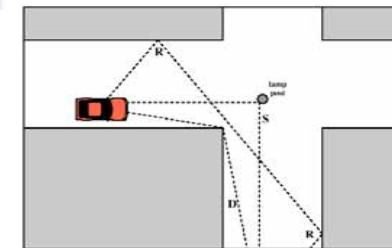
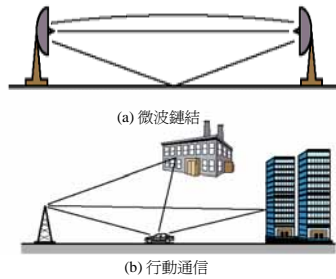


圖 5.10 三個重要傳播機制的示意圖：反射(R)、散射(S)、繞射(D)

36

多重路徑干擾的例子



37

多重路徑傳播的影響

- 多重路徑傳播造成接收機收到不同相位的多重信號
 - 如果這些相位破壞性地相加，相對於雜訊，信號準位降低，使得接收機檢測信號更加困難
- 符際干擾 (inter symbol interference, ISI)
 - 現在假設這個脈衝編碼表示一個或多個資料位元，在首要脈波後面的一個或多個延遲的信號可能與下一個首要脈波同時抵達，此情況下，對首要脈波而言，延遲脈衝是某種形式的雜訊，使得資料位元的辨識更加困難

38

符際干擾(inter symbol interference, ISI) 現象

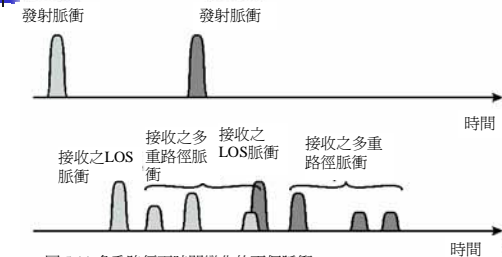


圖 5.11 多重路徑下時間變化的兩個脈衝

39

衰退類型

- 快速衰退(fast fading)
- 慢速衰退(slow fading)
- 平坦衰退(flat fading)
- 選擇性衰退(selective fading)
- rayleigh fading
- rician fading

40

錯誤補償機制

- 直接錯誤更正
- 適應性等化器
- 分集技術

41

直接錯誤更正

- 傳送器於每一個區塊資料中添加多餘位元
 - 錯誤更正碼由資料位元的某一種函數計算得到
- 接收器計算這些輸入資料位元得到一個新的錯誤更正碼
 - 如果這個新碼與輸入的錯誤更正碼相同表示沒有錯誤發生
 - 如果輸入的碼與計算的碼不同表示一個或多個位元是錯誤的

42

適應性等化

- 適應性等化器可應用於類比資訊或數位資訊
 - 類比聲音或視訊
 - 數位資料、數位化的聲音或視訊
- 用來對抗符際干擾
- 適應性等化是一種能夠聚集分散的符號能量回到原時間區間內的方法
- 技術
 - 區塊類比電路
 - 複雜的數位處理演算法

43

線性等化器電路

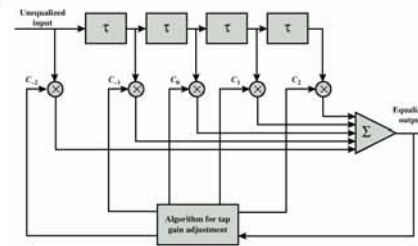


圖 5.14 線性等化器電路 [PROA94]

44

分集技術

- 基於個別通道所經歷的衰退情況各自獨立的事實，在傳送端和接收端建立多個邏輯通道分別傳送部分信號可補償錯誤效應，這種技術無法除去錯誤但確實可減少錯誤率，。配合等化、直接錯誤更正等技術可減少的錯誤率。
- 空間分集 – 涉及自然界的傳輸路徑的分集技術稱為空間分集
- 頻率分集 – 頻率分集使信號頻譜分佈更大的頻寬或使用多重載波
- 時間分集 – 時間分集技術是將資料在時間上展開使雜訊影響的位元數減少

45