

OFDM Reading Assignment

學生: 蘇沛錦

2023/01/20 (Fri.)

(Part II) OFDM in multipath channels: cyclic prefix

- Is CP needed in order to maintain orthogonality among subcarriers of OFDM signals in AWGN channels?

Ans:

No, CP is introduced to preserve the orthogonality among subcarriers of OFDM signals in **multipath channels**.

考慮在 AWGN 通道下，OFDM 訊號不需要使用 CP (Cyclic Prefix)來維持各個子載波之間的正交性質。然而 OFDM 系統特別適用於實際無線通訊環境內的 **multipath channel**，因為多路徑通道會對傳送訊號產生延遲效應，使得接收端收到的訊號會有 ISI (Inter-symbol Interference)和 ICI (Inter-carrier Interference)的干擾問題。因此 OFDM 系統需使用 guard time 來消除 ISI 干擾，而 CP 則是用來解決由於 ICI 干擾所造成子載波之間正交性質的問題。

- 比較以下三種方式之優劣:
 - (i) 在 multipath channel 中，如果 OFDM symbols 之間沒有 guard time。
 - (ii) 在 multipath channel 中，如果 OFDM symbols 之間使用 guard time。
 - (iii) 在 multipath channel 中，如果 OFDM symbols 之間使用 CP。(Let us assume that the channel length is smaller than the CP length.)

Ans:

- (i) OFDM symbols 之間會存在 ISI 和 ICI 這兩項干擾(因為真實無線環境中存在 multipath channel 造成接收到的 OFDM symbols 產生延遲)。
 - (ii) 如果 OFDM symbols 之間有使用 guard time，則 ISI 問題會被解決，但是 OFDM symbols 之間仍存在 ICI 干擾。原因在於這裡的 guard time 是由數值為 0 的空波形 (null waveform)所構成(也被稱作是 *zero padding transmission*)，所以 OFDM symbols 就沒有 ISI 問題，但是各個子載波之間仍然會被通道延遲產生的 ICI 所干擾，進而破壞彼此的正交性質。
 - (iii) 如果 OFDM symbols 之間使用 CP 的話，則 OFDM 訊號就不會有 ISI 和 ICI 這二項問題。這是因為 CP 是取 OFDM symbol 後面的一小段(通常低於自己本身長度的 1/4)作為 guard time 訊號，所以能解決原先的 ISI 問題，並且讓各個子載波之間維持彼此正交的特性(也就沒有 ICI 干擾)。
-

- CP 的作用為何? 使用 CP 有哪些優缺點 (tradeoff)?

Ans:

1. CP 的作用

- (1) 消除在 multipath channel 中, 因為延遲所產生的 ISI 和 ICI 干擾。
- (2) 接收端可使用 CP 來解決 OFDM symbols 在時間域以及頻率域中的同步 (Synchronization) 問題, 在 time domain 能夠決定 useful part 的起始位置; 而 frequency domain 可藉由 CP 找出頻率誤差進行同步。

2. 使用 CP 有哪些優缺點 (tradeoff)?

➤ 優點

- (1) 相較於使用波形為 0 作為 guard time 訊號的 zero padding 傳輸, CP 能夠維持各個子載波之間的正交性, 也就避免掉 ISI 和 ICI。
- (2) 簡化接收機的設計: 考慮傳送訊號經過通道模型後, 接收端所收到的時間域訊號相當於是傳送訊號和通道的 impulse response 進行 linear convolution 運算; 但是如果使用 CP 的話, 在時間域中會使得原先的 linear convolution 變成 circular convolution 計算, 而 circular convolution 換到頻率域上去就會是點對點相乘, 所以能簡化接收機。

➤ 缺點

- (1) 降低 OFDM 系統的 data rate (因為 CP 大小取決於通道長度)。
 - (2) 額外花費 transmission power 去傳送。
 - (3) CP 會降低 power efficiency 和 spectrum efficiency。
 - (4) 在 OFDM 系統中, 傳送端需要額外的 buffer 來產生 CP 訊號。
-

- If the impulse response of the channel changes within the OFDM symbol duration, will the subcarriers be orthogonal to each other? (Let us assume that the channel length is smaller than the CP length.)

Ans:

No. If the impulse response of the channel changes within the OFDM symbol duration, the subcarriers will be no longer orthogonal to each other.

在 OFDM symbol 裡面, 原始乘載真正 data 部分我們通常稱作 useful part。而 CP 的長度是根據通道長度(也就是 delay spread)來做決定, 因此 CP 是 overhead 會降低 power efficiency 和 spectrum efficiency。所以我們會希望把 useful part 拉長, 但假如 useful part 太長會發生 ICI 干擾。假如通道在 useful part 裡面不是維持不變的話(如同題目所說, 當 channel 在此階段發生變化), 就會破壞正交, 並且產生 ICI 干擾。因此必須根據 channel 的 coherence time, 來決定 useful part 最多能夠到哪裡, 也就是 useful part 的 tradeoff。
