

一、理論模擬

1.1 展頻及壓縮

從上一章單頻波的例子可看出，相位調製可將原先頻率集中於 ν_0 的光，分散至 $\nu_0 \pm \nu_m, \nu_0 \pm 2\nu_m, \dots$ 。若調製函數改用時間寬度為 ΔT 的隨機方波 $PRBS(t)$ （如圖），則可將 (??) 的右式寫成：

$$\tilde{E}_0(\omega) * \mathcal{F}\{e^{iPRBS(t)}\} \quad (1.1)$$

經計算，展寬後的頻譜如下：

待放圖片

圖 1.1: 展寬後頻譜模擬圖

其包絡線接近 sinc 的平方，展開的寬度為 $\pm \frac{1}{\Delta T}$ ，在我們實驗中使用的隨機訊號的產生率為 10 Gb/s，單一比特的時間寬度為 100 ps，相當於能將頻譜從數 MHz 展至 10 GHz 寬。

經展頻後的訊號，可以降低環境的影響，避免光子被特定原子團吸

待放圖片

圖 1.2: 展寬後頻譜模擬圖

收，但若想還原光子初始相位的資訊，則需要一個反向的操作，讓光子再經過第二台相位調製器，輸入的電訊號為與 $PRBS(t)$ 互補的訊號 $\overline{PRBS}(t)$ ，這兩個訊號要滿足以下關係：

$$PRBS(t) \times \overline{PRBS}(t) = 1 \quad (1.2)$$

這樣寫有問題，重新想要如何以數學表達互補的訊號

若光子在兩台相位調製器行經的時間間距為 Δt_p ，兩個電訊號抵達的時間差為 Δt_{RF} ，當 $\Delta t_p = \Delta t_{RF}$ 時，理論上可將展頻後的訊號壓縮回原本的樣子，但若 $\Delta t_p > \Delta t_{RF}$ ，則無法完全還原頻譜，如下圖：

待放圖片

圖 1.3: $\Delta t_p > \Delta t_{RF}$ 時壓縮頻譜

1.2 鉀原子氣體吸收

從鉀原子吸收譜可以看出，在其中兩個特定頻率上，各有約 1.5 GHz 的都卜勒吸收區，未經調製前的窄頻雷射進入原子氣體內會幾乎全部被吸收，但若將頻率展至 10 GHz 寬，則其中只有少部分會被吸收，這即是展頻的主要用途，可以降低光子被環境的影響，模擬圖如下：

待放圖片

圖 1.4: 展寬後頻譜模擬圖

此時再讓光經過第二台相位調製器壓縮頻譜，結果比較圖如下：

待放圖片

圖 1.5: 展寬後頻譜模擬圖

從圖上可以看出，光被部分吸收後，雖然還是能將頻譜還原成窄頻，但整體的功率會下降。