

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，展寬後的頻譜如圖：

待放圖片

圖 1.1: 隨機訊號 $PRBS(t)$

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，單一位元的時間寬度為 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

待放圖片

圖 1.2: 展寬後頻譜模擬圖

吸收，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 EOM，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：

$$PRBS(t) + \overline{PRBS}(t) = 0 \quad (1.2)$$

或

$$e^{iPRBS(t)} \times e^{i\overline{PRBS}(t)} = 1 \quad (1.3)$$

若光子在兩台 EOM 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，理論上可以對相位進行反向的調製，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，模擬如圖：

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 EOM 將頻譜壓縮，結果比較圖：

從圖中可以看出，光被部分吸收後，還是能透過反向的操作將已展寬的頻譜變窄。

待放圖片

圖 1.5: 壓縮後頻譜模擬圖