

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，則需要做一個反向的相位調製，讓光子再經過第二台 EOM，輸入的電訊號必須為與 $PRBS(t)$ 互補的 $\overline{PRBS}(t)$ ，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 ^{87}Rb 原子氣體吸收

1.2.1 展頻對吸收率的影響

在光通訊中，以光作為資訊的載體，在空氣中傳輸的過程中光子會與原子產生交互作用，當光子的頻率接近原子的躍遷能階時有很大的機率會被吸收。以波長約為 795 奈米的窄頻雷射為例，將此道光打入溫度約 87 度的 ^{87}Rb 原子氣體管，調整入射光頻率測量穿透率即可掃出 ^{87}Rb 的吸收譜，結果如圖 1.4，從圖中可知，在頻率 105 GHz 與 112 GHz 的頻率位置分別約有 2 GHz 與 1 GHz 寬的吸收區域，其吸收的中心頻率是被原子的能階給決定，可從飽和吸收光譜 (saturated absorption spectroscopy) 得知；吸收的寬度則是與原子蒸氣壓和溫度有關，不同的原子運動速度會有不一樣的寬度，此為效應都卜勒增寬 (Doppler broadening)。

為降低環境對光子的影響，我們可用上述之展頻技術，對光進行相位調製，將頻譜展寬，減少光對原子的吸收率。我們分別使用 1 Gb/s、5 Gb/s、10 Gb/s 與 20 Gb/s 的隨機訊號去模擬，對不同頻率的光進行調製如何影響原子的吸收，結果如??，未經調製的光在 105 GHz 與 112 GHz 附近會被完全吸收，若將光的頻譜展寬則能顯著的降低吸收率，隨

待放圖片

圖 1.4: ^{87}Rb 原子吸收譜

機訊號的頻率越高，原子對光子的影響越小。

待放圖片

圖 1.5: 不同隨機訊號的展頻對穿透率之影響

1.2.2 吸收對頻譜還原的影響

如前所述，對已調製過的光進行反向的調製，理論上可將頻譜壓窄，完美還原成調製前的分佈。但若先將已展頻的光通入原子團使其被部分吸收，再進行反向的調製，則還原回來的頻譜會與原先有些微的差異，比較如??。

待放圖片

圖 1.6: 展頻後吸收對壓縮之影響