

逢甲大學學生報告 ePaper

針對「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號  
生成」的討論

Discussion on ' Photonic Generation of Microwave Frequency  
Shift Keying Signal Using a Polarization Maintaining FBG '

作者：廖健佑

系級：光電四乙

學號：D0918967

開課老師：莊智皓

課程名稱：偏極光學

開課系所：光電碩一

開課學年：112 學年度第二學期



## 中文摘要

藉由「偏極光學」課堂中的論文導讀報告，我選定了關於「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號生成」技術進行閱讀學習與報告整理。由於光學技術在大範圍的頻率諧調性上具有較佳的優勢，可用來提升現代無線通訊系統的表現。該論文以開發可用來搭配振幅調變及相位調變的微波頻率偏移(FSK)訊號為目的，為通訊領域提供更加優異的架構可行性。

文中是利用 1590.98 nm 波長的 CW 雷射作為訊號源，並在訊號源上載上 RF-OOK 調變訊號產生雙邊帶抑制載波，再經過 PolM，該裝置為一種特殊的偏振調變器，會產生 TE 和 TM 兩種互為相反相位調變指數的訊號，之後透過 PM-FBG，此為一種在維持原本偏振狀況下，進行特定波長光源反射的元件，將反射後的光再透過光循環器做傳送。而為了與 Laser 2 進行拍頻，會先透過一個 polarizer 將還原成原單一模態下傳輸的波形，最後再透過 3 dB 的光耦合器將調變光及欲做拍頻的光源訊號耦合後，透過 PD 將光從波長響應轉換至時間/頻率響應的光波，即為 FSK 訊號。本實驗最後產生載波頻率為 9.5/12.5 GHz，傳輸速率為 1 Gbps 的 FSK 訊號，且透過 BER 測試儀及數位示波器觀測眼圖，成功在 5 km 光纖長度並加上 2 m 無線光傳輸下有穩定的傳輸品質。

**關鍵字：** 偏振維持式光纖布拉格光柵、微波訊號生成、頻率偏移調變

## Abstract

In the "Polarized Optics" course, I selected the topic of "Microwave Frequency Offset Signal Generation Using Polarization-Maintaining Bragg Gratings" for my paper review report. Optical technology has advantages in a broad range of frequency coherence, which can enhance the performance of modern wireless communication systems. The paper aims to develop a microwave frequency shift keying (FSK) signal that can be used with amplitude modulation and phase modulation, providing a more effective framework for the communication field.

The study uses a continuous-wave (CW) laser with a wavelength of 1590.98 nm as the signal source. An RF-OOK modulation signal is applied to the signal source to generate a double-sideband suppressed carrier. This signal is then passed through a polarization modulator (PolM), which is a special type of polarization modulator that produces signals with TE and TM modes, each with phase modulation indices that are opposites of each other. The modulated signal is then transmitted through a polarization-maintaining fiber Bragg grating (PM-FBG), a device that reflects specific wavelengths while maintaining the original polarization state. The reflected light is sent through an optical circulator.

To perform beat frequency detection with Laser 2, a polarizer is used to restore the signal to its original single-mode state. Finally, a 3 dB optical coupler combines the modulated light with the signal source for beat frequency detection. The light is then converted from wavelength response to time/frequency response using a photodetector (PD), resulting in an FSK signal. The experiment successfully generated an FSK signal with carrier frequencies of 9.5/12.5 GHz and a transmission rate of 1 Gbps. Through BER testing and digital oscilloscope observation of the eye diagram, stable transmission quality was achieved over a 5 km fiber length and 2 meters of wireless optical transmission.

**Keyword :** polarization maintaining fiber Bragg grating, Microwave signal generation, frequency shift keying.

## 目 次

中文摘要.....	1
Abstract .....	2
目 次.....	3
一、    實驗背景.....	4
二、    研究方法.....	5
三、    結果與討論.....	7
四、    結 論 .....	8
參考文獻.....	9



## 針對「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號生成」的討論

### 一、實驗背景

隨著無線接入網路在提高容量和品質方面的進展，以提供寬頻和穩定的即時服務，對於開發未使用的次毫米波或毫米波波段的方法越來越多，這是推動新技術產生的基礎推動，這些技術能夠生成具有高頻和特定調變格式的微波訊號。此外，生成的微波訊號應被分配到遠程站點以用於多種應用。由於光纖有高頻寬和低損耗的優點，光學射頻技術已成為解決這些問題的理想方案[1]。

光纖布拉格光柵 (FBG) 是一種光學元件，其由一段短的光纖構成，能夠反射特定波長的光線，而允許其他波長的光線通過。這是通過在光纖核心中增加週期性的折射率變化來實現的，這些變化擁有選定波長的介質反射鏡的作用。因此，FBG 可以作為光纖內部的光學濾波器、感測器或特定波長的反射器。[2]-[3]

光纖射頻 (RoF) 技術是通過用射頻 (RF) 訊號調製光訊號，然後將這些訊號通過光纖電纜從中心位置 (通常稱為總部) 傳輸到各個遠程天線單元 (RAU)。這種方法允許將無線訊號 (例如用於移動通訊 (3G、4G、5G 和 WiFi)、有線電視 (CATV) 和衛星通訊的訊號) 分布到長距離的範圍內，同時最小化訊號損失和干擾。[4]-[5]

最近，已經提出了許多微波訊號生成的方法，這些方法主要分為兩類。一類是通過頻譜整形和頻率時間映射 (FTTM) 技術實現的，基於這些技術，可以生成具有特定包絡形狀的微波訊號，這在雷達系統、傳感器網路等方面得到了廣泛應用；另一類是基於在光檢測器上兩個光波的頻率拍頻：它通常用於光纖無線電系統中，以獲得具有各種調變格式的高品質微波訊號，包括振幅偏移調變 (ASK)、相位偏移調變 (PSK) 和高階調變格式。除了上述提到的調變格式，相位偏移調變 (FSK) 也是無線通訊中的一種重要格式。最近的一項研究報告指出，通過使用 FSK 技術結合其他常用的調變方法 (如相位調變、正交振幅調變等)，所傳輸的無線訊號在蜂窩無線通訊系統中能更好地抵抗由小區間干擾 (ICI) 引起的通道干擾，也就是說，通過使用 FSK 作為輔助調變技術，可以改善在多基站覆蓋的重疊區域的訊號性能，這是一項意義重大的發現，尤其是在大量部署天線基站 (BS) 的微蜂窩網路架構成為趨勢的情況下。顯示了相位偏移調變技術在無線通訊系統中為一種具有潛在發展的使用技術之一。

## 針對「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號生成」的討論

### 二、研究方法

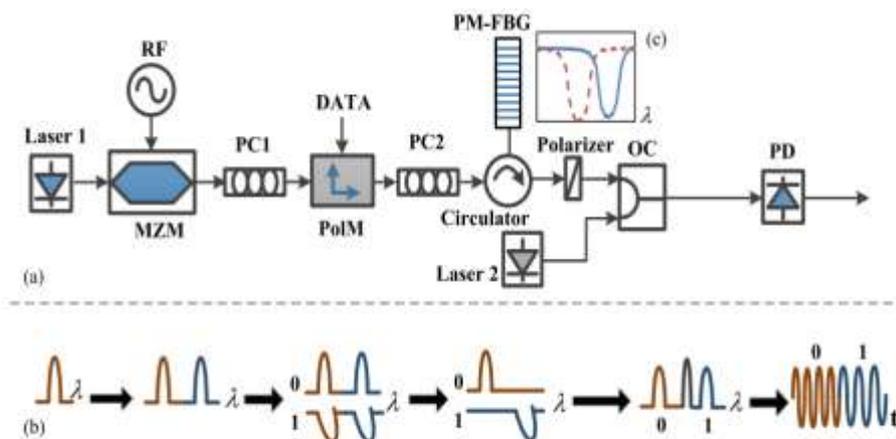


Fig. 1. Conceptual diagram of the proposed FSK signal generator, (a) setup diagram; (b) the illustration of the signal variation; (c) the response function of the PM-FBG.

本文利用 1590.98 nm 波長的 CW 雷射作為訊號源(Laser 1)，並在訊號源上載上 RF-OOK 調變訊號產生雙邊帶抑制載波，再經過 PolM，該裝置為一種特殊的偏振調變器，會產生 TE 和 TM 兩種互為相反相位調變指數的訊號，訊號會以數位訊號 0/1 的形式呈現，之後透過 PM-FBG，此為一種在維持原本偏振狀況下，進行特定波長光源反射的元件，將反射後的光再透過光循環器做傳送。而為了與 Laser 2 進行拍頻，會先透過一個 polarizer 將還原成原單一模態下傳輸的波形，最後再透過 3 dB 的光耦合器將調變光及欲做拍頻的光源訊號耦合後，透過 PD 將光從波長響應轉換至時間/頻率響應的光波，即為 FSK 訊號。生成方式如 Fig. 1 所示。

針對「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號生成」的討論

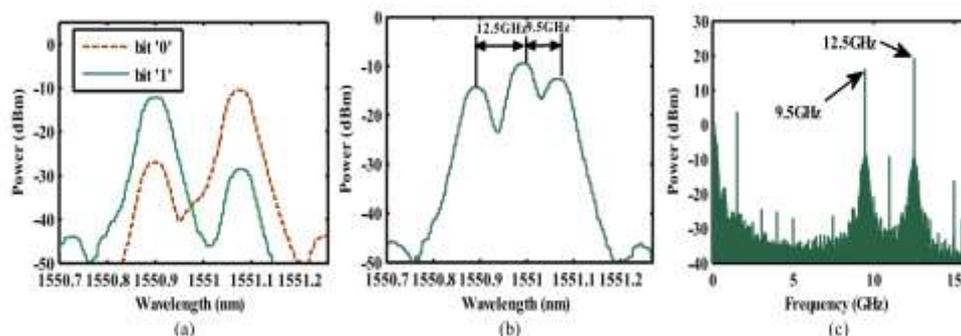


Fig. 2. (a) The output spectra from the PM-FBG for bit '0' and bit '1', (b) the optical spectrum coupled with the CW source of Laser2 for the PRBS data stream, (c) the electrical spectrum of the generated FSK signal.

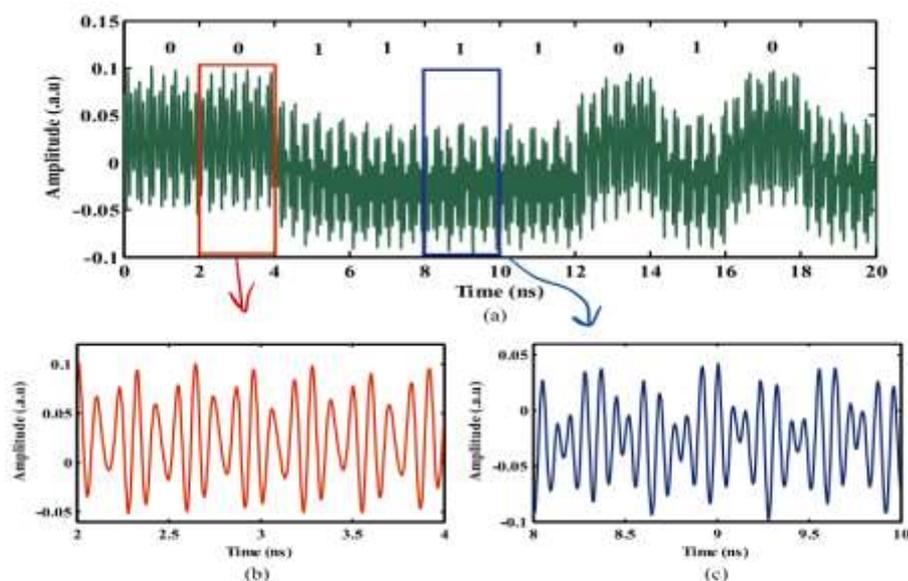


Fig. 3. (a) The waveform of the generated FSK signal in the duration of 20 ns. (b) the enlarged view of the waveform during 2 ns~4 ns at 9.5 GHz; (c) the enlarged view of the waveform during 8 ns~10 ns at 12.5 GHz.

Fig. 2. (a)則顯示了在經過 PM-FBG 後的數位訊號格式下的兩個符號下的頻譜分布圖，Fig. 2. (b)則為後續經過外加的 Laser 2 拍頻後，所獲得的頻譜分布，其載波為 9.5 GHz/12.5GHz 的 FSK 訊號，但由於載波經過拍頻後，在 1.3 GHz 的位置處也產生會視為通訊系統雜訊的拍頻訊號，如 Fig 2. (c)所示，所以後續也需要引入濾波器將該雜訊做濾除。Fig 3 為驗證 FSK 訊號的電頻譜圖。

針對「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號生成」的討論

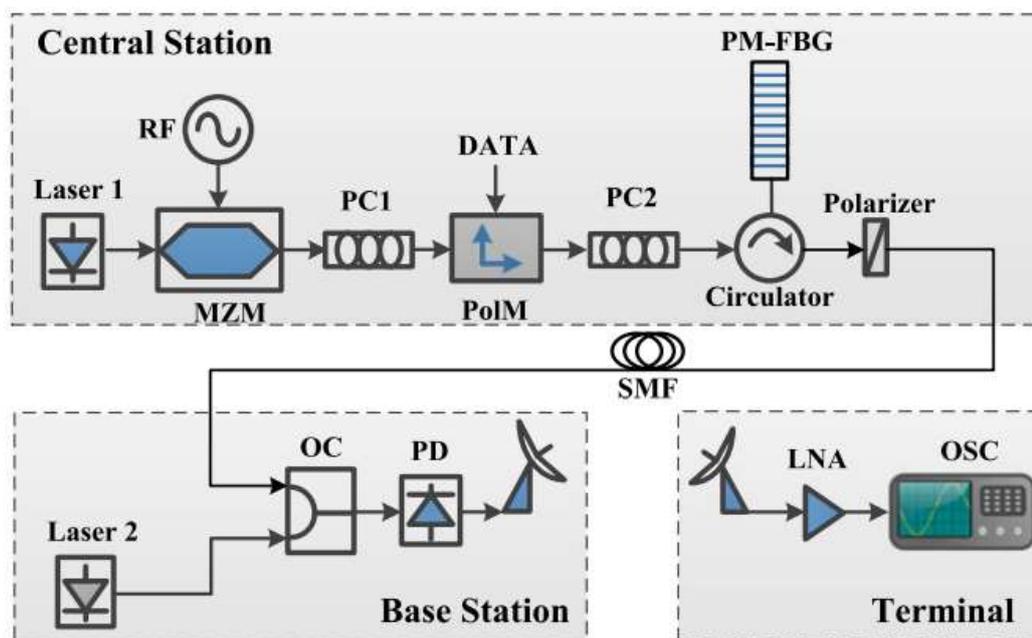


圖 4. RoF 傳輸系統的實驗架構

將上述所獲得的 FSK 訊號，將該訊號引入通訊系統做測試，增加一對天線或光學傳輸終端，最後透過誤碼率分析儀及光學數位示波器(OSC)做通訊系統的測定及性能的測定。

### 三、結果與討論

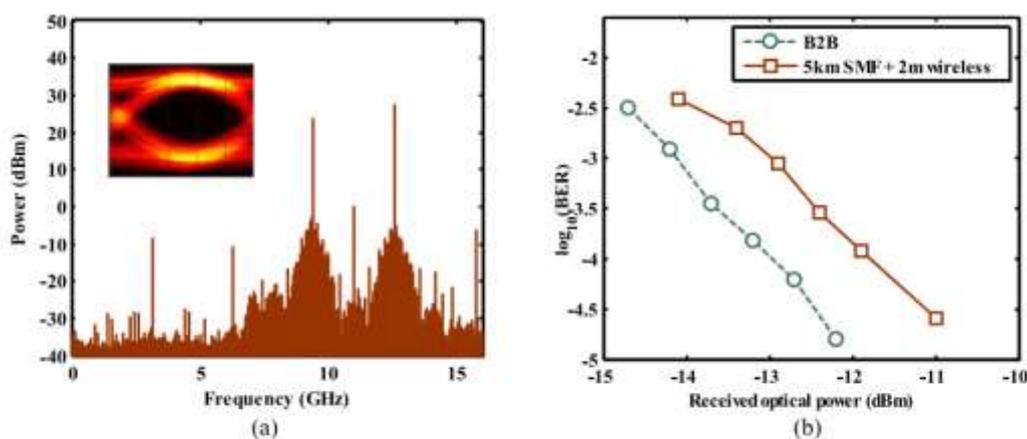


Fig. 6. (a) Spectrum of the received signal and eyediagram after demodulation; (b) BER versus the received optical power for B2B and optical wireless transmission.

將上述系統經過電頻譜分析儀、光學數位示波器、誤碼率分析儀的量測過後，如 Fig 6 所示，電頻譜上經過原始系統對傳(B2B)或通過 5 km 光纖距離+2 m 無線光傳輸過後，頻譜表現也相當穩定、眼圖也非常清晰，經過誤碼率測試下，當誤碼率滿足 FEC ( $BER < 3.8 \times 10^{-3}$ ) 下，B2B 最低可傳輸功率為 -13.9 dBm，經過 5 km 光纖距離+2 m 無線光傳輸，可傳輸功率約為 -12.5 dBm。

## 針對「使用偏振維持布拉格光柵的微波頻率偏移訊號生成」的討論

### 四、結論

這篇論文提出並實驗驗證了一種具有寬頻率範圍諧調性的微波頻率偏移調變 (FSK) 訊號生成的光學方法。首先，展示了具有不同載波頻率的 FSK 訊號波形。實驗結果顯示，載波頻率可以通過調整外加雷射的波長來連續調整。隨後，在基於光學外差的 RoF 傳輸鏈路中，對獲得的 FSK 訊號的性能進行了研究。實驗採用數位訊號處理 (DSP) 方法來解調接收到的訊號，並測量了 B2B 和 5 公里單模光纖 (SMF) + 2 米無線傳輸的誤碼率曲線，驗證了所提出方案在 RoF 傳輸系統中的可行性。

該篇論文對於微波頻率偏移調變 (FSK) 訊號生成的光學方法提出了一種創新的實驗驗證，這對於我在於課堂知識和研究方面的理解帶來了顯著的幫助。本次課堂報告讓我獲益良多，論文實驗部分的描述和結果分析可做為學習上的重要參考，使我對光學通信技術的未來發展和應用有了更深的見解。



## 參考文獻

- [1] J. Ye et al, "Photonic Generation of Microwave Frequency Shift Keying Signal Using a Polarization Maintaining FBG," *IEEE Photonics Technol. Journal.*, vol. 10, no. 3, 5501108, Jun. 2018.
- [2] Gao, W., Liu, J., Guo, H. et al. "Multi-Wavelength Ultra-Weak Fiber Bragg Grating Arrays for Long-Distance Quasi-Distributed Sensing." *Photonic Sens* 12, 185–195 (2022).
- [3] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, B. S. Kawasaki; Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication. *Appl. Phys. Lett.* 15 May 1978; 32 (10): 647–649.
- [4] G. S. D. Gordon, M. J. Crisp, R. V. Penty, T. D. Wilkinson and I. H. White, "Feasibility Demonstration of a Mode-Division Multiplexed MIMO-Enabled Radio-Over-Fiber Distributed Antenna System," in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 32, no. 20, pp. 3521-3528, 15 Oct.15, 2014
- [5] D. Wake, A. Nkansah, and N. J. Gomes, "Radio Over Fiber Link Design for Next Generation Wireless Systems," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 28, no. 16, pp. 2456–2464, Aug. 2010.

