

# 超寬頻 60 GHz 光載微波無線系統

## Ultra Broadband 60 GHz Radio-over-Fiber System

黃厚茨、江雅棠、劉煥清、孫長新、吳孟凡、許訓豪、林俊廷

Hou-Tzu Huang, Ya-Tang Chiang, Huan-Ching Liu, Chung-Shin Sun, Meng-Fan Wu, Hsun-Hao Hsu, Chun-Ting Lin

本文透過實際架設之實驗系統展示一超高資料傳輸速率之 60 GHz 光載微波無線系統。其光訊號產生方法為透過將單電極馬氏調變器偏壓在低點的簡單架構產生雙邊帶光訊號，再以倍頻方式產生 60 GHz 毫米波電訊號。基於提高頻譜效益的原因，我們選擇正交分頻多工技術來加密訊號。本文旨在討論雙邊帶光訊號在光纖傳輸時所受到的射頻凋零以及拍擊干擾對訊號傳輸品質的影響。透過理論分析、及軟體 VPI WDM-TransmissionMaker 模擬以及實際實驗驗證，我們藉由位元存取演算法以及 I/Q 不平衡補償法，以 7 GHz 的 60 GHz 正交分頻多工加密訊號達到 1 公里標準單模光纖傳輸及 10 公尺無線傳輸下，分別達到資料傳輸率至少 40 Gbps 的光載微波無線系統。

This paper demonstrates the feasibility of a simple multigigabit-per-second (Gbps) radio-over-fiber (RoF) system employing multilevel orthogonal frequency-division-multiplexing (OFDM) signal modulation at 60 GHz and a single-electrode Mach-Zehnder modulator (MZM). In this paper, the impact of fiber chromatic dispersion and OFDM beat noise on the performance of the RoF system are investigated by theoretical analysis, VPI WDM-TransmissionMaker simulation, and experimental demonstration. A more than 40 Gbps OFDM signal occupying the full 7 GHz license-free band at 60 GHz with frequency multiplication for the RoF link is demonstrated. In the proposed system, Levin-Campello rate adaptive bit-loading algorithm and I/Q compensation algorithm were used to maximize the system capacity. At least 40 Gbps under condition of 1 km standard single mode fiber transmission and 10 m wireless distance was achieved.

### 一、簡介

隨著訊號傳輸的需求量日益增加，通訊系統也隨之發展出更新的應用層面與技術。為了追求更高的傳輸效益，有許多研究致力於改善目前微波網路系統的頻譜效益並提供更完善的服務品質。近年來主要的 802.16d (固定式) 與 802.16e (移動式) WiMAX 無線系統，只能提供 100 Mbps 左

右的下行頻寬<sup>(1)</sup>，因此為了滿足如超高畫質電視 (UHDTV)、高度現實感電視電話會議、遠程醫療與遠端教育教學等如圖 1 所示之高速多媒體影音服務需求、解決資料壓縮與解壓導致的訊號失真與延遲問題，提高資料傳輸速率已是必然的趨勢。

超高速無線通訊技術是突破網路存取速度瓶頸的關鍵技術之一。由於美國聯邦通訊委員會 (FCC) 在 2001 年將 57 GHz 至 64 GHz 間共 7 GHz 頻寬的



圖 1. 訊號傳輸量日益漸增的通訊應用。

頻段開放為免認證授權頻帶<sup>(2)</sup>，如圖 2 所示，因此 60 GHz 毫米波通訊系統具有相當之潛力滿足未來 Gbps 無線通訊之需求。然而 60 GHz 毫米波訊號能量在空氣中會遭受嚴重的氧氣吸收而衰減 (~15 dB/km at 60 GHz)，因此傳輸距離被限制於大約 10 公尺以內<sup>(3)</sup>。但相對的，此特性使得不同訊號即使在相同頻帶上仍有較高的空間彈性，達到相對較高的頻譜效益，進而提供高速的資料傳輸。

為了有效利用此 7 GHz 免認證頻寬藉以發展高速 60 GHz 無線傳輸系統，光載微波無線系統 (radio over fiber, RoF) 受到廣泛的討論及研究，並且被認為是極具潛力的選項之一。

然而現今的光載微波無線訊號系統仍存在著許多問題，如頻譜響應 (frequency response)、射頻凋零 (RF fading) 和拍擊干擾 (beat interference) 等<sup>(4)</sup>。因此若能利用實驗技巧或數位訊號處理 (digital signal procession, DSP) 去解決這些問題，將會使光載微波無線訊號系統的實用性大大提升。

## 二、光載微波無線系統

光載微波無線訊號系統，因利用光纖作為訊號傳輸媒介，擁有無頻寬限制、低能量傳輸損耗以及高覆蓋率的特性，是最受矚目的通訊技術之一，

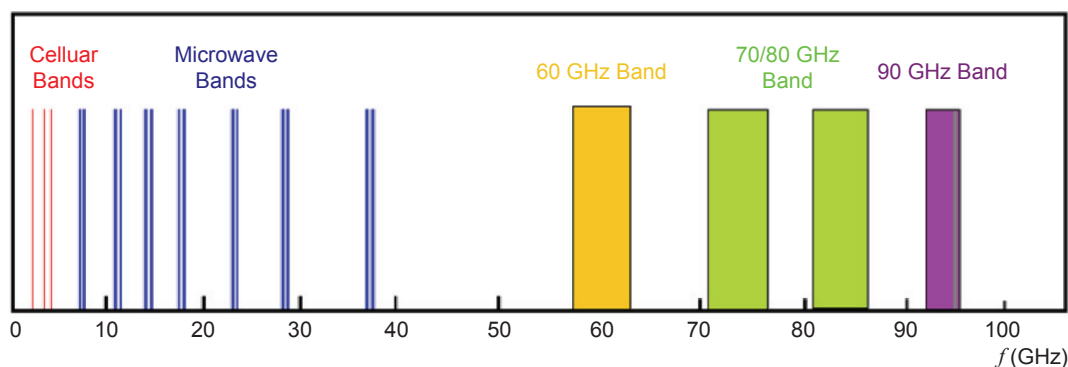
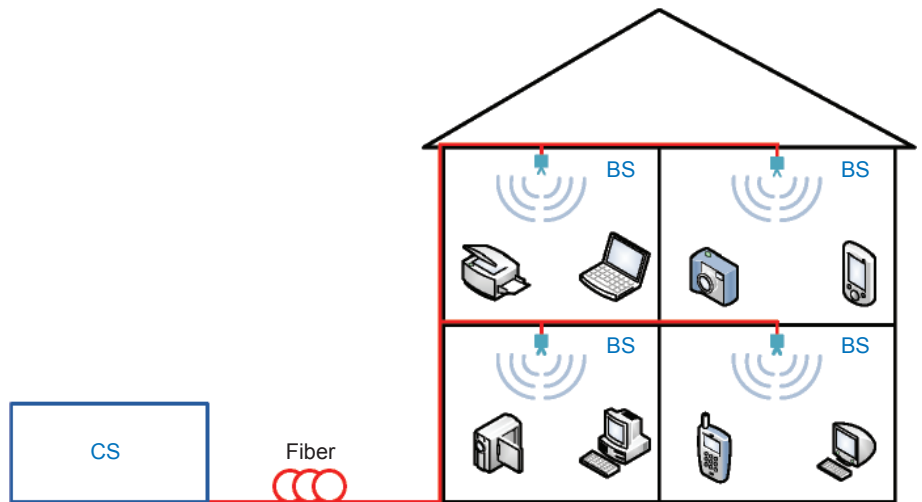


圖 2. 100 GHz 內可供無線通訊技術利用的頻段。

圖 3. 光載微波無線系統示意圖。



在近年來受到了熱烈的研究與發展<sup>(5, 6)</sup>。藉由結合有線與無線的傳輸模式，我們能夠將任何大容量頻帶，如：毫米波／兆赫波應用在任何網路系統與架構，並且有效解決最後一哩的問題，為下世代傳輸網路帶來高容量的傳輸優點。

光載微波系統，其簡化光纖傳輸前端之系統架構可最大化此系統的經濟效益，故將電訊號載至光訊號之元件為最大關鍵。光載微波無線訊號系統的概念如圖 3 所示，透過資訊中心 (central station, CS) 將電訊號載入雷射光源之中調變產生光訊號，再利用光纖將此訊號傳送給各基地台 (base station, BS)，而基地台只需要利用光偵測器將光訊號轉換成電訊號，接著利用天線即可將訊號發送給使用者接收。

### 三、實驗架構

為了簡化 RoF 系統的前端架構，我們提出了以單電極馬氏調變器 (single-drive Mach-Zehnder modulator, SD-MZM) 為電光轉換元件的簡單架構。利用將加於馬氏調變器之偏壓加在低點 (null point) 的作法，可以抑制雷射光源頻率載波，形成雙邊帶光訊號 (optical double sideband, ODSB)，從而在光電轉換產生 60 GHz 訊號時得到倍頻的效果。此機制使得 RoF 系統前端得以使用較低成本的低頻元件，且可以避免高頻電訊號在同軸電纜線的高傳輸損耗。

本實驗系統使用正交分頻多工 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 技術調變頻寬為 7 GHz 的訊號，由任意訊號產生器 (arbitrary waveform generator, AWG) 產生基頻訊號 (如圖 4(i))，透過正交混頻器升頻至 25 GHz (如圖 4(a))，接著由射頻訊號產生器產生一頻率為 35.5 GHz 之弦波 (如圖 4(b))，再使用直接耦合器 (directional coupler) 將已升頻之電訊號和射頻弦波結合 (如圖 4(c))，產生所需的電訊號：

$$V(t) = V_{\text{bias}} + V_1 \cos(\omega_1 t) + V_2 \cos(\omega_2 t) \quad (1)$$

透過將產生的電訊號加載在單電極馬氏調變器，並將直流偏壓控制在  $V_{\pi}$ ，將公式 (1) 代入公 (2)，

$$E_{\text{out}}(t) = E_0 \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \begin{bmatrix} J_{2n-1}(m) \cos(\omega_0 t + (2n-1)\omega_{\text{RF}} t - n\pi) \\ + J_{2n-1}(m) \cos(\omega_0 t - (2n-1)\omega_{\text{RF}} t + n\pi) \end{bmatrix} \right\} \quad (2)$$

經過貝索 (Bessel) 函數展開，並簡化可得輸出訊號為：

$$E_{\text{out}}(t) = E_0 \left\{ J_0(m_2) J_1(m_1) \cos[(\omega_0 \pm \omega_1)t] + J_0(m_1) J_1(m_2) \cos[(\omega_0 \pm \omega_2)t] \right\} \quad (3)$$

其中， $m_1 = \pi(V_1/2V\pi)$ ， $m_2 = \pi(V_2/2V\pi)$ 。

從公式 (3) 可以看出，此輸出訊號為 USB1 和 LSB2 (USB2 和 LSB1) 頻距為 60.5 GHz 的雙邊帶光訊號，如圖 4(d) 和圖 4(ii) 所示。訊號經摻鉕光纖放大器 (erbium doped fiber amplifier, EDFA) 放大訊號功率後，以標準單模光纖傳輸至基地台透過頻寬達 67 GHz 光電轉換器 (photodiode, PD) 產生中心頻率在 60.5 GHz 的無線毫米波訊號，以發射天線傳送至數公尺外的接收天線端。最後，以低雜訊放大器放大訊號功率後，利用 56 GHz 弦波降頻至 4.5 GHz 後由示波器接收並加以應用。

以圖 4(d) 為例，該頻譜圖表示產生的光正交分頻多工訊號和射頻弦波訊號的頻譜，其中包括兩個上邊帶 (upper side-band, USB1/2) 和兩個下邊帶 (lower side-band, LSB1/2)，且由於馬氏調變器之偏壓設定於  $V_\pi$ ，雷射頻率之輸出被抑制，使得能量

可集中分布於所需要之訊號及載波。而根據光電轉換器的平方律 (square law) 模型，訊號經過光電轉換後可表示為：

$$I_{\text{photo}} = (\text{USB1} + \text{USB2} + \text{LSB1} + \text{LSB2})^2 \quad (4)$$

並可展開為：

$$\text{Baseband} = \text{USB1}^2 + \text{USB2}^2 + \text{LSB1}^2 + \text{LSB2}^2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{OFDM signal at the sum frequency} \\ = \text{USB1} \times \text{LSB2} + \text{USB2} \times \text{LSB1} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{OFDM signal at the frequency difference} \\ = \text{USB1} \times \text{USB2} + \text{LSB1} \times \text{LSB2} \end{aligned} \quad (7)$$

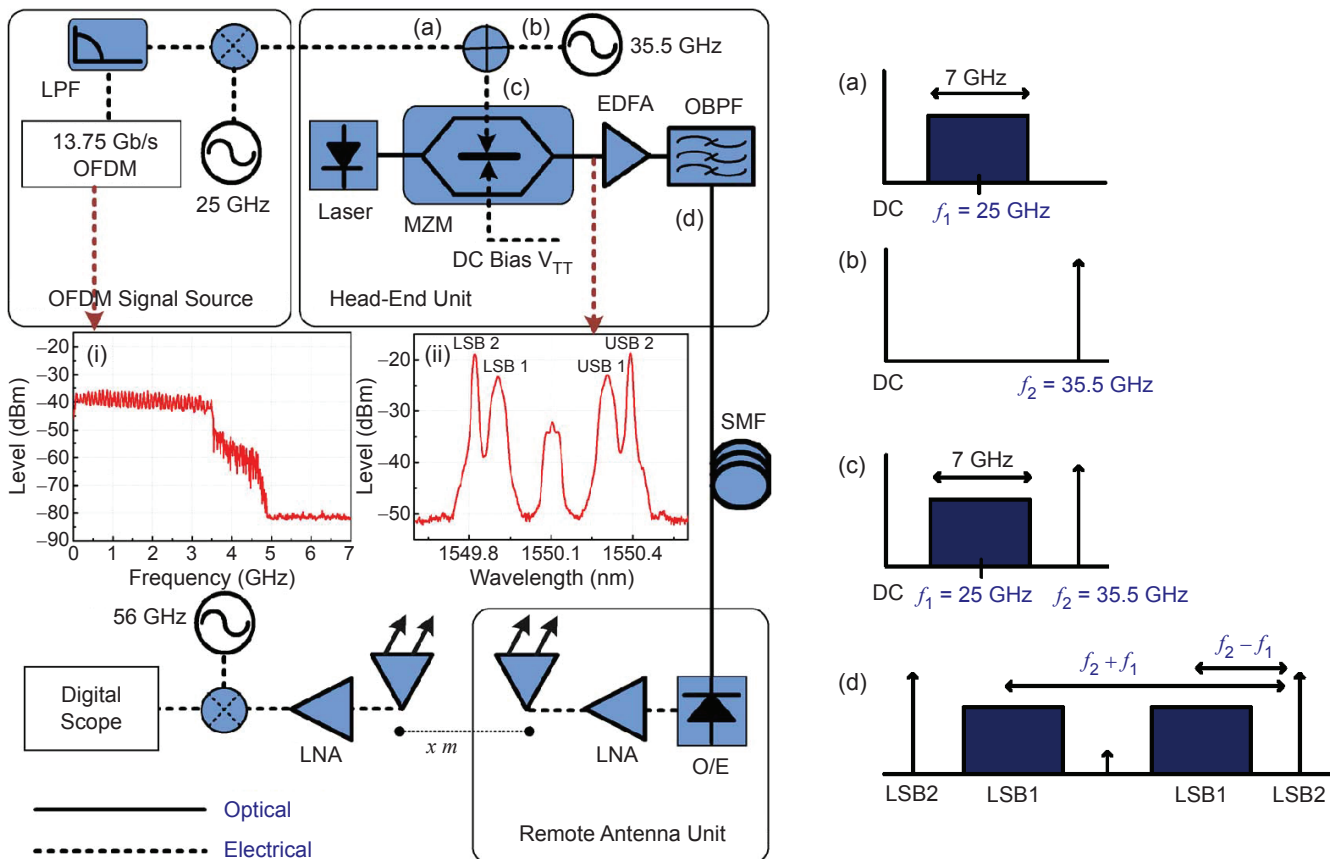


圖 4. 實驗架構圖，大致分為四個部分：產生訊號，將電訊號轉成光訊號，通過光纖傳送後再由光訊號轉回電訊號，接收訊號。

$$\text{Beat noise} = \text{USB1} \times \text{LSB1} + \text{USB2} \times \text{LSB2} \quad (8)$$

其中  $\text{USB1} \times \text{LSB2}$  和  $\text{USB2} \times \text{LSB1}$  的拍擊項在頻率和  $(f_2 + f_1)$  上產生所求的 OFDM 電訊號， $\text{USB1} \times \text{USB2}$  和  $\text{LSB1} \times \text{LSB2}$  則產生在頻率差  $(f_2 - f_1)$  的 OFDM 電訊號，使用  $(f_2 + f_1)$  所產生的 OFDM 訊號為所需無線訊號，此系統允許 60 GHz 訊號得以使用較低頻的電和光元件產生，例如單電極馬氏調變器 ( $< 40$  GHz)。這些元件都方便取得，且有非常好的效能 (例如：平坦的頻率響應)。然而  $f_1$  和  $f_2$  的頻率選擇會衍生出兩個對系統性能影響甚劇的問題，在此提出並加以討論。

## 1. 射頻凋零

由於產生所需要的無線訊號的光訊號拍擊項來源有兩個，分別為  $\text{USB1} \times \text{LSB2}$  和  $\text{USB2} \times \text{LSB1}$  的拍擊項。然而光纖傳輸後，兩個生成的射頻訊號之間的相對相位會改變，因為傳輸時光纖色散，導致兩個旁帶的傳播速度有輕微差異，導致光纖傳輸，並經光電轉換後兩所需拍擊項相對相位達到 180 度，電射頻訊號就會消失，此現象即所謂射頻凋零。

當光射頻訊號傳輸通過標準單模光纖時，因為光纖色散，導致光邊帶相對光載波有相位偏移。光纖的傳播常數可以表示為<sup>(7)</sup>

$$\beta(\omega) = n(\omega) \frac{\omega}{c} = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_c) + \frac{1}{2} \beta_2(\omega - \omega_c)^2 + \dots \quad (9)$$

其中  $\beta_m = (d^m \beta \omega^m)_{\omega = \omega_c}$  是傳播常數以  $\omega = \omega_c$  微分。為了簡化分析，在 1550 奈米波段的高階色散影響 (三階以上) 忽略不計。載波在中心頻率  $\omega = \omega_c \pm n\omega_{\text{RF}}$  有  $\beta(\omega_c \pm n\omega_{\text{RF}}) \cong \beta_0 \pm n\beta_1(\omega_c)\omega_{\text{RF}} + (1/2)n^2\beta_2(\omega_c)\omega_{\text{RF}}^2$  和  $\beta_2(\omega_c) = -(c/2\pi f_c^2)D(\omega_c)$ ，其中  $c$  是光在真空中的速度， $D$  為色散的參數， $f_c$  為光載波的頻率。一般來說，對標準單模光纖而言， $D$  為 17 ps/(nm·km)。因此在通過標準單模光纖傳輸距離  $z$  後，光訊號可被表示為

$$E_{\text{out}}(t) = E_0 \left\{ J_0(m_2)J_1(m_1) \cos \left[ (\omega_c \pm \omega_1)t - \beta_0 z \mp \beta_1 \omega_1 z - \frac{1}{2} \beta_2 \omega_1^2 z \right] + J_0(m_1)J_1(m_2) \cos \left[ (\omega_c \pm \omega_2)t - \beta_0 z \mp \beta_1 \omega_2 z - \frac{1}{2} \beta_2 \omega_2^2 z \right] \right\} \quad (10)$$

經過光偵測器後，在  $\omega_1 + \omega_2$  頻率的毫米波光電流可表示為

$$i_{\omega_1 + \omega_2}(t) = RE_0^2 J_0(m_2)J_1(m_1)J_0(m_1)J_1(m_2) \cos \left[ \frac{1}{2} \beta_2(\omega_2^2 - \omega_1^2)z \right] \quad (11)$$

由於光纖色散效應，射頻訊號的功率與  $\cos[1/2 \beta_2(\omega_2^2 - \omega_1^2)z] = \cos[1/2 \cdot 4\pi^2 \beta_2(f_2 - f_1)(f_2 + f_1)z]$  有關。因此頻率和  $(f_2 + f_1)$  及頻率差  $(f_2 - f_1)$  將決定射頻凋零的問題，其中將頻率和  $(f_2 + f_1)$  訂為我們所需的訊號頻帶可以降低頻寬的需求，而頻率差  $(f_2 - f_1)$  將決定射頻凋零的嚴重性，如圖 5 所示。

## 2. 拍擊干擾

拍擊干擾來自兩個正交分頻多工 (OFDM) 訊號  $\text{USB1} \times \text{LSB1}$  的拍擊干擾<sup>(6)</sup>。如果沒有適當選

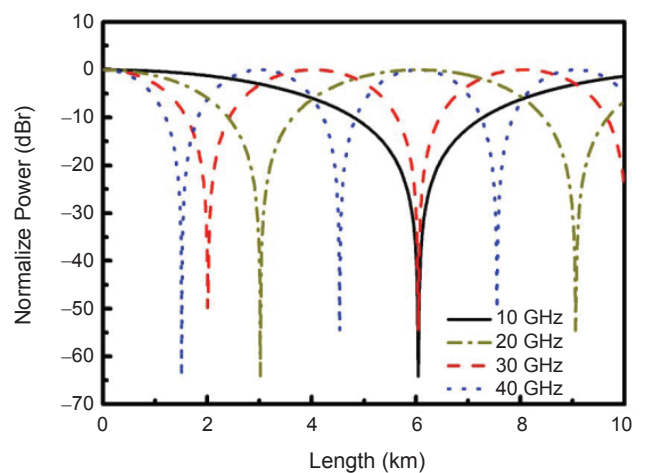


圖 5. 頻率和  $(f_1 + f_2)$  設定在 60.5 GHz，不同頻率差  $(f_2 - f_1)$  下，光纖色散導致能量衰減模擬圖。

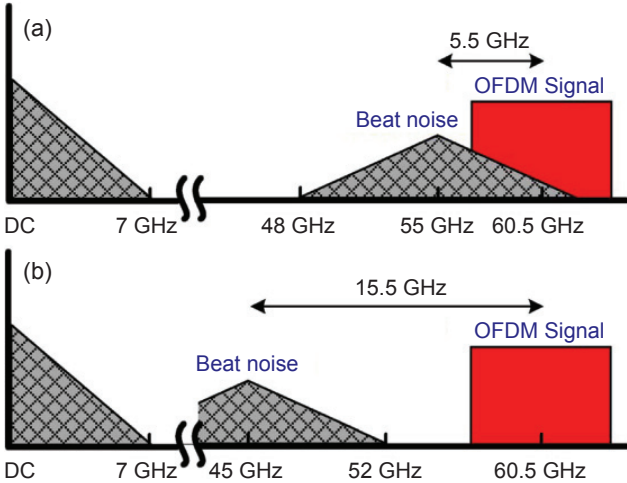


圖 6. 不同頻率差 ( $f_2 - f_1$ ) 之下，訊號與拍擊干擾頻譜示意圖。

擇正交分頻多工 (OFDM) 訊號的中心頻率，拍擊干擾將會落在訊號頻帶裡，並且嚴重降低系統的效能。

以 60 GHz 的應用為例，頻率和 ( $f_2 + f_1$ ) 設定在 60.5 GHz，而頻率差 ( $f_2 - f_1$ ) 將決定射頻調零的影響。如圖 5 所示，當頻率差增加時，射頻訊號功率會迅速地下降。對頻率差為 10 GHz 和 40 GHz 而言，第一個深谷分別發生在光纖傳輸 6 公里和 1.6 公里處。訊號與載波較小的頻率差，不僅可以避免射頻調零，同時也降低了傳送端對於頻寬的需求。但是，小頻率差的缺點是有拍擊干擾的風險。例如，如果選擇頻率差為 5.5 GHz，且設定頻率  $f_2 = 33$  GHz 和  $f_1 = 27.5$  GHz，在使用 7 GHz 訊號頻寬的情況下，產生的電訊號佔據 24 至 31 GHz 的頻率，而最後產生的 OFDM 訊號落在 57 至 64 GHz 頻帶。然而拍擊干擾 ( $USB1 \times LSB1$ ) 將會填入 48 至 62 GHz 共 14 GHz 的頻帶，並落入訊號頻帶內，如圖 6(a)，可能會造成系統的效能嚴重降低。因此在設計過程有必要選擇適當的頻率，以避免拍擊訊號引起系統的效能降低。以圖 6(b) 所示為例，將頻率差設定為 15.5 GHz，使得拍擊干擾佔據 38 至 52 GHz 頻寬，且不會對訊號造成影響。

#### 四、實驗結果

圖 7 顯示降頻至 4.5 GHz 後的 OFDM 訊號有 7 GHz 頻寬，且色散引起的射頻調零會隨著光纖傳輸距離變長而增加。據觀察，射頻訊號的低頻部分調零得更快也更深，正吻合前面理論分析的預測。而會導致此結果的原因是因為射頻訊號的低頻部分所產生的兩個輸入電訊號頻率差較大。在固定 3 公尺無線傳輸距離下，使用不同光纖傳輸距離解調 OFDM 訊號的星座圖，如圖 8 所示，可以觀察到在光纖長度三公里內星座圖都非常清楚。

圖 9 顯示 41.4 Gbps 正交分頻多工訊號經不同光纖長度以及 3 公尺無線傳輸後再解調的訊號功率敏感度。在未經光纖傳輸以及 1 公里的光纖傳輸中，訊號的光功率至少要 -2 dBm 才能達到最佳的誤碼率  $9 \times 10^{-4}$ ，這個值低於前向錯誤更正 (FEC) 沒有誤差的門檻。另外，位元存取 (bit-loading) 以及  $I/Q$  不平衡 ( $I/Q$  imbalance) 的參數，是藉由在未經光纖傳輸的強況下 (訊號光功率 = -1.5 dBm) 先達成最佳化，然後在整個敏感度的量測中保持常數<sup>(8)</sup>。

圖 10 顯示出在不同的無線傳輸距離以及 40 Gb/s 的位元傳輸率中，誤碼率是射頻訊號功率的函數 (經過無線傳輸之後)。在 10 公尺的例子裡整個系統的最佳接收射頻訊號功率為 -37 dBm。如圖 3 所示，射頻訊號功率 -38 dBm 在所有被研究過的

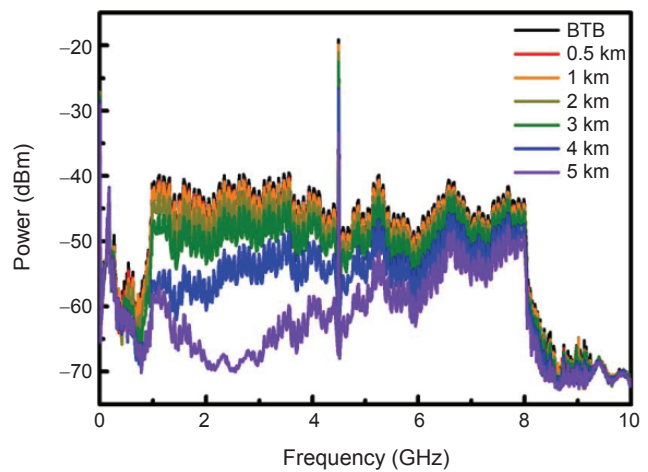


圖 7. 經不同光纖傳輸距離後降頻至 4.5 GHz 的電頻譜圖。

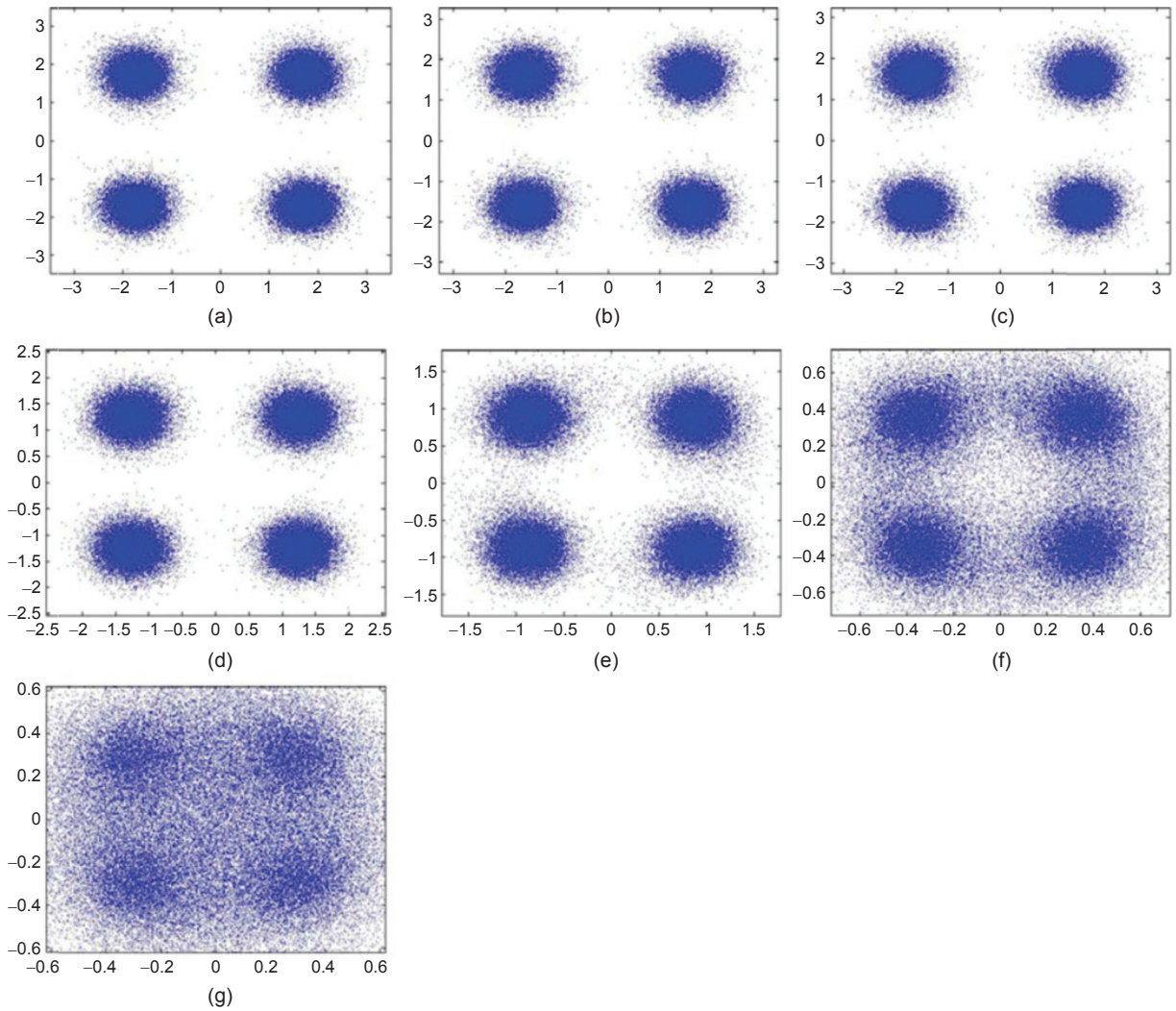


圖 8. 在不同光纖傳輸距離下的星座圖：(a) 0 公里、(b) 0.5 公里、(c) 1 公里、(d) 2 公里、(e) 3 公里、(f) 4 公里、(g) 5 公里。

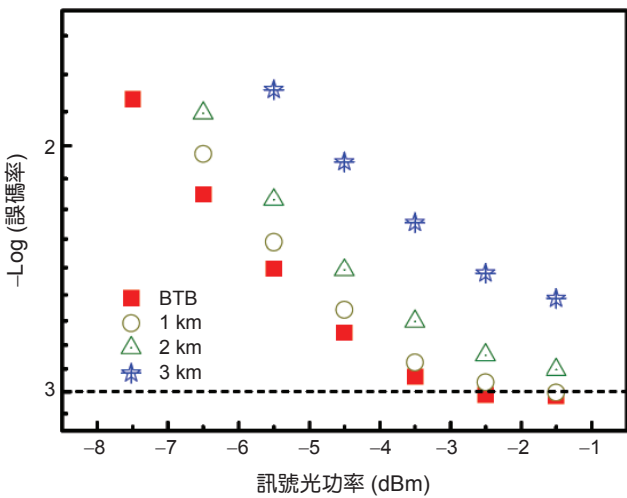


圖 9. 誤碼率對應訊號光功率的關係。

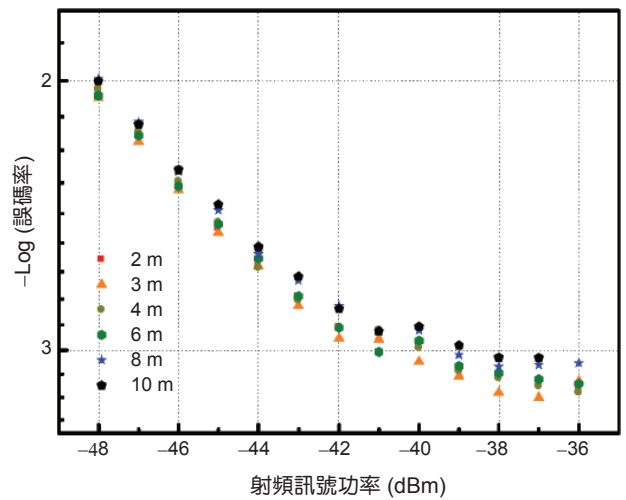


圖 10. 誤碼率對應射頻訊號功率的關係。

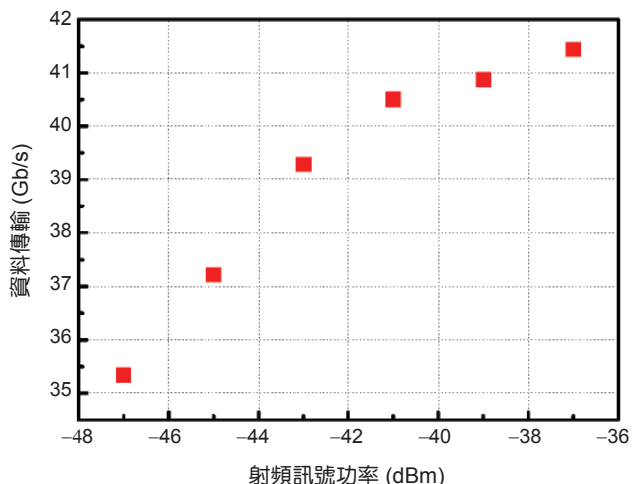


圖 11. 資料傳輸率對應射頻訊號功率的關係。

無線傳輸距離中已足夠達到前向錯誤更正 (FEC) 無誤差傳輸。

圖 11 顯示最大可得的位元傳輸率在未經光纖傳輸例子中是接收射頻訊號功率的函數。此例中，訊號光功率固定在  $-1.5$  dBm，無線傳輸距離為 3 公尺。在不同接收射頻訊號功率的情況下，位元存取和  $I/Q$  不平衡補償參數皆最佳化，以達最大的資料傳輸率。當接收射頻訊號功率大於  $-41$  dBm 時，可以達到超過 40 Gbps 的資料傳輸率，使得在無線傳輸距離的擴充仍有著相當大的餘裕。在圖 12 中，顯示不同無線傳輸距離可得的最高位元傳輸率。由此圖可觀察到在無線傳輸距離為 2 公尺和 10 公尺的情況下可分別達到最大 41.4 Gbps 以及

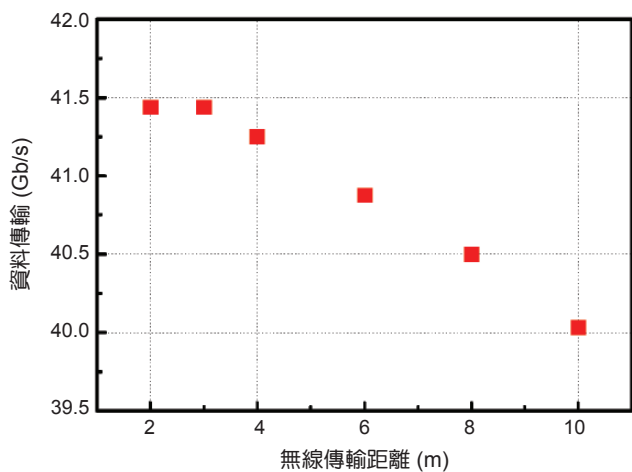


圖 12. 資料傳輸率對應無線傳輸距離的關係。

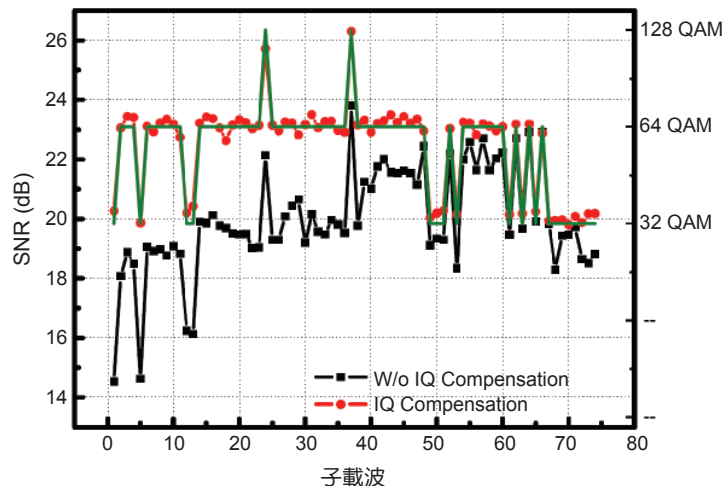


圖 13.  $I/Q$  不平衡補償的結果。

40 Gbps 的資料傳輸率。在此將訊號光功率和射頻訊號功率被分別固定在  $-1.5$  dBm 以及  $-37$  dBm。圖 13 顯示  $I/Q$  不平衡補償對光載微波無線訊號系統效能的影響。由圖 6 可明顯看出  $I/Q$  不平衡補償，使得正交分頻多工子載波的 SNR 有著顯著的增加。各子載波 SNR 的增加大幅提升了系統的資料處理容量 (capacity)。

最後，圖 14 顯示解調過的 40 Gbps 訊號經過 10 公尺的無線傳輸星座圖，其射頻訊號功率以及光的功率分別設定在  $-37$  dBm 和  $-1.5$  dBm。可清晰區別的星座點證實了極佳的訊號傳輸品質。

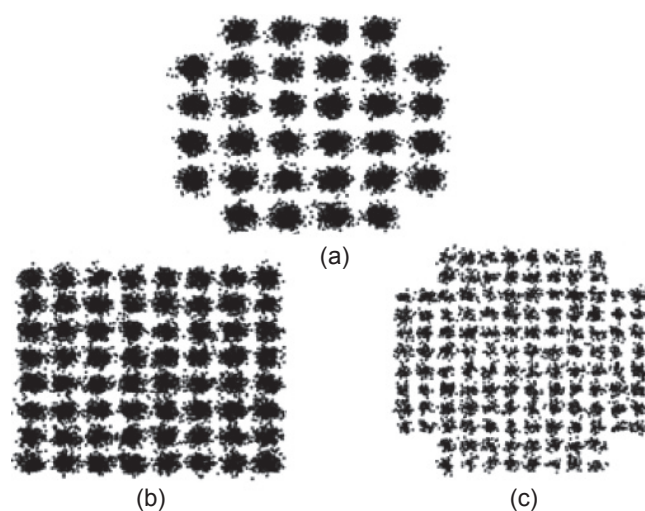


圖 14. 在 40 Gb/s 不同子載波經解調後的訊號，(a) 67-71、(b) 6-10、(c) 24-37。

## 五、結論

本文簡單討論了使用基於單電極馬氏調變器的光載微波無線系統。此系統中訊號在電頻的中心頻率以及外加弦波的頻率，將會決定經光纖傳輸時色散導致的射頻調零對接收訊號功率影響的嚴重程度。同時，本文也討論了上述之頻率選擇與拍擊干擾的關係，使得訊號得以藉由頻率選擇來避免拍擊干擾造成的系統品質低落。我們成功地展示在訊號經過 1 公里標準單模光纖傳輸和 10 公尺無線傳輸距離的 40 Gbps 資料傳輸，使得測量到的誤碼率低於前向錯誤更正編碼限制的  $1 \times 10^{-3}$ 。甚至在 3 公尺無線傳輸距離的情況下，本系統更可達到最高 41.4 Gbps 資料傳輸率。使用簡單的直接偵測振幅調變光載微波無線訊號系統結合正交分頻多工調變、動態位元存取，以及  $I/Q$  不平衡補償演算，成功得到顯著的系統效能改進。本研究成果提供了綜合光纖無線系統在未來需要多重 Gbps 短範圍 (multi-Gb/s short-reach) 應用上顯著的貢獻。

## 誌謝

此篇研究要感謝行政院國家科學委員會之計畫補助與美國康寧公司之研究合作及本實驗室已發表之研究成果<sup>(4)(5)</sup>。

## 參考文獻

1. T. Kleine-Ostmann and T. Nagatsuma, *J. Infrared Milli Terahz Waves*, **32**, 2 (2011).
2. FCC, *Code of Federal Regulation, title 47 Telecommunications, Part 15*, FCC 47 CFR 15.255 (2008).
3. H. Lehpamer, *CIC ref 203. Technical Paper* (2008).
4. W. J. Jiang, C.-T. Lin, A. Ng'oma, P.-T. Shih, J. Chen, M. Sauer, F. Annunziata, and S. Chi, *J. Lightwave Technol.*, **28**, 16 (2010).
5. A. Ng'oma, M. Sauer, F. Annunziata, W. J. Jiang, C. T. Lin, J. Chen, P. T. Shi, and S. Chi, *Proc. of OFC'09, OWF2* (2009).
6. M. Weis, M. Huchard, A. Stöhr, B. Charbonnier, S. Fedderwitz, and D. S. Jäger, *J. Lightwave Technol.*, **26**, 15 (2008).
7. G. P. Agrawal, *Fiber Optic Communication Systems*, 3rd ed. New York: Wiley (2002).
8. J. Campello, *Proc. IEEE Int. Symp. Information Theory*, 193 (1998).



黃厚茨先生現為國立交通大學光電系統所博士班學生。

Hou-Tzu Huang is currently a Ph.D. student in the Institute of Photonic System at National Chiao Tung University.



江雅棠先生現為國立中山大學光電研究所碩士班學生。

Ya-Tang Chiang is currently a M.S. student in the Department of Photonics at National Sun Yat-sen University.



劉煥清先生現為國立交通大學影像與生醫光電研究所碩士班學生。

Huan Ching Liu is currently a M.S. student in the Graduate Institute of Imaging and Biomedical Photonics at National Chiao Tung University.



孫長新先生為國立交通大學光電系統所碩士班學生。

Chung-Shin Sun is currently a M.S. student in the Institute of Photonic System at National Chiao Tung University.



吳孟凡小姐現為國立交通大學光電系統研究所碩士班學生。

Meng Fan Wu is currently a M.S.D. student in the Graduate Institute of Imaging and Biomedical Photonics at National Chiao Tung University.



許訓豪先生現為國立交通大學影像與生醫光電研究所碩士班學生。

Hsun Hao Hsu is currently a M.S.D. student in the Graduate Institute of Imaging and Biomedical Photonics at National Chiao Tung University.



林俊廷先生現為國立交通大學光電系統所副教授。

Chun-Ting Lin is currently an associate professor in the Institute of Photonic System at National Chiao Tung University.