

520nm Chaos Lidar in Underwater Application

綠光混沌光達在水中的應用

組 別：B169

指導教授：林凡異 教授

組員姓名：陳柏宇、李侑勳、賴瀚萬

Abstract

隨著自駕車近年來的快速發展，可以被稱為是自駕車之眼的光達也隨之更為大眾所關注。不過目前的光達多是使用於空氣中，如手機上的光達及車上配置的光達，於是我們便想嘗試光達在水下是否可以運作並在此基礎之上去尋找相關的應用。

由於電磁波在水中的吸收率遠大於在空氣中的吸收率，於是我們需要尋找一個最適合的頻率以減少電磁波在水中的耗損。在找到頻率後參考實驗室現有的光達架構建立我們的架構，確立了大致的架構後估算雷射所需的能量，計算雷射光在通過光纖耦合器(fiber coupler)、衰減器(attenuator)並出射至水箱擊中物體反射後的剩餘能量來選擇適合的雷射產生器。之後便是利用我們的架構開始進行一些訊雜比(SNR)的測量以及利用零差(homodyne)的方式產生訊號並計算參考光及反射光訊號之間的相關性(correlation)來進行單點的測距。

在進行多個點的測量之後就能建立一個 3D 的水中圖像，未來或許可以用於水產養殖、水深測繪及其他相關的應用。

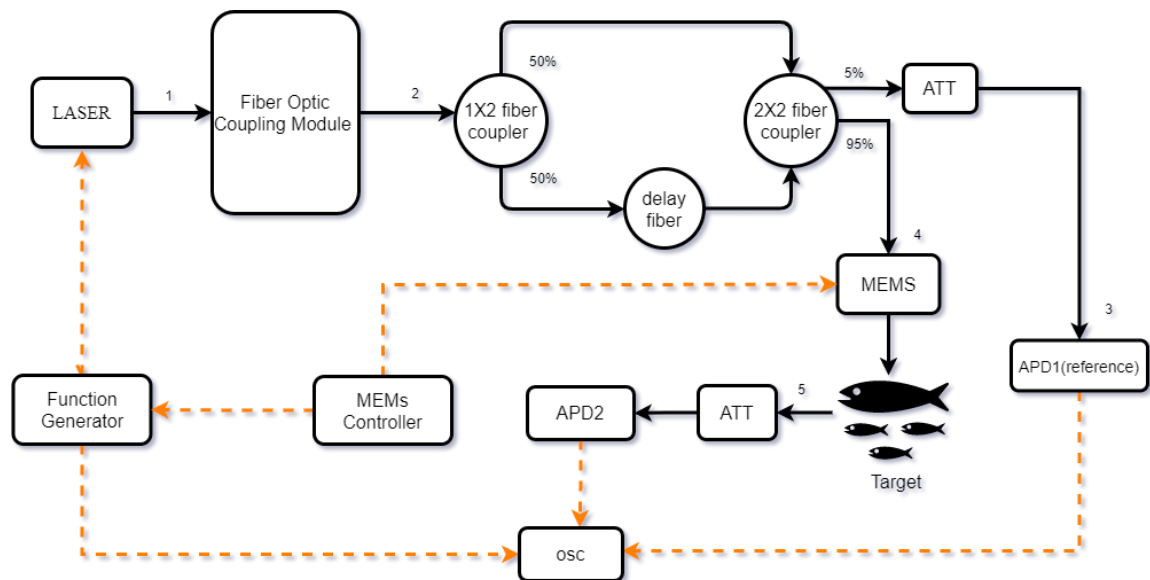
Introduction

一、 原理分析與系統設計

2.1 原理分析

光達的原理是使用雷射光作為光源，然後藉由光纖分成兩道光，其中一道光打到光偵測器(reference)，而另外一道打到目標物後反射再打入另一個光偵測器(target)，只要雷射光打入水中的強度夠強，大部分光線會穿過懸浮物或泥沙，直到打到目標物才反射，進而能比一般攝影機更加準確分析魚的大小和長度。實驗室裡原本就有研究紅外光混沌光達(1550nm)，但在水中紅外光的衰減率比綠光高，為使光在打到目標物反射後回來的能量能夠穿過懸浮物或泥沙，並且最後衰減完的能量足夠使光偵測器(target)收到訊雜比(SNR)夠大的訊號來辨識魚的生長狀況，並且在考量水中不同光波長的吸收率後，我們選擇 520nm 綠光雷射作為我們的光源。

2.2 架構設計



上圖中的實線為光的傳遞路徑，虛線為電的傳遞路徑

架構圖說明：

1. 以綠光雷射作為光源發射出 520nm 波長的雷射光，利用 fiber optic coupling module 把照射在空氣中的雷射光收集並調整方向使光線進入 1x2 的光纖(fiber coupler)。
2. 藉由 1x2 的光纖分光為兩道同調光，其中一道經由 delay fiber 使其和另外一道光相對有了延遲，之後再進入 2x2 的光纖裡進行 homodyne。再將光依強度分成強度 95%和 5%的光。
3. 強度 5%的光經過衰減器(ATT)後進入第一個光偵測器(APD1)作為 reference。
4. 強度 95%的光通過經由 MEMS controller 控制的 MEMS 後導入鹹水，光進入鹹水後能量會逐漸衰減直到打到反射率約 10%的目標物(魚)。
5. 再傳出水缸之外，再經由 cut 光 module 將光收集後經過衰減器打入第二個光偵測器 APD2(target)，最後藉由辨識兩個光偵測器接收到訊號作 correlation，得到單點的測距，再藉由多個點的測距成像，進而確定目標的大小、長度。

能量的計算：

為使最後接收到的能量足夠去分析，我們使用的是 NPL52C，peak power 是 1500mW，average power 是 9.3mW，圖上所用的數據是用 peak power 去計算，進入 APD1(reference)的能量則會是 3.578mW，而進入 APD2(target)的能量是 16.608mW，為使打入 APD 的能量不超過負荷，我們在兩個 APD 前面都加上了衰減器(ATT)使打入前的能量則都會衰減為 1mW；若用 average power 來做計算，進入 APD1(reference)的能量則會是 6.2 μ W，而進入 APD2(target)的能量也會是 6.2 μ W，實驗大部分計算值以 average power 為主，進入 APD2(target)的能量經過轉換後輸出電壓變為 2.79V，跟 noise 的最小值(0.15V)，計算出來的訊雜比(SNR)為 25.39，能夠讓我們易於辨識訊號。

再藉由改變目標物的反射率對隨著傳遞路徑不斷衰減的剩餘光線能量作圖(圖 a)，和隨著加深目標物在水中的深度對隨著傳遞路徑不斷衰減的剩餘光線能量的作圖(圖 b)了解不同時反射率或深度時的特性。

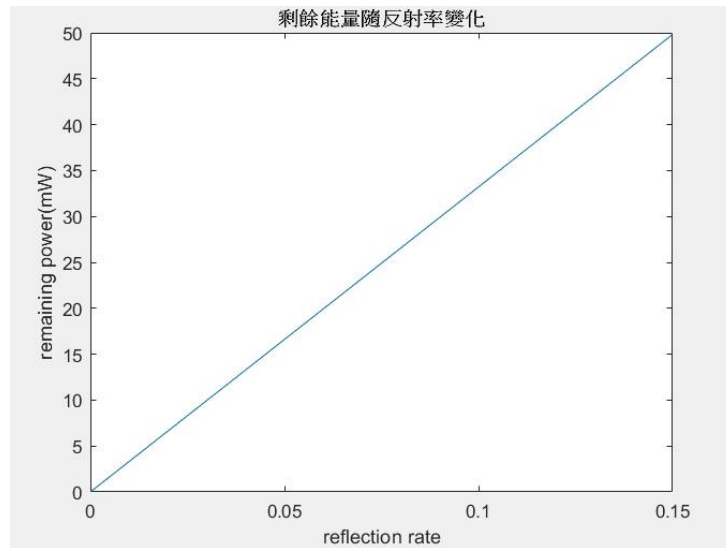


圖 a

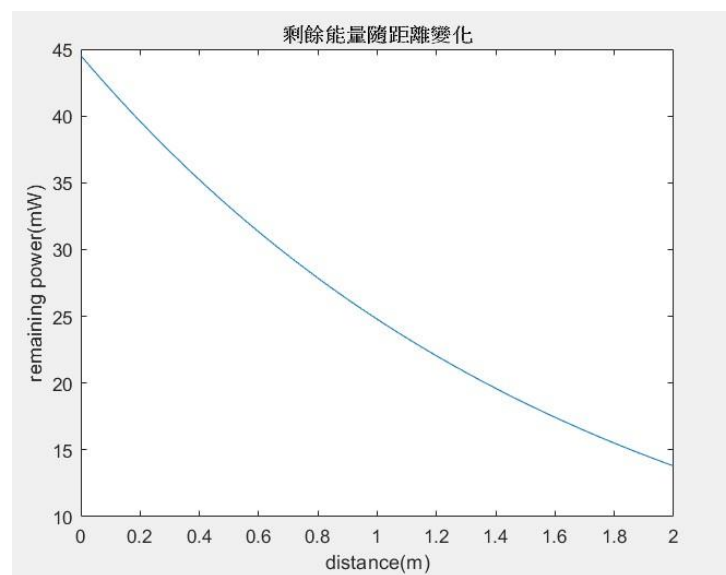
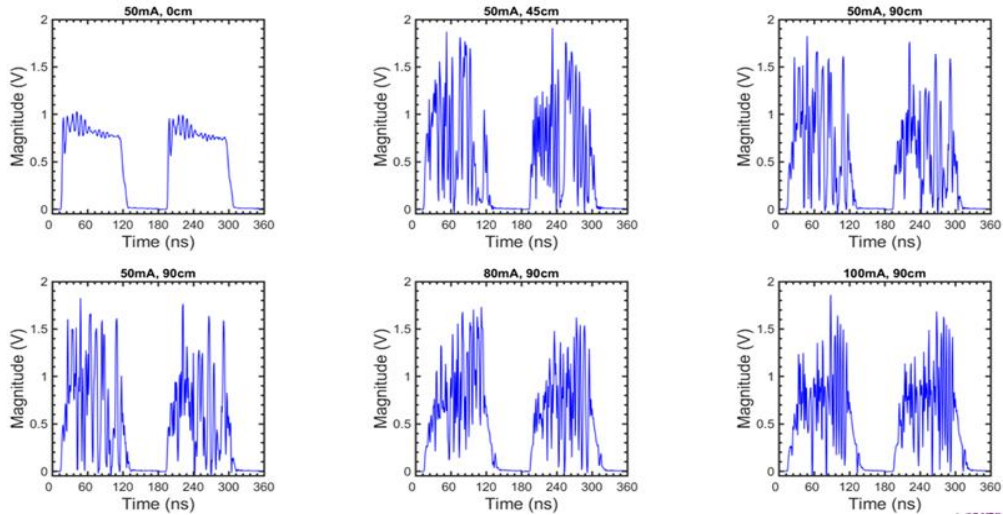


圖 b

二、 實驗與預期結果

因實驗器材還未到齊，以下皆引用自實驗室學長已經做出之數據：

不同 delay length 的差異：

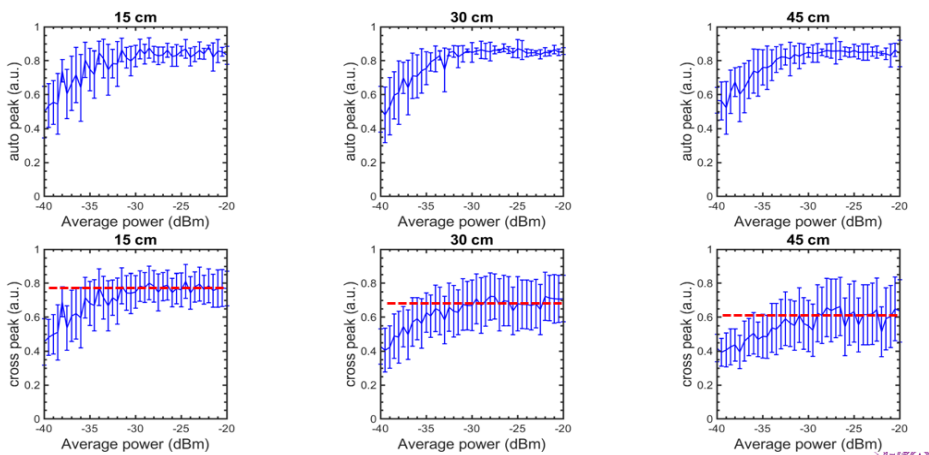


參考資料: Han-Ling Tsay 2021/9/27 progress report

Delay length 越長，強度會越集中在 1V 附近震盪，比較不會上一刻電壓是 1.5V 下一刻就掉到 0 V 的劇烈波動。

- Pulse width: 100 ns
- Peak current: 100 mA
- Average power: -40 ~ -20 dBm
- Homo. delay length: 15, 30, 45 cm

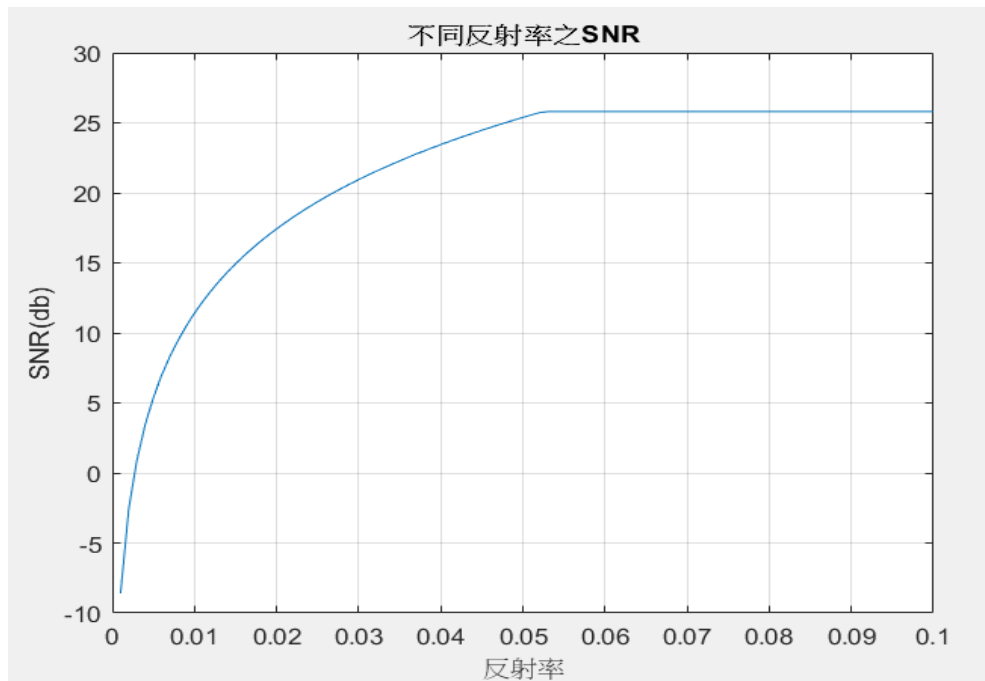
STD: 1σ



圖片來源: Han-Ling Tsay 2021/9/27 progress report

在-20dbm~-40dbm，delay length 對 auto-correlation peak 沒造成明顯差距。當光強度落在 -30dbm 以上，delay length 對和 cross-correlation peak 的值，不會有太明顯變化，在-30dbm 以下，delay length 越長，cross-correlation peak 的值越小。

不同反射率的 SNR 比較：



從 SNR 對反射率作圖可以發現反射率約大於 0.053 之後 APD 所會接收到的能量已為最大負荷能量 1mW，並且 SNR 為 25.39，再經過辨識兩個光偵測器接收到的訊號作分析進而得到測距及成像，確認目標物(魚)的生長狀況，能有效改善養殖漁業在混濁的水中無法清楚了解魚的生長狀況。

心得

陳柏宇：

從一開始選擇做這個專題時，就有想過混沌光達的題目對我們而言可能會非常困難，因為我們之前都還未修過光電工程，在進入光電領域的第一步就是做光電所實驗室的專題，在一開始專題還沒開始，聽教授講解的時候，我就非常喜歡這個主題，混沌光達的應用非常廣：我們所研究的關於水中應用的部分、應用光

達的自駕車，甚至連國防的設施都有應用到，未來展望也非常廣，在普及化後，可能會大大的改變我們的未來生活。

經過這次的專題，我們真的學到了很多，雖然途中也有遇到很多困難，但教授跟學長都很樂意幫助我們，首先要感謝的真的就是林凡異教授，教授人真的很好，在我們迷失方向都會給我們很棒的建議，除了教授以外，我真的很感謝李孟叡學長，儘管自己也有很多事情要忙，也盡力協助我們解決非常多問題，最後也很感謝我的組員李侑勳跟賴瀚萬，有了他們的協助與幫忙，這次的專題才能如此順利。

李侑勳 心得：

在這專題中我認為最特殊的經驗是實驗室器材的採買，由於我們選擇的雷射波長和實驗現有的完全不同，所以必須購買新的雷射，甚至連原本的光纖、耦合器、功率計、光接收器都得換成雷射相應波長的版本。於是我們找了各家廠商的產品，比對了各項參數及價格，向廠商詢問報價單，最後等待產品送達，我想很多其他組的專題生應該都沒有這個機會，不過也是因為教授本來就有進行這方面研究的打算我們才能有這機會，最後要感謝教授及實驗室各位學長的幫忙才能完成我們的專題。

賴瀚萬 心得：

最開始做專題是先了解雷射的原理。因為沒有修過相關課程，所以共振腔、gain medium、pumping source、population inversion 等概念花了一段時間才理解。接著，我們去了解學長姊的實驗所採用的架構、使用的器材、成果、功率的計算以及數據的處理。之後，就輪到我們建立自己的實驗架構。最先參考實驗室既有的架構，畫出架構圖，然後計算過程中功率上的損耗、能不能符合預期的目標並採買器材。因為我們的實驗目的是利用 520 nm 的光達(Lidar)去探測水下的狀況，希望將這套光達應用在養殖漁業上，用於判斷魚的大小及成長。然而，實驗室既有的器材都是操作在 1550 nm 的波段，無法用在 520 nm 的波段上，所以不只雷射和光偵測器，連衰減器、光纖、耦合器、光功率計都需要一起購買。尋找器材的過程中我們會看不懂的規格意義、不知道儀器的運作原理，若不是有著老師的指點和學長姐的幫忙，我想我們應該是沒辦法處理的。在找儀器時，遇上了很大的麻煩，有些器材實在找不到合適的規格。絕大部分光達的應用都是操作在紅外線波段，相關儀器也大多只適用於紅外光，綠光波段的儀器很有限。這時就只能尋找其他的替代品或微調架構圖。很可惜我們在做專題實驗的過程中遇上了

新冠肺炎的爆發，導致了實驗不短時間的中斷。另外，與國外廠商的聯絡、從報價到貨品的抵達也都耗掉了很多的時間，因此當貨品抵達後，我們沒有足夠的時間將實驗做出來。儘管沒能完成實驗，我仍舊覺得這兩個學期實在是受益良多！最後，再次感謝老師和各位學長姊在過程中的種種幫助，真是感激不盡。

Reference

- [1] 參考資料來源:Han-Ling Tsay 2021/9/27 progress report
- [2] Chih-Hao Cheng, Chih-Ying Chen, Jun-Da Chen, Da-Kung Pan, Kai-Ting Ting, and Fan-Yi Lin, "3D pulsed chaos lidar system," Opt. Express 26, 12230-12241 (2018)