



# 2020「中技社科技獎學金」

2020CTCI Foundation Science and Technology Scholarship

創意獎學金

Innovation Scholarship

## 3D 脈衝式混沌光達

## 3D Pulsed Chaos Lidar

國立清華大學 光電工程研究所 碩士班二年級 楊靖安 巫冠緯 孫嘉隆 蔡大傑

指導教授：林凡異 教授



國立清華大學  
NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY

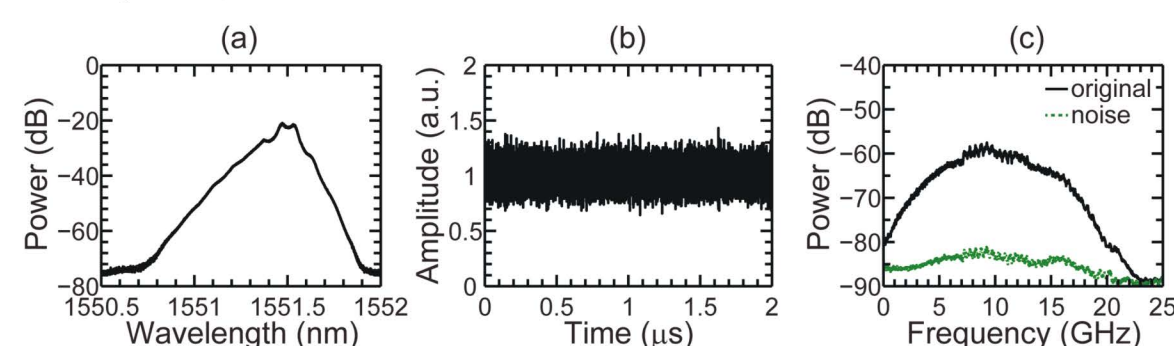
### I. 研究重點

有別於市售光達使用重複無調變的訊號，我們創新的將脈衝訊號以一簡單低成本的架構賦予其寬頻混沌調變，除可達到抗干擾的目的外，更大幅增加其測距精準度。

3D 脈衝式混沌光達系統主要分為三個核心模組，依序為混沌光源模組、光學收發模組、訊號處理模組

#### 混沌光源模組

市售光達大部分皆為重複性單一脈衝光源，故在有干擾光源的情況下光達系統將會大受影響，而我們透過半導體雷射之非線性動態行為，以簡單、低成本、易積體化之光回饋架構，將雷射光導入反射鏡並回饋至雷射腔體進行擾動，藉由控制光回饋強度以及延遲時間等參數，產生具有寬頻(數十GHz)且時序上隨機、不重複的混沌光訊號，如圖一所示。為了進一步提升遠距離偵測能力以及符合人眼安全規範，我們將連續混沌光源藉由半導體光放大器(SOA)做增益開關調製技術以產生脈衝光源，經由光纖耦合器分為兩道後，一道直接以雪崩式光偵測器接收作為參考訊號，另一道經由主從式光功率放大器(MOPA)架構，以摻鉕光纖放大器(EDFA)做後級放大並送至光學收發模組。

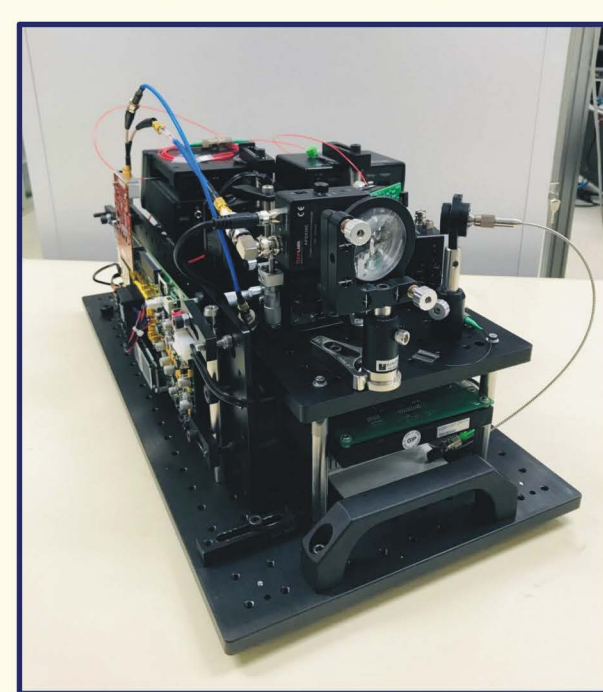


圖一、混沌訊號之(a)光譜圖、(b)時域圖、(c)頻譜圖

#### 光學收發模組

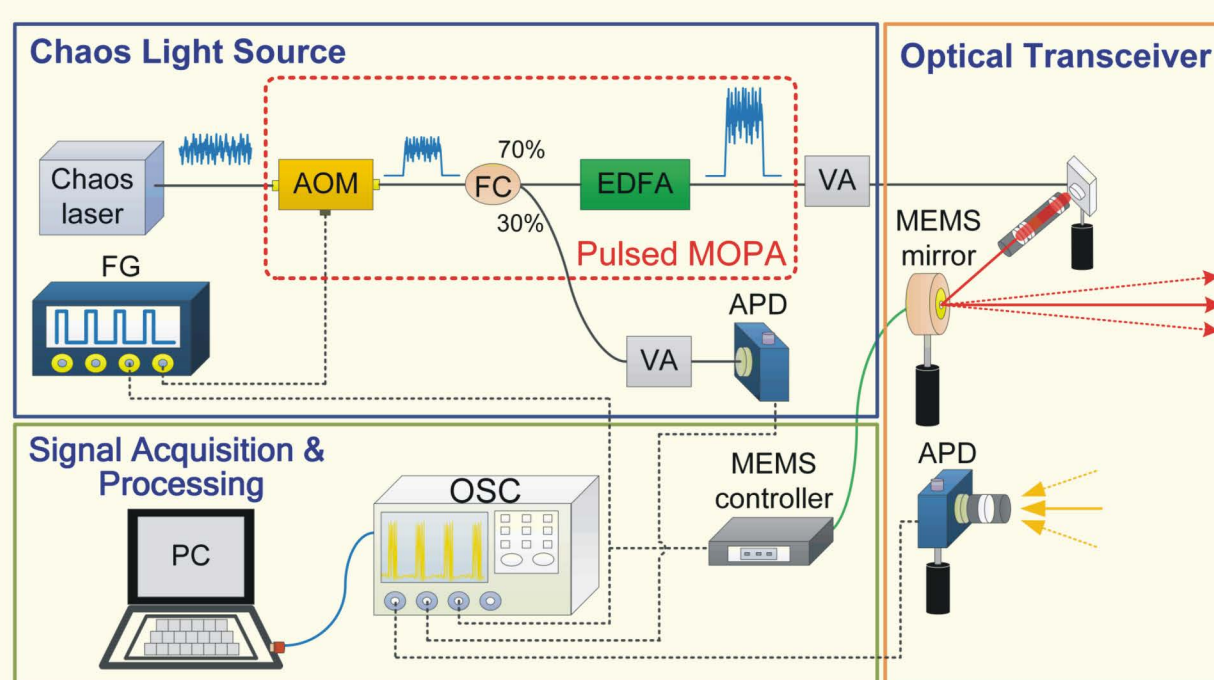
本系統僅採用一組光學收發模組，調製完成之雷射光必須搭配光準直器以及微機電微鏡(MEMS mirror)，將其光束導引進行水平與垂直兩個維度之掃描，相較採用機械旋轉機構的光達，不僅可針對目標物之遠近適應性地進行高垂直解析之掃描，同時更具備體積精巧與低成本之優勢。最後透過光學鏡組之優化設計，以多透鏡組合突破單一透鏡的工藝極限，在維持相同的收光面積下同時得到更短的等效焦距，使系統具有更大的感測收發視角。

#### 3D脈衝式混沌光達離型系統



(長度:60 cm、寬度:30 cm、高度:30 cm)

#### 3D脈衝式混沌光達架構圖



#### 訊號處理模組

3D脈衝式混沌光達所偵測之訊號，透過類比至數位轉換器(ADC)對參考訊號與目標訊號進行同步擷取，藉由互相關函數(cross-correlation)的計算，可得到相關性峰值位置對應的延遲時間以測得目標物之距離。由於所使用的ADC取樣頻率為1.25 GHz，其深度等效取樣間隔為12 cm，因此我們進一步對互相關函數使用Spline內插演算法去提升系統的精準度，完成高精準度的3D脈衝式混沌光達掃描。

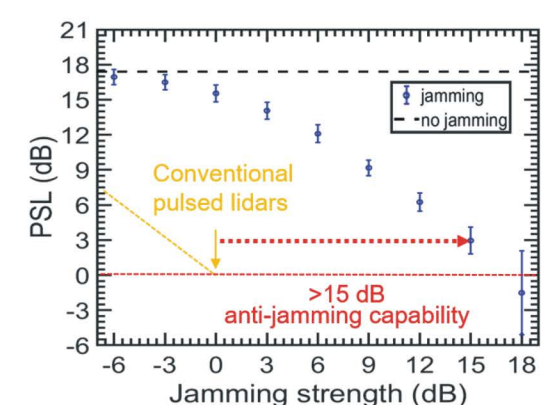
#### 系統整合

要達成整套系統之運作，必須精準掌控各個儀器間先後順序的複雜同步溝通，其中包含光達系統所需的訊號產生器、半導體光放大器以及微機電微鏡等設備，以單台電腦控制多部儀器，完成從微機電微鏡之二維掃描至收光模組之擷取訊號的全自動程序。

### II. 研究成果

#### 1. 抗干擾之特性

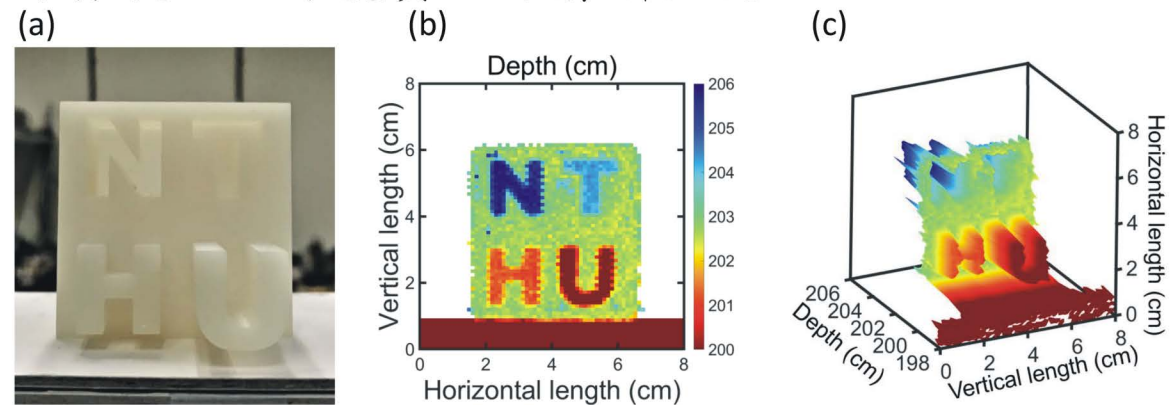
透過半導體雷射之非線性動態所產生之混亂無週期性之寬頻光訊號，本系統之抗干擾能力如圖二所示，當外界干擾強度大於本系統訊號15 dB強度時，本系統仍可正確提供深度資訊。而傳統脈衝式光達在干擾訊號強度大於自身系統訊號(0 dB以上)時便無法正確測距，因此混沌光源不僅解決光達相互干擾的問題，對於未來自動駕駛之資訊判斷以及防範駭客惡意干擾皆有顯著性之成效。



圖二、混沌光達之抗干擾能力

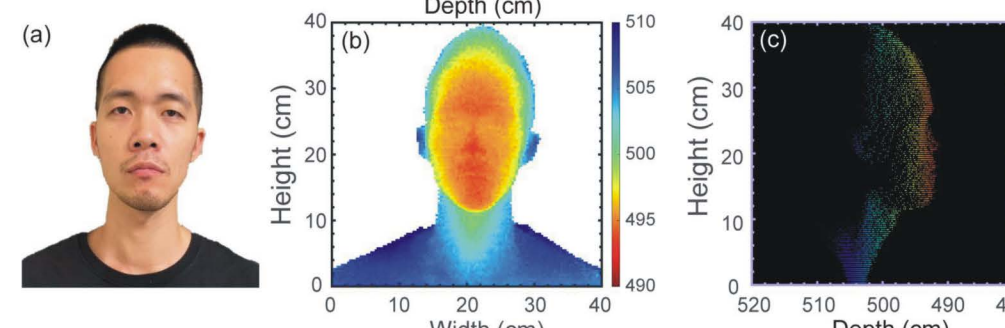
#### 3. 主動式高解析度掃描

本系統所採用之二維掃描微機電微鏡除擁有更高的空間解析度外，同時具有極佳可適性掃描範圍能力，為展示其高解析度以及高精準度之能力，如圖四(a)所示，我們選取3D列印字母模型進行掃描，模型的長、寬為5cm，各字母寬度僅為0.5cm，深度總變化為6cm光達掃描結果如圖四(b)、(c)所示，由於光達系統之高解析度以及高精準度可達到毫米等級，因此其字母樣貌以及深度資訊可清晰呈現。



圖四、(a)3D列印字母模型，3D深度圖之(b)正面視角、(c)側視角

除了抗干擾性、高精準度、高解析度之外，在智慧城市、自駕車系統、AR/VR等應用中，對於人的感測技術是極具重要性的，我們請同學坐在位於距離系統5公尺處，圖五(a)為同學的臉部圖，經由混沌光達系統掃描後，從圖五(b)可以看出光達具有非常優異之空間解析度，人體的輪廓可以完整地描繪出來，肩膀、頭型、耳朵等等具有連續深度變化的臉部五官特徵皆可以由高精度的深度影像品質獲得。我們亦將3D深度影像轉成點雲的形式，並以側視角度觀察深度變化如圖五(c)所示，人臉的細節包含眼窩、鼻子、嘴巴、喉結等等皆可以清楚地呈現。

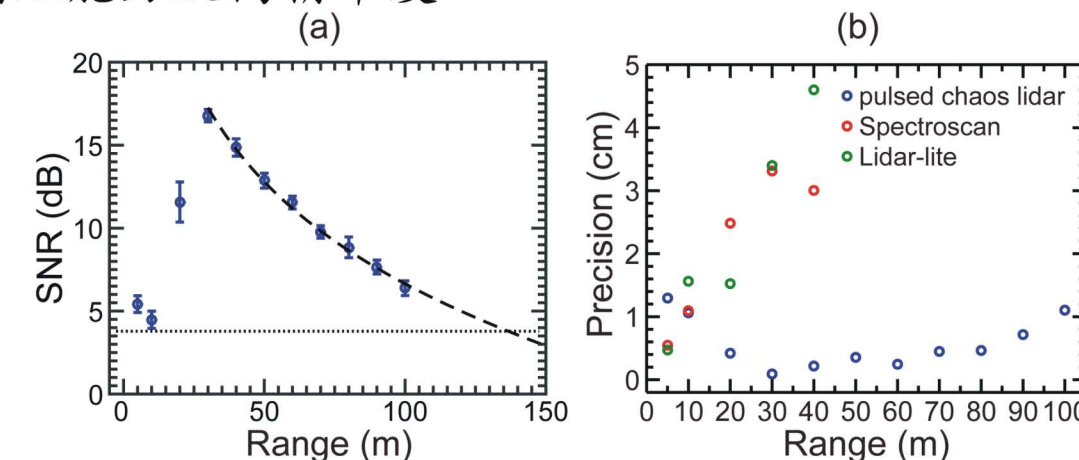


圖五、距離位於5m處之(a)人臉、(b)人臉深度圖、(c)人臉側視3D深度圖

此外，我們利用三維影像疊合技術，在展示了20公尺內環境建模之應用。實際環境如圖六(a)所示，三個不同坐姿的同學，分別距離光達系統於18到22公尺之間，

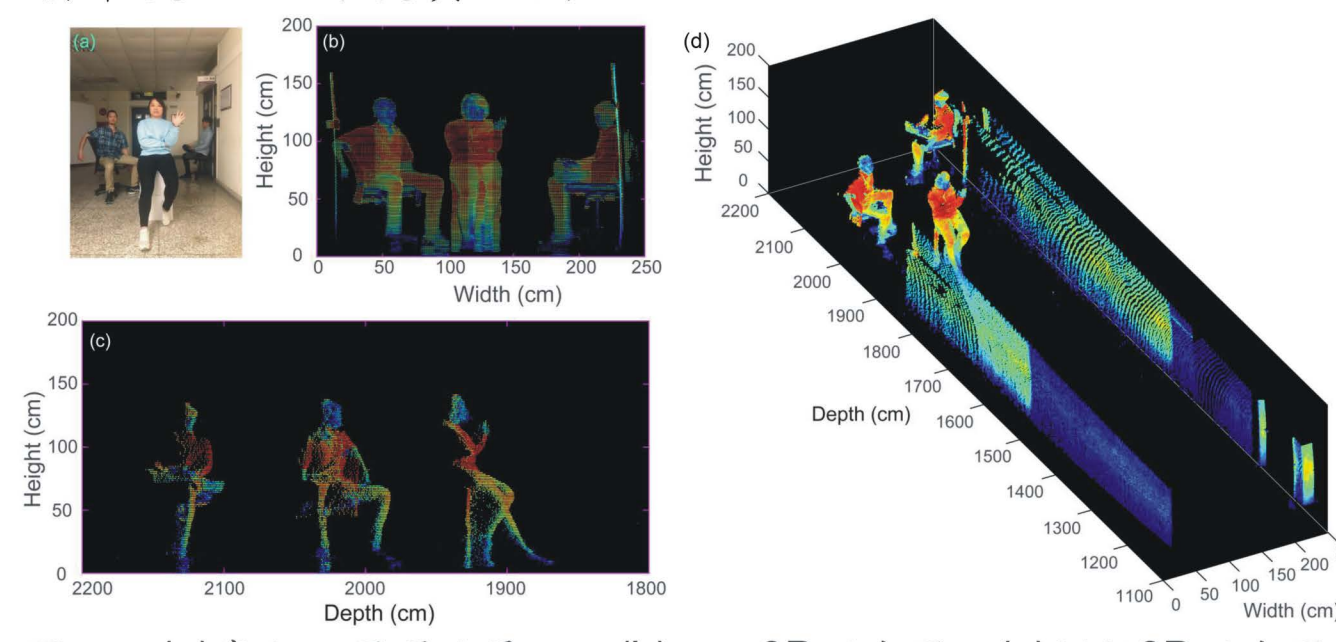
#### 2. 高精準度

將脈衝式混沌光達系統與商用產品進行比較，如圖三所示，兩市售產品(Spectroscan、Lidar-lite)之量測限制距離為40公尺(目標物為反射率90%的柯達白卡)，且精準度已經分別上升至3公分和4.6公分。相比之下本系統展示可探測距離大於100公尺，並皆有1公分以下(毫米等級)的精準度，因此本系統具有更優異之測距能力及高精準度。



圖三、系統於不同距離下之(a)訊雜比與(b)市售產品之精準度比較圖

於圖六(b)-(c)不同視角之深度圖可見，系統完整掃描出三種不同坐姿的人體樣貌，圖六(d)展示其完整掃描之環境，範圍從11公尺到22公尺，牆壁等細節亦被完整呈現，我們也將量測之訊雜比(SNRcc)以false color加入三維深度圖裡面，成功展示混沌光達於遠距離、大範圍、與高精準度之4D深度資訊圖。



圖六、(a)實際設置環境展示、(b)正面3D深度圖、(c)側視3D深度圖、(d)3D深度環境全景

### III. 研究生活及心得

非常感謝中技社與評審對於我們團隊的支持與肯定，讓我們實驗室多年來努力累積的成果可以被大家看見，特別感謝我們的指導教授林凡異教授，給予我們豐富的資源去做研究，過程中提供專業知識與技術層面的指導，最後要感謝實驗室所有成員的努力，要建立起一套系統是需要多方的團體合作，過程中會遇到許多問題與挫折，但因為大家的通力合作才能夠一一克服，建構出這套混沌光達系統，期許此等研究成果能對社會有所貢獻。



財團法人中技社  
CTCI FOUNDATION