

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 工程學(一)科

第三名

052306

光學式震動裝置

學校名稱：臺北市立內湖高級工業職業學校

作者： 職二 陳品叡	指導老師： 葛士瑋
-------------------	------------------

關鍵詞：震動、繞射、python

摘要

本研究開發的多軸向光學式震動測量裝置，結合物聯網技術達到監測震動訊號並即時警示的目的，首先確認慣性單擺的光柵繞射光學特性能有效測量出震動訊號，並可在連續震動狀態下，有效且持續記錄震動訊號。其次在震動訊號分析上，以 OBSPY 程式輸出訊號頻譜圖，並自行開發的 Python 程式利用增加執行緒的模式，提升影像紀錄取樣率達到符合資料分析所需之奈奎斯特頻率(Nyquist frequency)條件，並進行運算與濾波將數據有效運用。更透過 3D 列印技術製作出可記錄平面震動與垂直震動訊號的微小化多軸測量裝置，將監測與紀錄震動訊號之數據，透過物聯網傳輸，儲存於雲端資料庫內，同時可即時偵測震動訊號是否超過警示數值，並透過 **line notify** 將警示訊息發送出去，達到即時監測與警報的目的。

壹、 研究動機

在生活中震動的訊號監測在許多方面都相當重要，不論是大型工程設施，如：橋梁、軌道、高樓、邊坡…，在製造工業上也相當重要，如：晶圓生產線、顯示面板生產線…，這些建築或生產線都會受到震動的影響，但是造成影響的震動訊號強弱皆不相同。現今普遍常用的模組是透過晶片的微機電系統（Micro Electro Mechanical Systems，MEMS）來測量震動時的加速度，藉此紀錄震動訊號，此外亦有高階的地震儀的測量方式，但是裝置所需經費相對較昂貴。在學校高二彈性課程中剛好學習到光柵的應用，發現光柵繞射對於微小的距離變化相當靈敏，但是過度靈敏的變化對於有感的震動並不理想，因此希望結合和測量震動常用的慣性，配合光柵繞射變化來達成一般環境震動的監測。並將裝置結合物聯網功能，希望設計出低成本、高效率的多軸向光學式震動測量裝置，並透過即時監測與運算分析，作為建築物、橋梁、軌道，或生產線的震動檢測與震動警示裝置，達到全時紀錄與即時預警的目的，以提升各類環境的安全與工業生產的品質。

貳、 研究目的及研究問題

一、 研究目的

- (一) 分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用
- (二) 分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢
- (三) 以 Python 程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析
- (四) 結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

二、 研究設備及器材

- (一) 硬體：二極體雷射(紅光，波長 632 nm, 5 mW)、一維光柵片(50、100、300、500、600 條/mm)、Arduino UNO R3 開發板、加速度感測元件 GY-61 ADXL335、旋轉平台(精度 0.5 度)、自製單擺架(3D 列印、鋁擠料支架)、滑輪組、砝碼、電子秤、具陀螺儀功能手機、鋼軸、培林、Nikon D90 相機 18-105mm、IPEVO 4K 攝影機、可連續震動之模擬平台。
- (二) 軟體：Photopea、Tracker、Python。

參、 研究過程

實驗一、分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用

為確認光柵片在慣性單擺上的繞射變化是否能反應出單擺的擺動，首先必須確認光柵繞射的基本性質，因此設計將光柵片置於旋轉平台上，使雷射光水平入射於垂直於旋轉平台之光柵片，如圖 1 所示，圖中 A 為紅光二極體雷射光、B 為旋轉平台、C 為光柵片、D 為投影屏幕，其中一維光柵片上之刻紋方向為 y 方向。

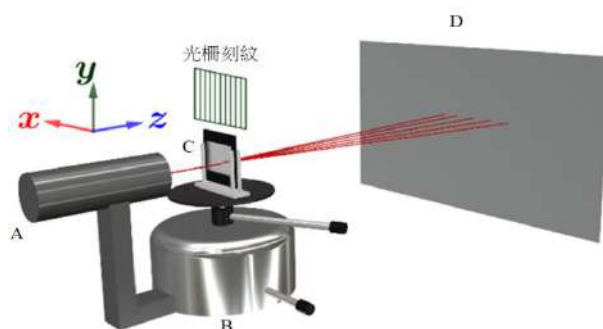


圖 1 光柵旋轉觀測平台

由正上方觀測定義，平台中心為旋轉軸，逆時針方向旋轉光柵片，旋轉時，光柵片靠近雷射光源之一端稱為近端、反之遠離雷射光源之一端稱為遠端，雷射光經過光柵繞射後，維持原雷射光行進方向之光點稱為零階繞射，於零階繞射左右兩側展開之光點依序稱為 1 階 (1^{st})、2 階 (2^{nd})、3 階 (3^{rd}) 繞射...，如圖 2(a)，而對應前述光柵片旋轉時的近端與遠端將各階繞射定義如圖 2(b)所示。(近端：1 階、2 階...；遠端：1 階*、2 階*...)

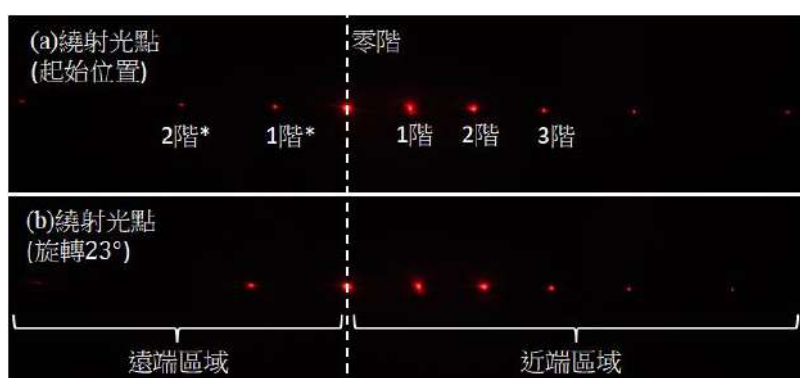


圖 2(a)垂直入射 300 條/mm 光柵片之繞射光點與定義 (b)旋轉光柵片之變化

1. 紀錄各階光點位置，先標記屏幕上中央零階繞射(如圖 3)，並記錄光柵片未旋轉時兩光點之間的距離(零階繞射至一階繞射)，以測量距離 1 公分與像素的換算標準作為影像分析之基準長度，如圖 4。

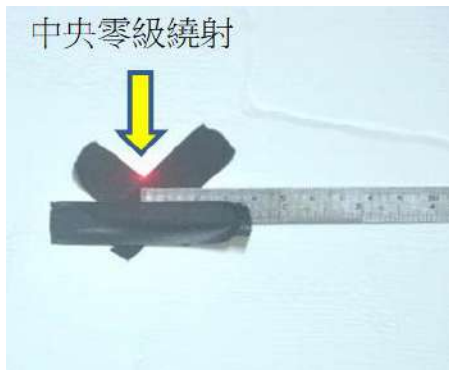


圖 3 標記中央零階位置與量測標準距離

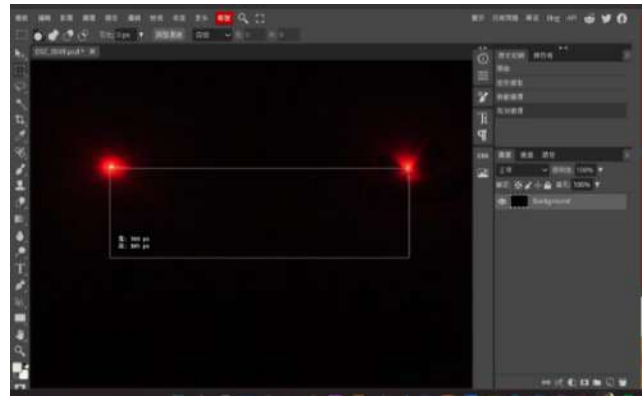


圖 4 以 photopea 軟體換算為實際距離

分析照片中光點之間的距離，其定義如圖 5 所示，當光柵片偏轉角度時，其中 D_1 為近端區域零階繞射到第 1 階繞射光點之間的距離； D_1^* 為遠端區域零階繞射到第 1 階繞射光點之間的距離，並將各階繞射之間的距離數據整理於 Excel，如圖 6。為了讓資料整理更清楚，而使用 Excel 的試算表功能，製作點線圖如圖 7，以此確認雷射光與光柵片之角度變化與後方繞射光點變化關係。

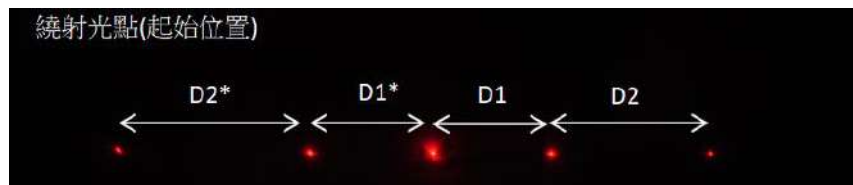


圖 5 拍攝照片中光點之間的距離定義代號

光點各間距畫素值					
角度	$D_1^*(px)$	$D_1^*(cm)$	$D_1(px)$	$D_1(cm)$	
0	120	9.99996	120	9.99996	
1	122	10.166626	122	10.166626	
2	122	10.166626	123	10.249959	
3	122	10.166626	123	10.249959	
4	123	10.249959	124	10.333292	
5	122	10.166626	124	10.333292	
6	123	10.249959	124	10.333292	
7	122	10.166626	125	10.416625	

光點各間距長度

圖 6 以 Excel 整理各光點距離之數據資料

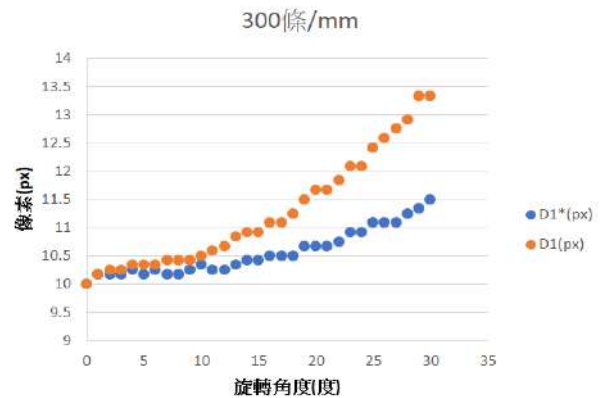


圖 7 以 Excel 整理各光點距離之點線圖

為確認光柵片在慣性單擺上的繞射光點變化關係，將光柵片置於一慣性單擺上，使雷射光水平入射於垂吊於慣性單擺之光柵片，如圖 8 所示，圖中 A 為雷射光、B 為慣性單擺、C 為光柵片、D 為投影屏幕，其中一維光柵片上的光柵之刻紋方向為 y 方向。

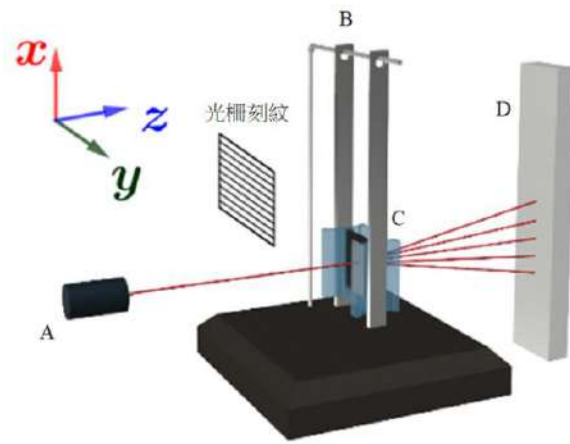


圖 8 光柵結合慣性單擺之觀測平台

慣性單擺角度變化過程中，光柵片相對靠近雷射光源之一端稱為近端、反之旋轉時相對遠離雷射光源之一端稱為遠端。在光柵結合慣性單擺之觀測平台，光柵繞射所得之光點，維持原雷射光之光點稱為零階繞射，於零階繞射上下兩側展開之光點依序稱為 1 階 (1st)、2 階 (2nd)、3 階 (3rd) 繞射…，如圖 9(a)，而對應前述單擺擺動過程，造成光柵片的近端與遠端之方向，上述各階繞射定義如圖 9(b)所示(近端：1 階、2 階…；遠端：1 階*、2 階*…)，測量單擺角度由初始垂直(角度 0°)，以順時針方向增大過程中的繞射光點變化。隨著單擺角度變化時與各階光點位置紀錄使用 Excel 整理各階光點位置紀錄數據，其之方法如前述選轉平台光柵片紀錄方法。

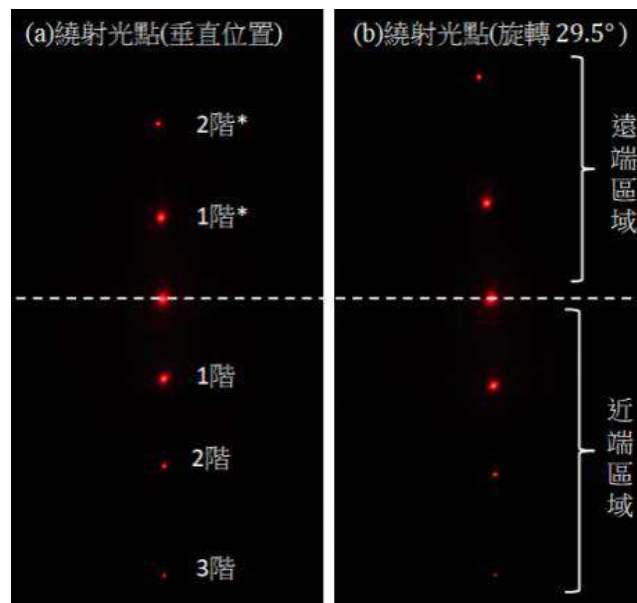


圖 9 (a)垂直入射 300 條/mm 光柵片之繞射光點與定義 (b)順時針擺動之變化

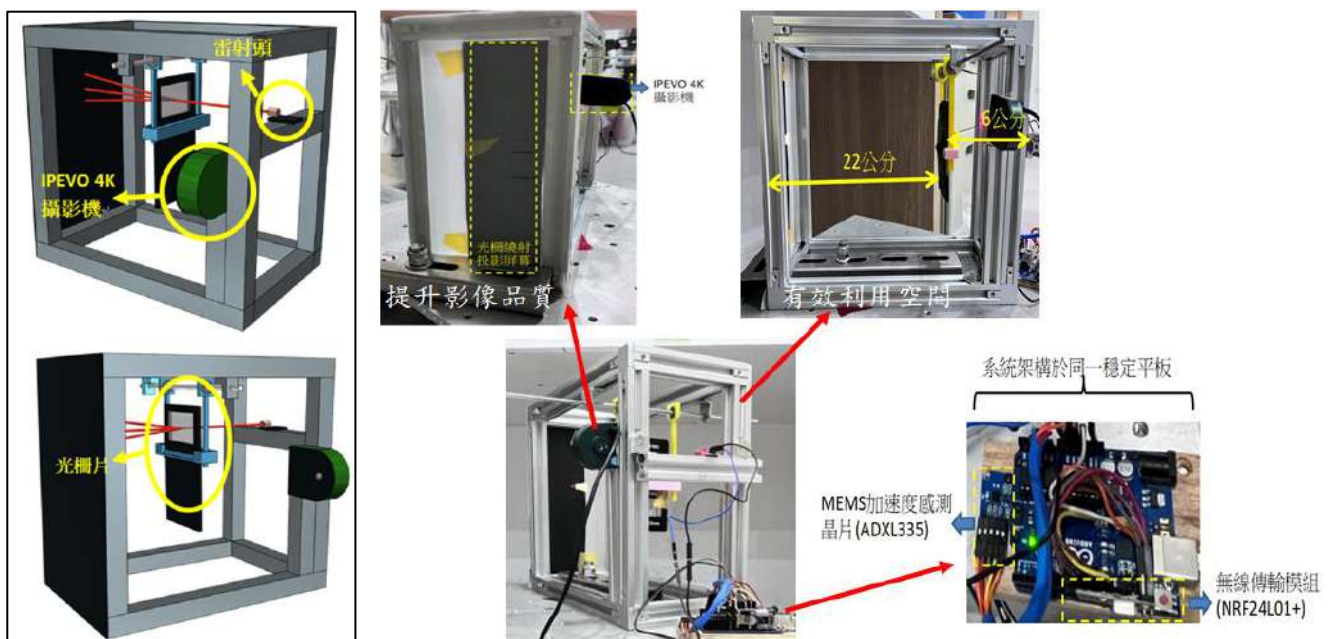
實驗二、分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢

為了確認動態變化下慣性單擺造成光柵繞射光點之震盪反應，實驗設計以相機記錄單擺運動過程中，光柵繞射光點的動態變化，並利用 Tracker 軟體分析光柵繞射光點之震盪影像，先將數據整理為 Excel 檔輸出並進行分析(如圖 10)。

光柵參數/D1*長度		
D	E	F
300條/mm ,D1* 初始長度 36.9公分		
t(s)	x(m)	y(m)
0	-0.369005956	1.90E-04
0.041666667	-0.368952404	1.90E-04
0.083333333	-0.369	3.71E-04
0.125	-0.369524405	-0.002326929
0.166666667	-0.369642511	-0.002733206
0.208333333	-0.36921726	-0.002676776
0.249999999	-0.368831819	-0.001951536
0.291666667	-0.369234718	-0.002347868

圖 10 Tracker 軟體分析繞射光點偏移量的數據整理(Excel 檔案畫面)

為了驗證單擺結合光柵之裝置是否能對於震動的加速度有適當的反應，研究中嘗試改變多種不同強度的震動作用於裝置上，包含：單次人工撞擊造成震動、連續震動平台，並在裝置上安裝自自行組裝之晶片加速度測量裝置，利用 MEMS 晶片測量震動之加速度與裝置之加速度訊號，並利用無線傳輸模組(NRF24L01+)將數據傳訊至電腦端紀錄，同時記錄裝置受到衝擊時，繞射光點間距變動數據與自製加速度測量裝置數值之關係，並以 Tracker 分析繞射光點變動，裝置架設如圖 11。



(a)3D 裝置示意圖

(b) 震動測量裝置各項參數與 MEMS 加速度測量模組

圖 11 鋁擠料框之光學式震動測量裝置與 MEMS 晶片加速度測量模組

實驗三、以 Python 程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析

以 Python 程式分析繞射光點間距變動之 Tracker 數據，以及 Arduino 所紀錄之 MEMS 數據，將各項訊號數據整理為 Python 程式資料庫格式，透過專門針對震動研究領域所開發之 Python 程式(Ocean-bottom seismometer Python, OBSPY) 進行資料分析，此程式符合研究領域使用的多數檔案格式，未來免去大量的檔案格式轉換。為了進一步提升震動訊號測量的效率，減少訊號處理的步驟，同時降低 Tracker 分析的複雜步驟(圖 12)。針對繞射光柵光點變動目標進行 Python 程式開發，透過即時讀取攝影機獲得之影像進行目標物(光點)追蹤，並將即時的變化數據加以記錄與輸出資料，有關 Python 影像追蹤程式邏輯如圖 13 所示，並將數據輸出至 OBSPY 繪製出震動訊號之頻譜圖。此研究方法具有優勢為：

- (1)高效率的追蹤方式：原本使用的 Tracker 軟體是透過像素追蹤，不同於本研究設計之 Python 的物件追蹤，透過物件追蹤可大幅降低目標物丟失機率，有效提升影像辨識結果。
- (2)影像擷取準確：相較原始 Tracker，可以不需預錄繞射光點震動影片，即時分析攝影機影像訊號。

此外，由於本研究所得之光點變動訊號為距離，為了近一步應用於各項研究所需，會將數據進行一次微分與二次微分運算，獲得光點運動之速度與加速度關係，並透過訊號濾波後的傅立葉變換 (Fourier Transform)，分析震動造成光點各項運動之頻率與強度分布之頻譜圖，由於頻譜圖來自於數據的週期與振幅訊號的轉換，利用快速傅立葉轉換將複雜的訊號分析出各種頻率的成份強度，獲得關係圖形化的「頻譜」。



圖 12 Tracker 分析 5 步驟頻譜圖繪製程序

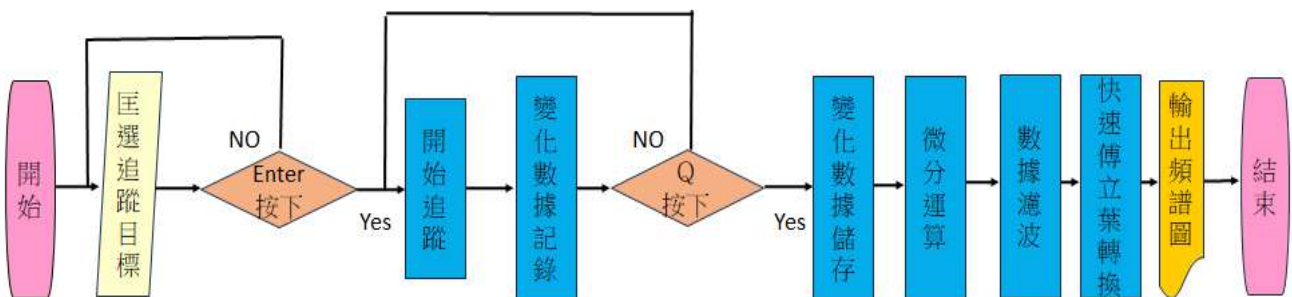
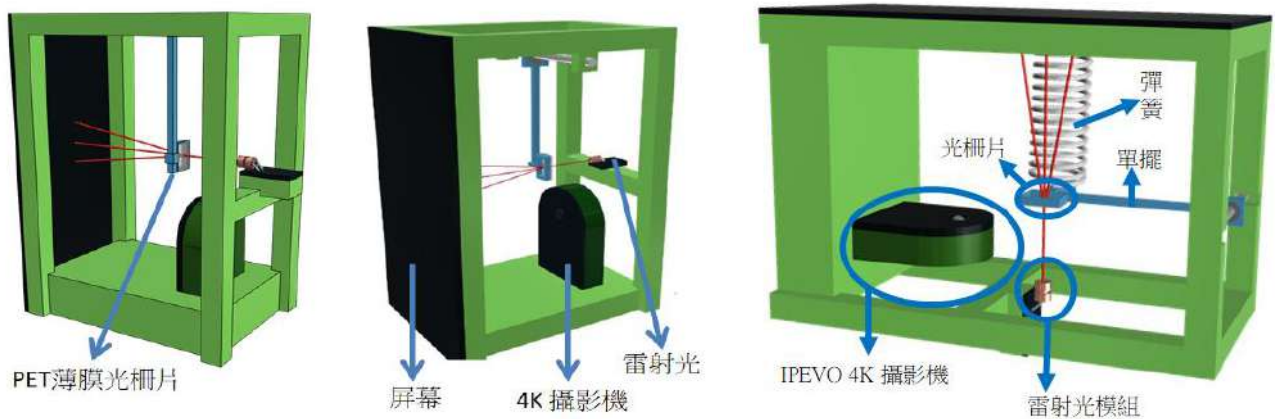


圖 13 Python 影像追蹤程式運算邏輯

實驗四、結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

為了進一步符合應用目的，透過 3D 列印將裝置製作成一體成型的微小化結構，並重複實驗一！實驗三，以確保裝置穩固性及穩定性與前一代開發裝置相符。基於微小化的裝置結構，可設計出多軸向震動測量裝置，如圖 14，可穩定測量平面(圖 14(a))與垂直方向(圖 14(b))的震動訊號，進一步能偵測震動訊號來源方向與獲得多軸向震動數據。在應用方面，為了震動監測與預警之方面，將光學式震動測量裝置加入物聯網技術，利用了網路可將監測訊號回傳，同時將資料回傳至資料庫系統進行雲端資料儲存，可透過網站從資料庫內抓取資訊，以利相關人員隨時了解最新的裝置監測之結果，而且資料庫的訊息可以輸出成相關報告，供人員參考及研究，其運作邏輯如圖 15 所示。



(a)平面方向的震動訊號測量裝置 3D 示意圖

(b)垂直震動訊號測量裝置 3D 示意圖

圖 14 多軸向震動測量裝置結構設計圖

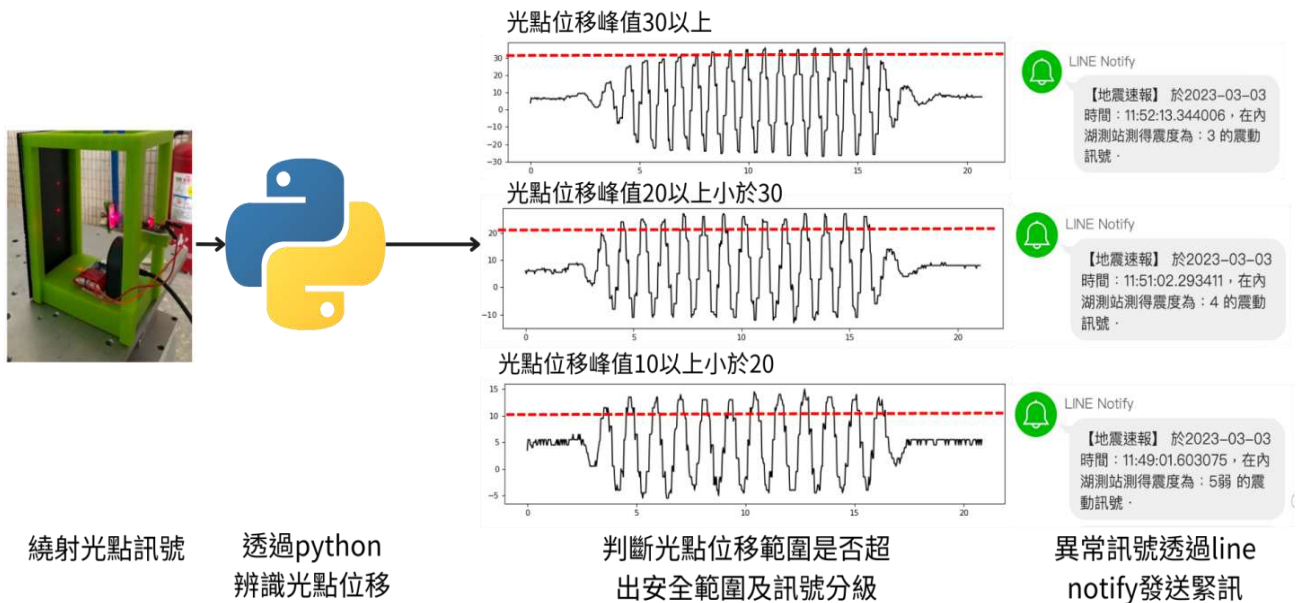


圖 15 物聯網技術結合光學式震動測量裝置運作圖

肆、 研究結果

實驗一、分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用

一、光柵繞射基本性質

(一) 旋轉平台上光柵片之繞射變化

在旋轉平台上不同規格之光柵片的繞射光點由起始旋轉位置開始，每 1° 記錄一次(下列照片僅取 10 張照片呈現繞射光點之變化趨勢)，100 條/mm、300 條/mm、600 條/mm 之光柵繞射光點如圖 16 所示，其中光柵片中心距離屏幕為 47.5 公分，由屏幕上可以明顯觀察到各階繞射光點的變化，光柵密度愈低，光點也愈密集，但是過於密集的光點不利觀察與分析。而利用 photopea 軟體分析光點間實際距離後，使用 Excel 進行整合分析，各種光柵片所得光點間距變化之分析結果如圖 17 所示。其中在進行實驗攝影之前，考量到相機鏡頭可能造成拍攝區域的影像邊緣形變的問題，再經過確認後本實驗所採用之 Nikon D90 規格為 APS-C 感光片幅，即使在 18mm 的焦距下，在拍攝區域的影像邊緣仍不會發生明顯的形變。

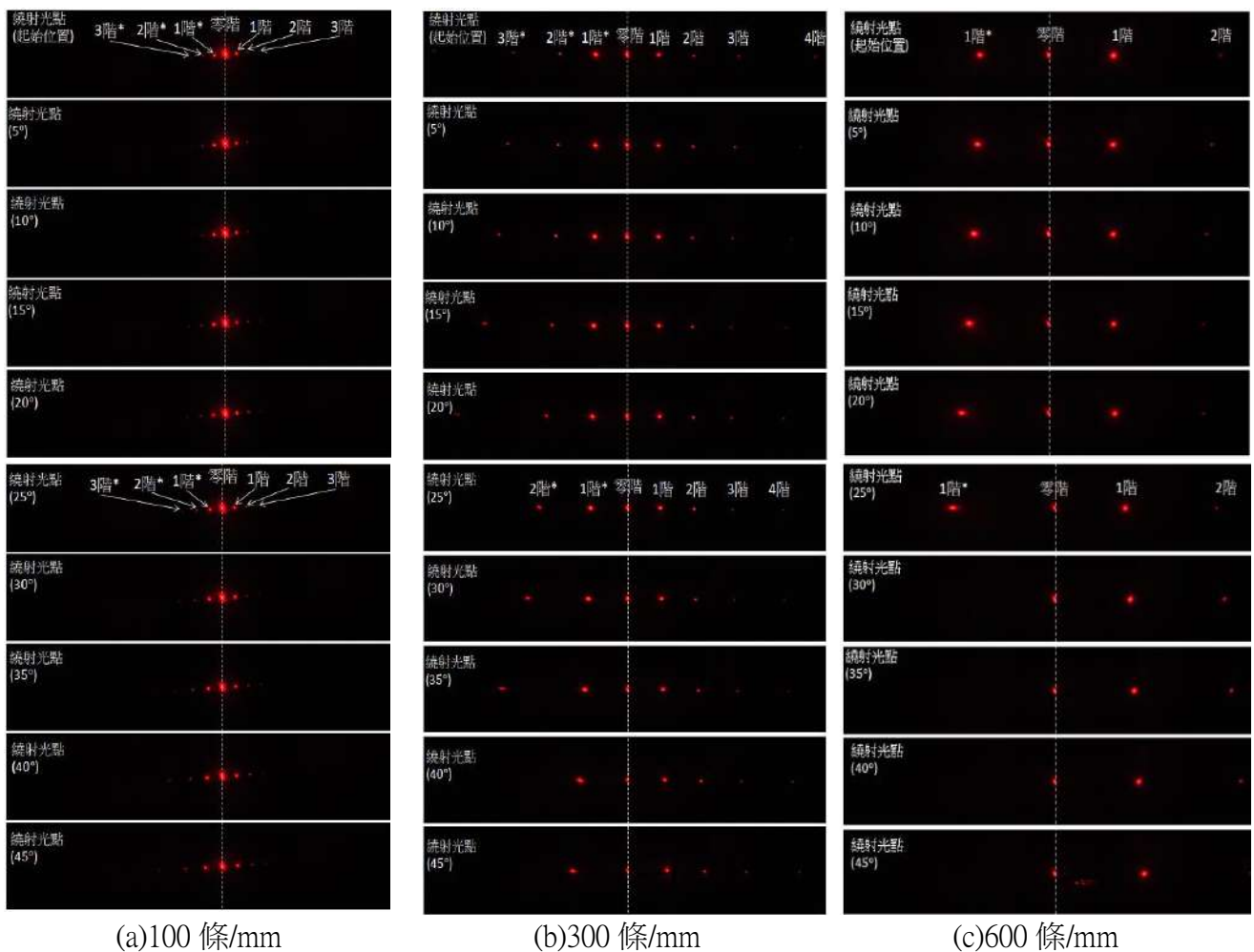


圖 16 不同規格光柵片的繞射點隨光柵片旋轉角度之變化圖

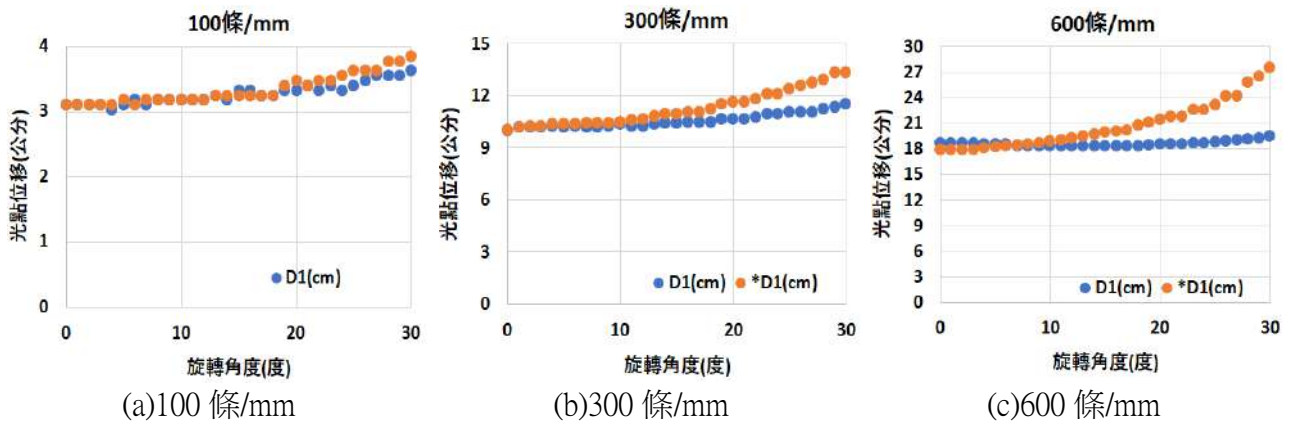


圖 17 旋轉角度造成光柵片繞射點間距分析

(二) 慣性單擺上光柵片之繞射變化

在光柵結合慣性單擺的實驗中，選用規格 300 條/mm 之光柵片，結合慣性單擺由自然垂直位置開始記錄繞射光點，每增加 0.5° 記錄一次(下列照片僅取 10 張照片呈現繞射光點之變化趨勢)，各種光柵繞射光點如圖 18，可以明顯觀察到隨著單擺角度變化。各繞射點之間的測量數據，利用 Photopea 軟體分析實際距離後，使用 Excel 進行整合分析，方便判讀各數據與後續函數分析，各種光柵片所得光點間距變化之分析結果如圖 19。

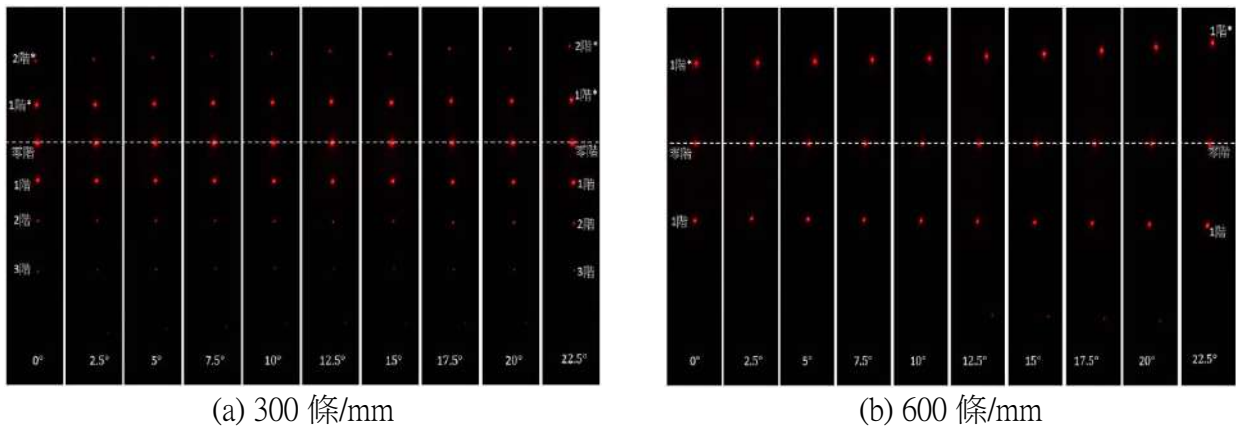


圖 18 繞射光點隨光柵片擺動角度之變化圖

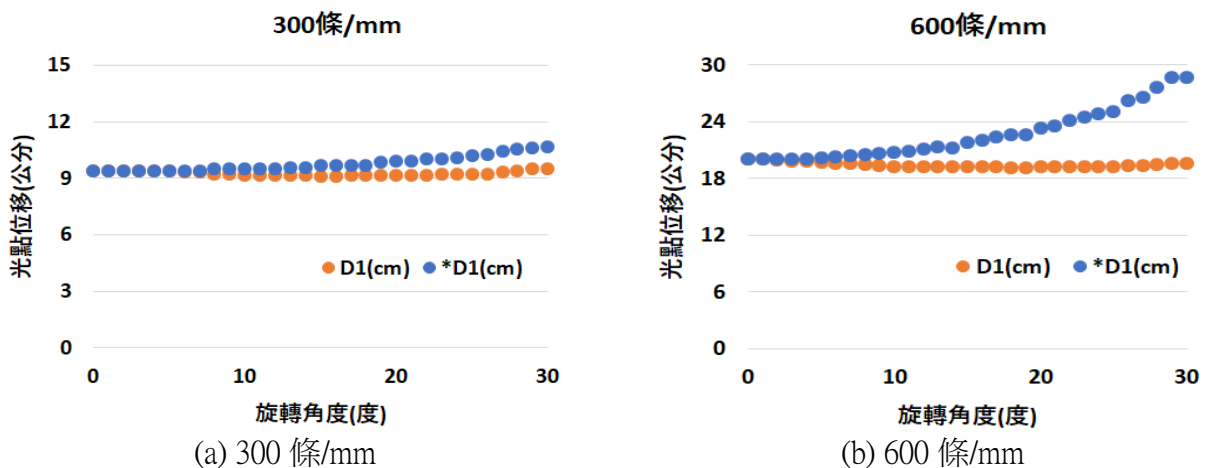


圖 19 光柵片擺動角度之繞射點間距分析

實驗二、分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢

(一) 單次震動造成的慣性單擺光柵訊號之變化

1. 以 Tracker 紀錄光柵系統擺動之光點動態變化

將 Tracker 分析的資料分析所得的 D1*光點位移散布圖，如圖 20，其中裝置選用規格 300 條/mm 之光柵片，所得散布圖中縱軸為繞射光點位移，單位為公尺(m)。

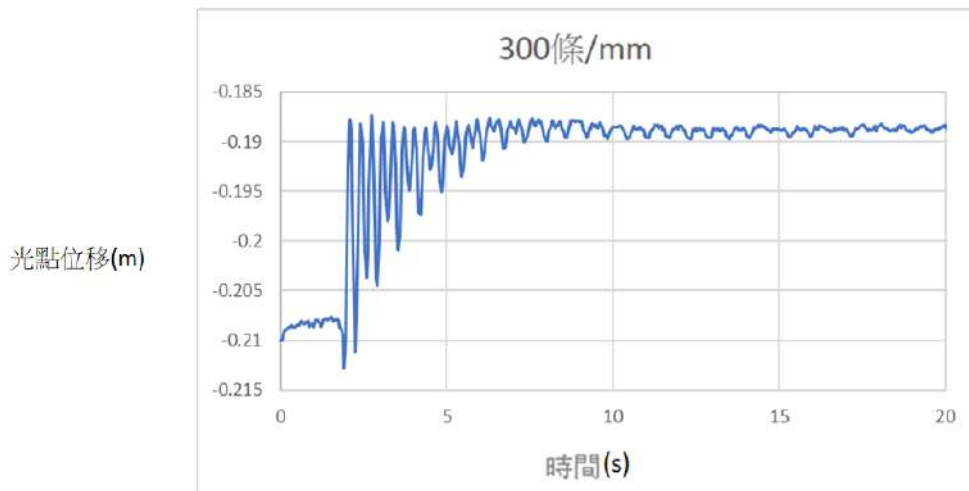


圖 20 震動造成 300 條/mm 光柵片的 D1*光點動態變化

2. 以 MEMS 晶片自製加速度測量裝置

A、以阿特伍德機實驗檢驗自製 MEMS 加速度測量裝置－固定加速度

利用定滑輪與懸吊在同一條線且位於兩側的不同質量重物，改變自製 MEMS 加速度測量裝置下墜的加速度，經調整兩側物體的配重比例與 7 次測量結果，發現自製 MEMS 加速度測量裝置難以正確獲得阿特伍德機所產生的固定加速度量值，根據圖 21 所示，僅有在自製 MEMS 加速度測量裝置撞擊地面軟墊時，會明顯記錄到瞬間衝擊力造成的加速度數值，如圖 21 中的綠色圓圈處。

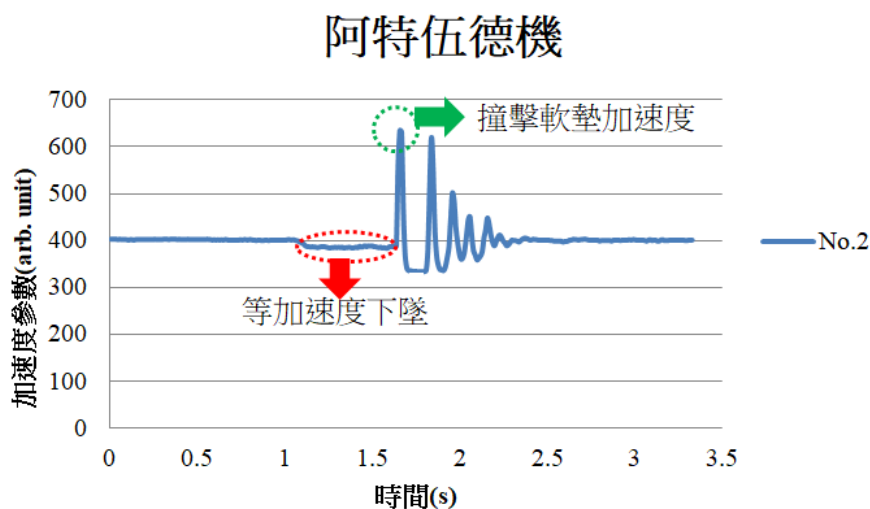


圖 21 阿特伍德機測量自製加速度測量裝置

B、以簡單諧振檢驗自製 MEMS 加速度測量裝置－變動加速度

為了嘗試自製 MEMS 加速度測量裝置是否能夠測量變動加速度，例如：地震搖晃的過程，因此改為使用彈簧進行簡諧振盪，藉此來檢驗自製 MEMS 加速度測量裝置的變動加速度測量能力。由圖 22 所示的實驗數據(振幅 0.06 m、週期 0.95 秒)，可透過參數換算獲得彈簧簡諧運動中，變動加速度的極大值約為 2.62 m/s^2 ，其中數值參數換算出加速度比率為 0.187。

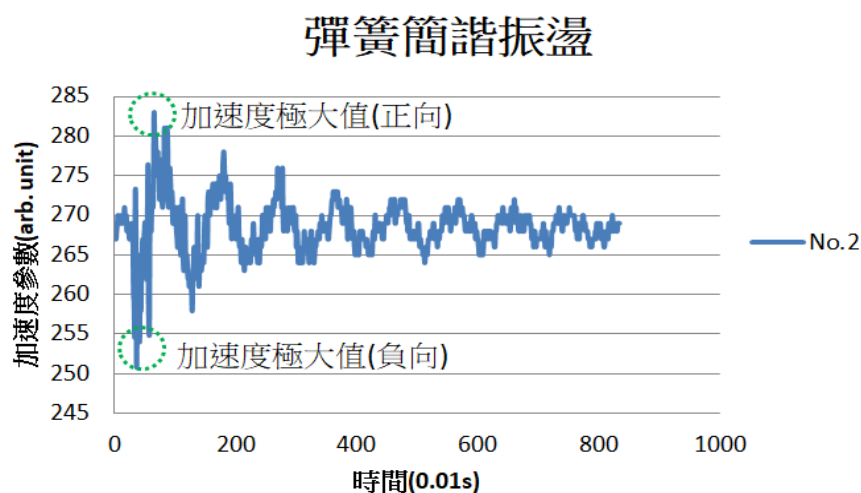


圖 22 彈簧簡諧振盪測量自製加速度測量裝置

(二) 光學式震動測量裝置對多次震動之加速度反應

以人工方式多次撞擊光學式震動測量裝置所在平面，使裝置內的慣性單擺發生擺動，並將 Tracker 數據中繞射光點之間距變動數值與結構震動之加速度數值相比較，如圖 23，可以發現繞射光點之間距變動趨勢與結構震動之加速度數值趨勢相當一致。

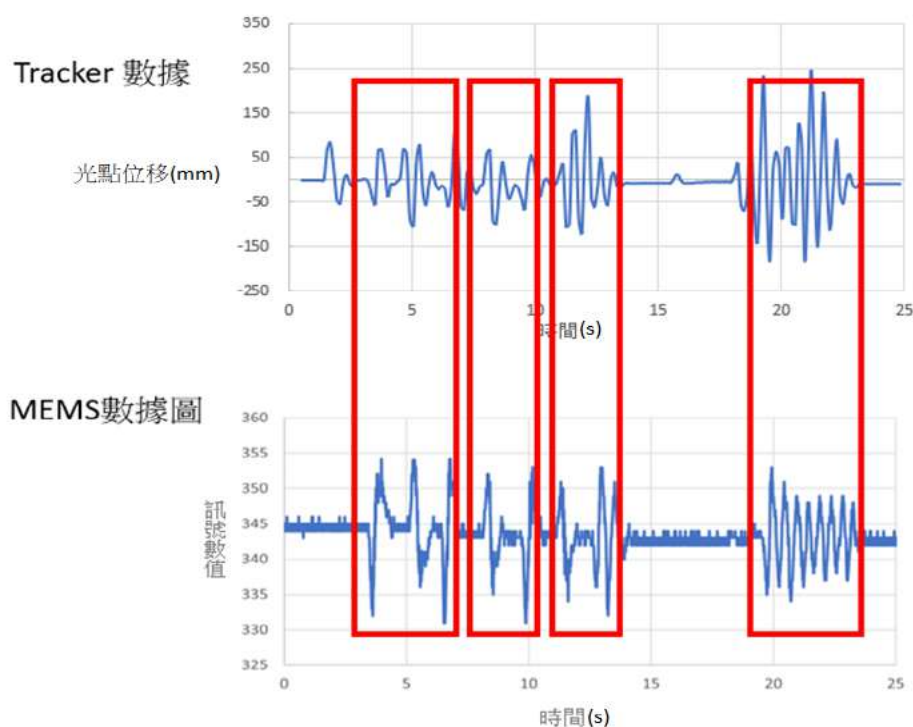


圖 23 繞射光點之間距變動與結構加速度變動關係比較圖

(三) 以連續震動平台測試光學式震動測量裝置

A、以 Arduino 系統之無線傳輸方式紀錄連續震動平台之加速度

為簡化裝置的數據傳輸連線，於 Arduino 系統加裝無線傳輸模組(NRF24L01+)，以無線傳輸方式將加速度感測 MEMS 晶片數據加以記錄，作為檢驗連續震動平台表面與光學式震動測量裝置之加速度訊號是否具有相同趨勢。如圖 24 所示，Arduino 系統的 MEMS 晶片裝置可架設於光學式震動測量裝置框架上或震動平台平面，利用 MEMS 加速度感測在不同安裝位置下，可分別測量平台表面連續震動與光學式震動測量裝置震動之加速度數據，其測量 5 種震動強度之結果如圖 25、圖 26 所示。根據實驗所得數據可以看出，震動平台表面與光學式震動測量裝置之震動加速度數值，當同樣的儀器數值下，兩者會有相近的加速度訊號(週期與 g 值)，表示光學式震動測量裝置在震動平台上，可以反應出不同強度的平台震動加速度，不會出現明顯的結構自然振動頻率之影響，顯見強化接點之穩固結構能有有效的維持結構剛性，並與震動測試平台達成同步連續震動。故後續討論結構上單擺運動造成繞射光點影像變動實驗中，Tracker 所測量之數據可反應出震動平台在不同強度之震動訊號。

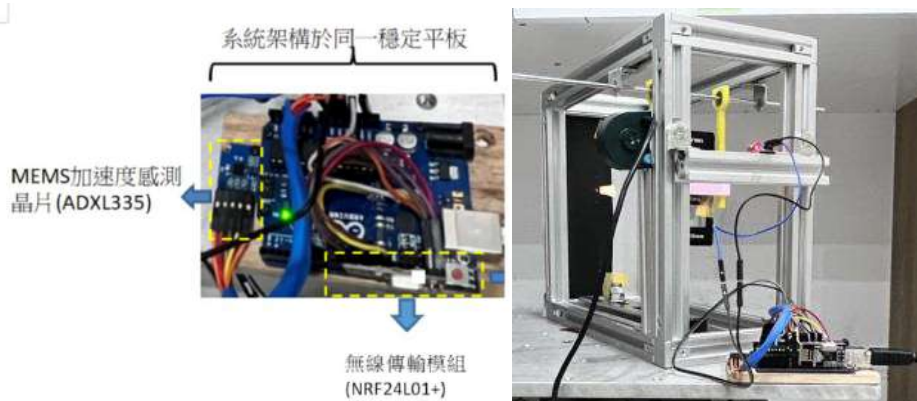


圖 24 加速度感測 Arduino 系統安裝於震動平台與光學式震動測量裝置支架設圖

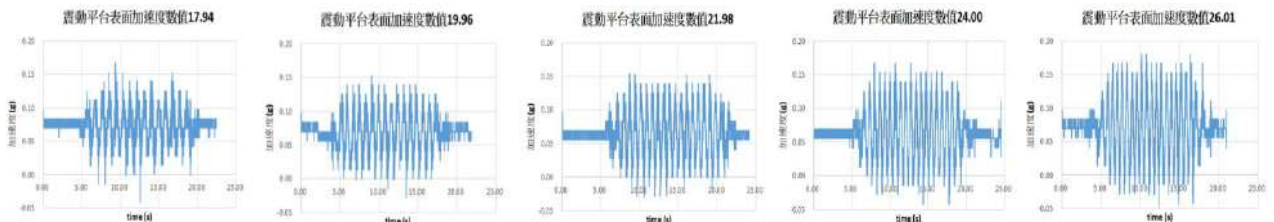


圖 25 MEMS 所紀錄之平台表面結構連續震動加速度數據

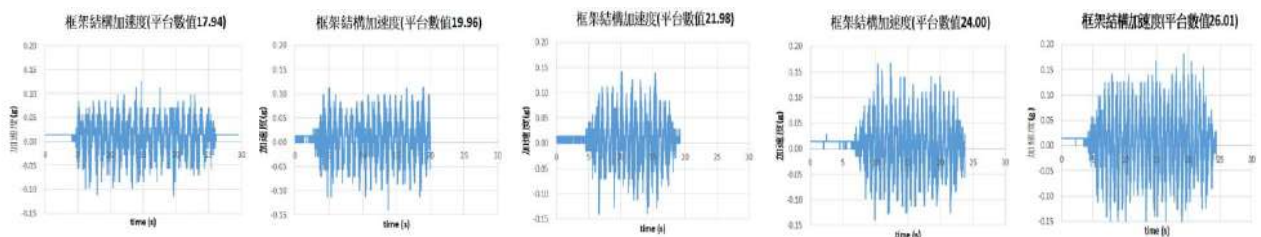


圖 26 MEMS 所紀錄之光學式震動測量裝置連續震動加速度數據

B、消除影像紀錄裝置與結構之相對運動的光學影響及訊號分析

由於測試平台往復震動下，若是攝影機與測量結構彼此有相對運動，會產生光學上放大或縮小之影響，故將 IPEVO 4K 攝影機固定於光學式震動測量裝置上，如圖 27 所示，可有效降低後續 Tracker 分析繞射光點運動之影響。將屏幕上繞射光點影像變化訊號以 IPEVO 4K 攝影機記錄，以 Tracker 進行分析。此外，為了提升光學式震動測量裝置震動響應的增益效果，嘗試將單擺結構以 3D 列印設計 3 種可更換傾斜角度的光柵片載台，可將光柵片安裝於各載台的斜面上方，並可在測量震動訊號時隨單擺穩定擺動，斜面規格圖如表 1 所示。

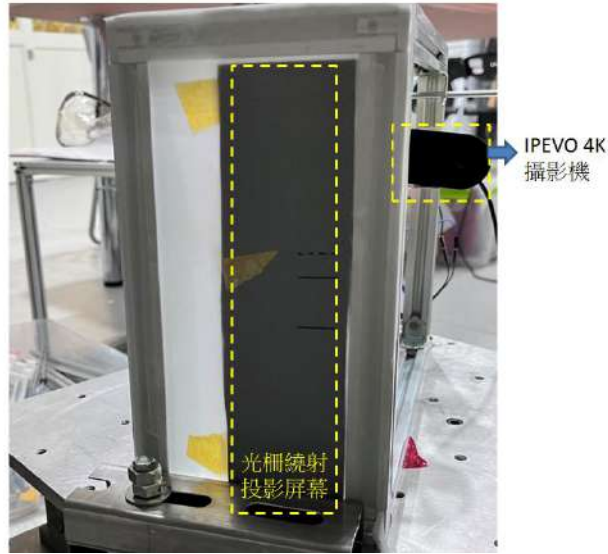


圖 27 繞射光點投影屏幕與 IPEVO 4K 攝影機皆固定於鋁擠料框結構上

表 1 單擺結構可更換之各種光柵片傾斜角度的載台

垂直光柵片	中角度傾斜光柵片	大角度傾斜光柵片
1 : 2.60 mm 2 : 7.50 mm	1 : 6.13 mm 2 : 7.50 mm	1 : 7.55 mm 2 : 5.57 mm
垂直面	斜面底角 51.4°	斜面底角 36.9°

將 300 條/mm 的光柵片安裝於不同傾斜角度之載台，可以發現繞射光點間距有明顯差異，即光柵片愈傾斜，繞射光點的間距愈大，如同實驗一光柵片旋轉角度之結果。利用此種特性，在單擺因結構震動而發生擺動的情況下，可以形成更明顯的光點間距變化，藉此提升影像紀錄的解析能力。由實驗所紀錄的影像，可發現整體裝置與攝影機並無相對運動，可知實驗過程中攝影機所記錄的屏幕影像不會有發生相對距離改變之放大或縮小效應。將屏幕上繞射光點影像變化訊號以 Tracker 進行分析，檢驗在測試平台 5 種不同震動強度下，搭配不同傾斜角度的光柵造成之光柵繞射光點變動趨勢，其分析結果如圖 28~圖 30 所示。

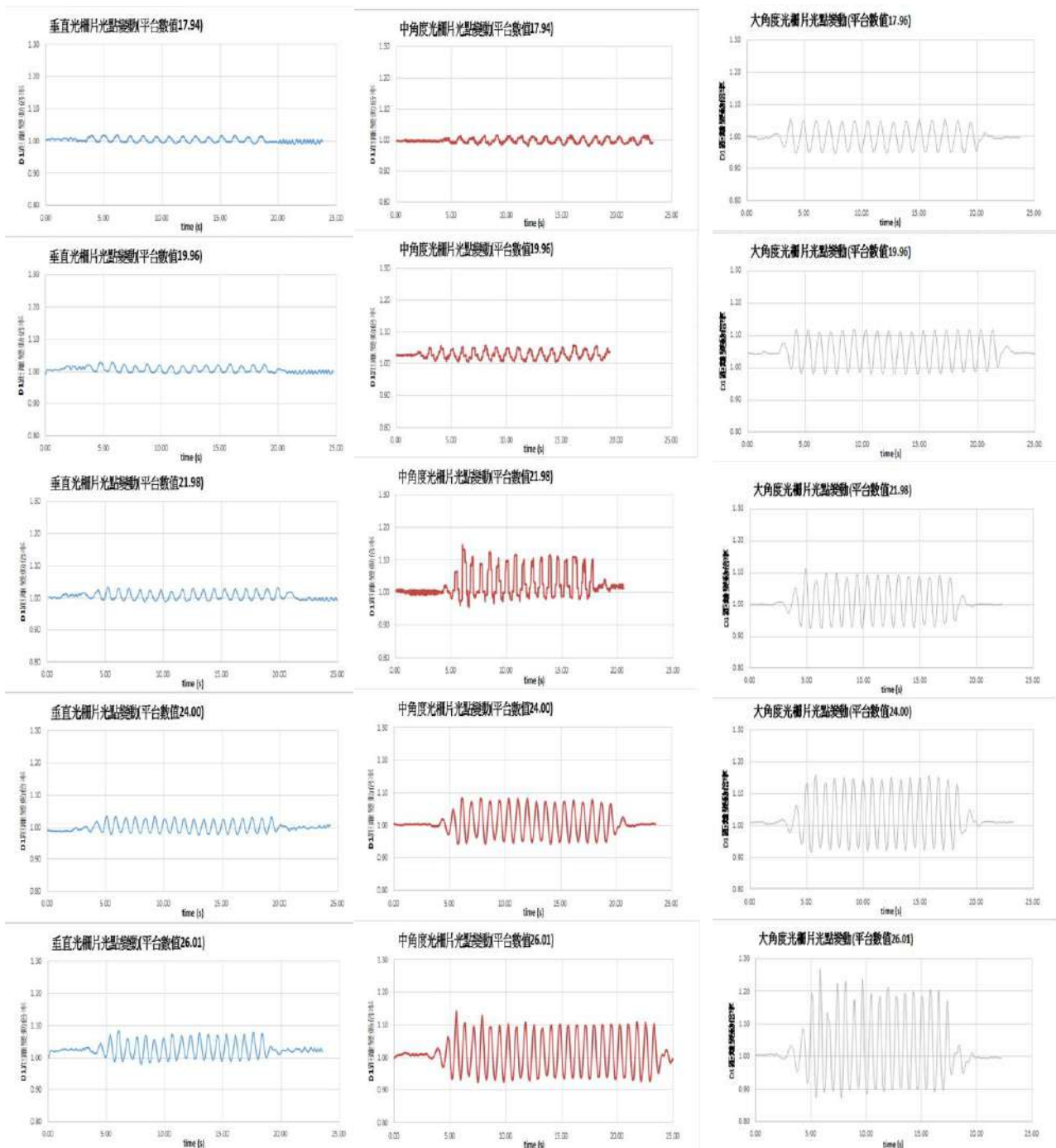


圖 28 垂直光柵片

圖 29 中角度傾斜光柵片

圖 30 大角度傾斜光柵片

根據實驗所得的 Tracker 分析結果，可以明顯看到隨著光柵片的傾斜角度改變，光柵繞射光點變動趨勢亦隨著變化，當單擺的光柵片載台斜面底角愈小(即光柵片平面愈接近平行)，其繞射光點變動幅度愈顯著，對於震動訊號的解析能力也就愈強。比較圖 30 與圖 28，可發現大角度光柵片狀態下(光柵片愈傾斜)，即使在低強度的震動平台作用下，仍能保持 5%的繞射光點變動率(如圖 30)，相較於圖 28 的垂直光柵片狀態的實驗結果，僅有不到 2%的繞射光點變動率，證明適度的傾斜光柵片，可有助於提升光柵繞射震動裝置的測量能力。為了更有效的針對數據進行分析，利用 Excel 將圖 28~圖 30 分別將各條件下震動訊號的峰對峰值加以平均後，以此繪製各強度平台數值與峰對峰值(平均值)之關係圖，如圖 31 所示。可知在光點影像解析度可程式分析的條件要求下，適度的使光柵片傾斜，可獲得較靈敏的震動響應，此特性分析將有助於後續光學式震動測量裝置的設計與改良。

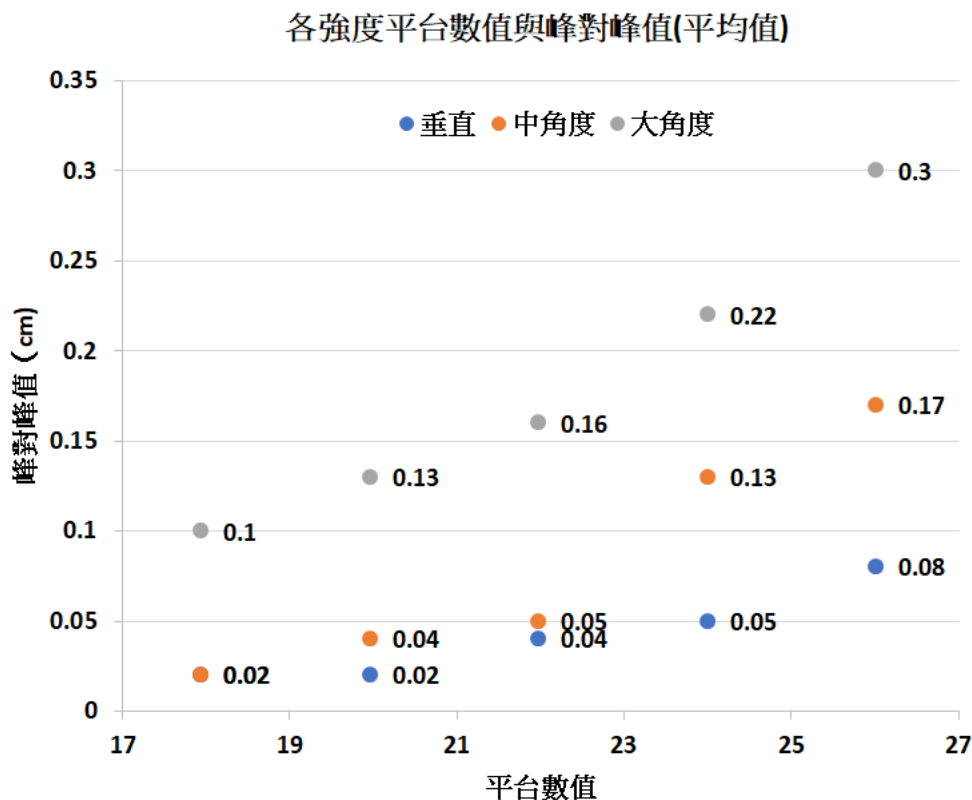


圖 31 各強度平台數值與峰對峰值(平均值)之關係

實驗三、以 Python 程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析

A、以 OBSPY 程式分析光學式震動測量裝置之震動訊號

此部分研究採用之程式 OBSPY 是一般用於地震領域分析數據之程式，OBSPY 是一個基於 Python 所開發的地震學數據處理函式庫，將實驗二所得之資料轉換為震動頻譜圖，用以確認在測試時間內所偵測震動訊號頻率與強度分布關係。為了符合本研究所需，程式碼亦由一般公版修改為符合研究所需之範圍，研究使用之程式碼與說明如表 2 所列：

表 2 OBSPY 程式碼與說明

! pip install obspy	引入 obspy 的安裝包
import numpy as np import matplotlib.pyplot as plt from obspy.core import read from obspy.signal.tf_misfit import cwt import pylab	引入函式庫
npts = tr.stats.npts dt = tr.stats.delta t = np.linspace(0, dt * npts, npts) f_min = 1.5 f_max = 10 scalogram = cwt(tr.data, dt, 8, f_min, f_max)	設定極值及數值轉換
fig = plt.figure(figsize=(12, 10), dpi=80) ax1 = fig.add_axes([0.1, 0.1, 0.7, 0.60]) ax2 = fig.add_axes([0.1, 0.75, 0.75, 0.2]) ax3 = fig.add_axes([0.83, 0.1, 0.03, 0.6])	設定圖表位置及大小
img = ax1.imshow(np.abs(scalogram)[-1::-1], extent=[t[0], t[-1], f_min, f_max],aspect='auto', interpolation="nearest")	初始畫圖表
ax1.set_xlabel("time(s) Angle 30°_large angle_26.01_2_tracker") ax1.set_ylabel("Frequency [Hz]") ax1.set_yscale('linear') ax2.plot(t, tr.data, 'k') pylab.xlim([30,72])	寫入表名
fig.colorbar(img, cax=ax3) plt.show()	填入圖表顏色 顯示圖表

經由 OBSPY 程式將 MEMS 資料與光柵片安裝於小底角(光柵片呈現大角度傾斜)之單擺載台的 Tracker 分析數據，有效的將波訊號轉換為頻譜圖進行分析，如圖 32、圖 33 所示，其中 OBSPY 程式所繪製之頻譜圖，其縱座標頻率範圍限制在 10Hz 以內，主要是建物受到地震之震波頻率訊號皆在此範圍之內。在圖 32 中，可以看到 MEMS 晶片測量之平台表面連續震動訊號，可呈現出常見地震波之頻率，顯示此震動測量之平台足以用於模擬地震波之作用，在本研究中採用的 5 種震動強度皆在合理地震範圍之內。

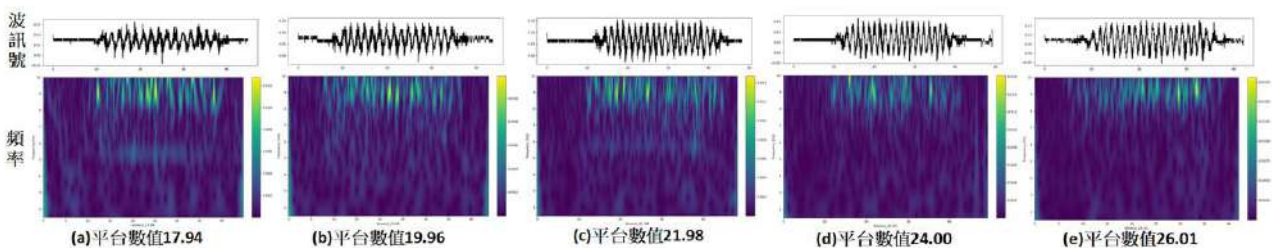


圖 32 平台表面連續震動之加速度感測元件 MEMS 晶片測量訊號頻譜圖

由實驗二可知，當單擺載台上之光柵片以大角度傾斜時，光學式震動測量裝置可以獲得較靈敏之振動響應，故將大角度傾斜之光柵片影像分析之 Tracker 數據，進行 OBSPY 轉換，分析結果如圖 33 所示。可以看到在各種不同振動強度的頻譜圖中間區域，具有帶狀區域的色彩分布，即表示在平台作動期間，裝置測得的震波訊號之主要頻率。比較圖 33(a)~(e)，可以發現圖中帶狀區域的色彩分布頻率愈來愈高，符合實驗中所採用的震動平台是以縮短往復運動時間來增強震動強度(加速度)之操作方式，顯見透過分析繞射光點變動之數據，可應用於分析震動波訊號的頻譜圖。然而，在圖 33 中，都可以看到頻譜圖兩側在低頻部分有著極強的訊號，此部分在檢視 OBSPY 程式後，發現可能是來自於傅立葉變換訊號處理的過程，由於此部分 Tracker 數據所擷取之波訊號為一較短的時間內之記錄結果，在 OBSPY 轉換頻譜圖的分析過程中，取樣的時間區間兩端會出明顯的邊界影響，而且 Tracker 數據之時間間隔是非固定時間差取樣，與 MEMS 數據的固定取樣時間不同，這些因素造成的結果就造成 Tracker 數據的頻譜圖在兩側部分有著極強的低頻訊號。

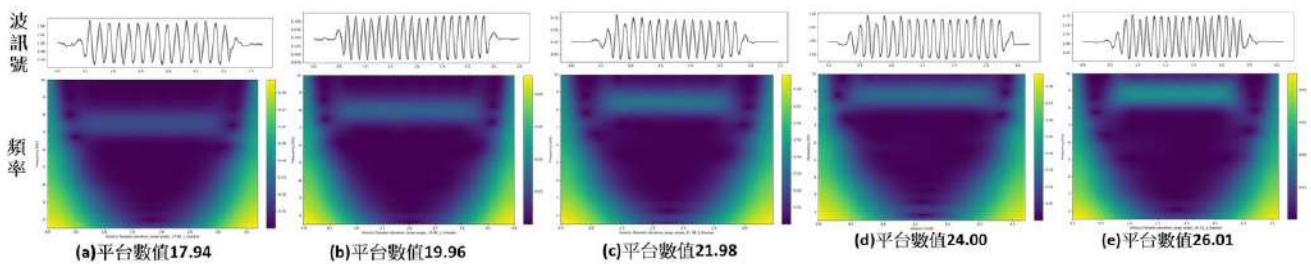


圖 33 大角度傾斜之光柵片影像所得之 Tracker 分析數據頻譜圖

B、Python 程式繞射光點影像追蹤辨識與頻譜分析

以 Python 程式進行繞射光點即時影像追蹤辨識，並將數據分析結果以頻譜圖方式呈現，其程式結合了 OpenCV 和其他一些 Python 程式庫來獲取攝影機的影像，進行物件(繞射光點)辨識及追蹤，程式會在視窗中顯示攝影機所追蹤的影像，並將目標的座標寫入 CSV 檔案中，讀取座標數據後將 OBSPY 繪圖時間格式轉換為 datetime 之後，將數據會製成頻譜圖，運作方式如圖 34 所示，先針對目標繞射光點進行框選，並在震動訊號產生時進行繞射光點的即時追蹤，以及震動訊號記錄，並將 opencv 追蹤程式紀錄之數據資料輸出 OBSPY 進行頻譜圖繪製。

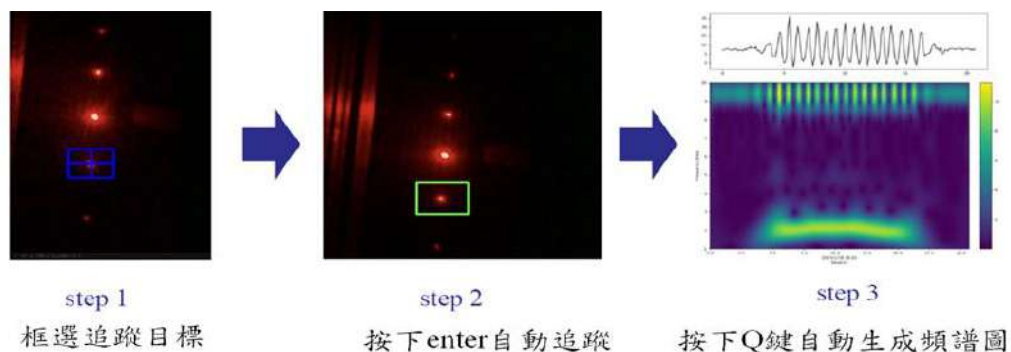


圖 34 Python 繞射光點追蹤程式與頻譜圖繪製步驟

Python 繞射光點追蹤程式所繪製的頻譜圖如圖 35 所示，與圖 33 相比，可以發現透過 Python 繞射光點追蹤程式所得之 OBSPY 頻譜圖，能有效的消除兩側低頻雜訊，同時亦能夠成功分析出不同平台數值的特徵頻率。不過，相較圖 33，可以發現特徵頻率有明顯的下降，分析原因可能來自於 OBSPY 程式原始預設取樣率(每秒 50 個數值)，但在圖 33 中，Tracker 所提供的數據量為每秒 11~13 個數值，這會造成 OBSPY 程式在擷取數據中每秒會有 39~37 筆數據為「空值」，由於在陣列運算程式中，會對「空值」填入固定頻率的亂數以維持程式運作，如此一來就造成 OBSPY 程式輸出的頻譜圖特徵頻率上升的結果。因此，為了確認取樣率對於雜訊抑制的作用，研究中改變了不同攝影機取樣率的繞射光點影像追蹤紀錄，其研究結果如圖 36 所示，可以清楚的發現，在相同的震動平台數值作用下，攝影機採用愈高的繞射光點影像取樣率，所產生的 OBSPY 程式輸出頻譜圖具有較佳的雜訊抑制表現，確認攝影機取樣率對震動訊號輸入 OBSPY 繪製之頻譜圖具有一定的影響，若能透過更高效能的攝影機，適度提高 fps 將可有效消除繞射光點影像取樣率造成之 OBSPY 頻譜圖雜訊。

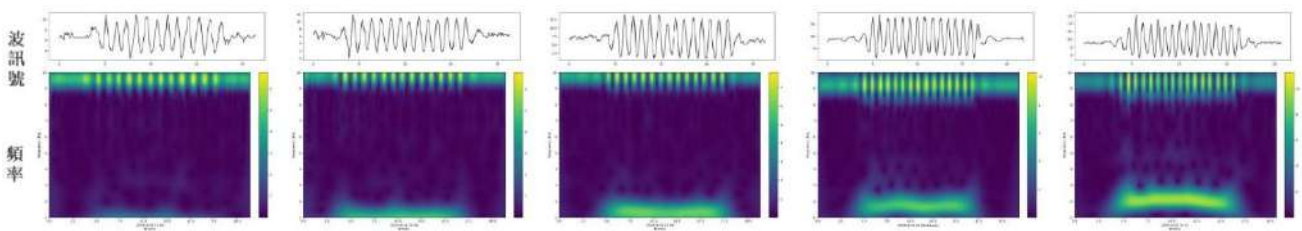


圖 35 不同平台數值下 Python 繞射光點追蹤程式所繪製的頻譜圖

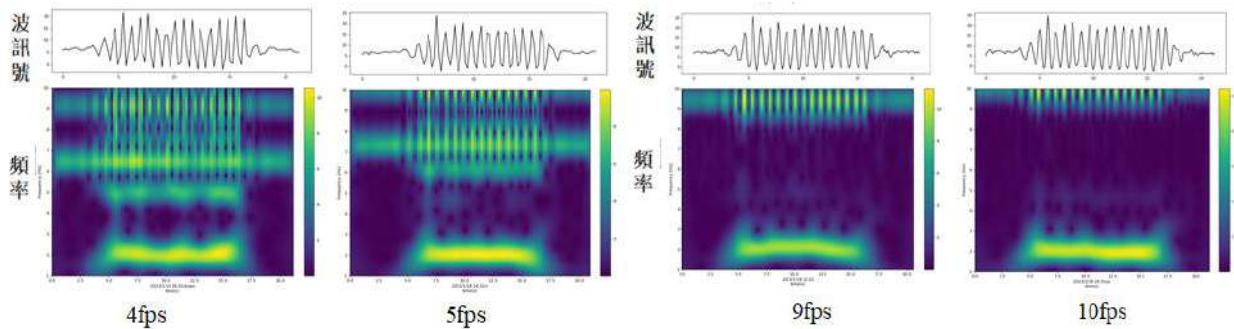
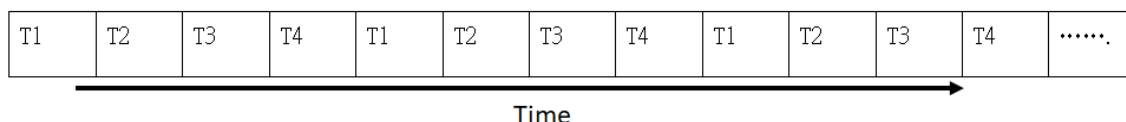


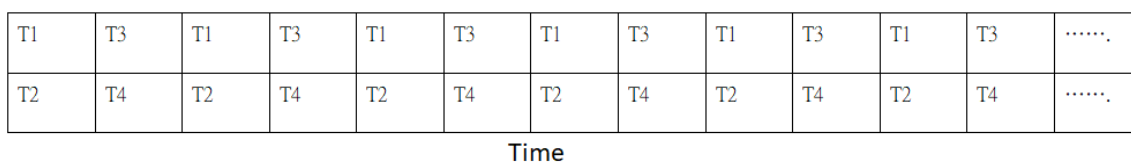
圖 36 固定平台數值下，不同攝影機取樣率對於雜訊的影響

C、透過增加軟體執行緒來提升訊號取樣率

研究中嘗試在現有的裝置基礎上，進一步提升影像辨識的效率，是採用將單一執行緒的程式改為多執行緒來提升訊號擷取率，此處的單一執行緒又稱為（Concurrency）並行，也就是說程式必須執行完前一步後才能執行下一步，當在執行下一步時前一個就會停止，一次只會執行一種如圖 37(a)；而多執行緒又稱平行（Parallelism），可以將程式拆解成兩行甚至多行同時進行，並分配好每個執行緒負責的部分，提升執行效率如圖 37(b)。



(a)單一執行緒程式運作流程



(b)多執行緒程式運作流程

圖 37 不同的軟體執行緒說明圖

透過多執行緒的方式將能有效的提升數據取樣率，由原本的單一執行序 7fps 提升至 28fps 如圖 38，與圖 35 對比後可以發現頻譜圖中的高頻雜訊被有效抑制，顯見透過多執行緒提升影像數據的取樣率，可以確保我們可解析的頻率訊號能包含一般地震波造成的振動訊號頻率。

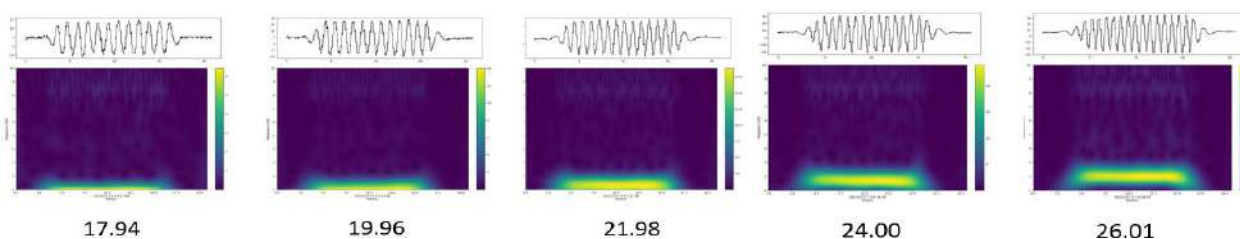


圖 38 不同平台數值下 Python 多執行緒繞射光點追蹤程式所繪製的頻譜圖

D、進階取樣數據應用分析：微分與濾波

本研究中透過程式所得之原始數據是繞射光點位移變化，然而在一般地震儀或是震動計的紀錄多是偵測震動造成之速度、加速度，原因是為了分析震動造成之運動量與作用力。因此，在此部分研究進一步將數據透過程式進行微分運算，數據經一次微分可獲得繞射光點之速度、數據經二次微分可獲得繞射光點之加速度。其方式是將程式追蹤影像所得之繞射光點位移數據的 CSV 檔以 datetime 計算數據的一階和二階微分，並將結果保存到不同的 CSV 檔案中。這些檔案分別包含：時間、追蹤資料、一階微分和二階微分的數據，如圖 39。接著程式會運用 matplotlib 函式庫繪製了一個包含三種物理數據之子圖，分別顯示了位移、速度和加速度隨時間變化的趨勢，如圖 40。



圖 39 產生的資料夾包含：時間、追蹤資料、一階微分和二階微分的 CSV 檔

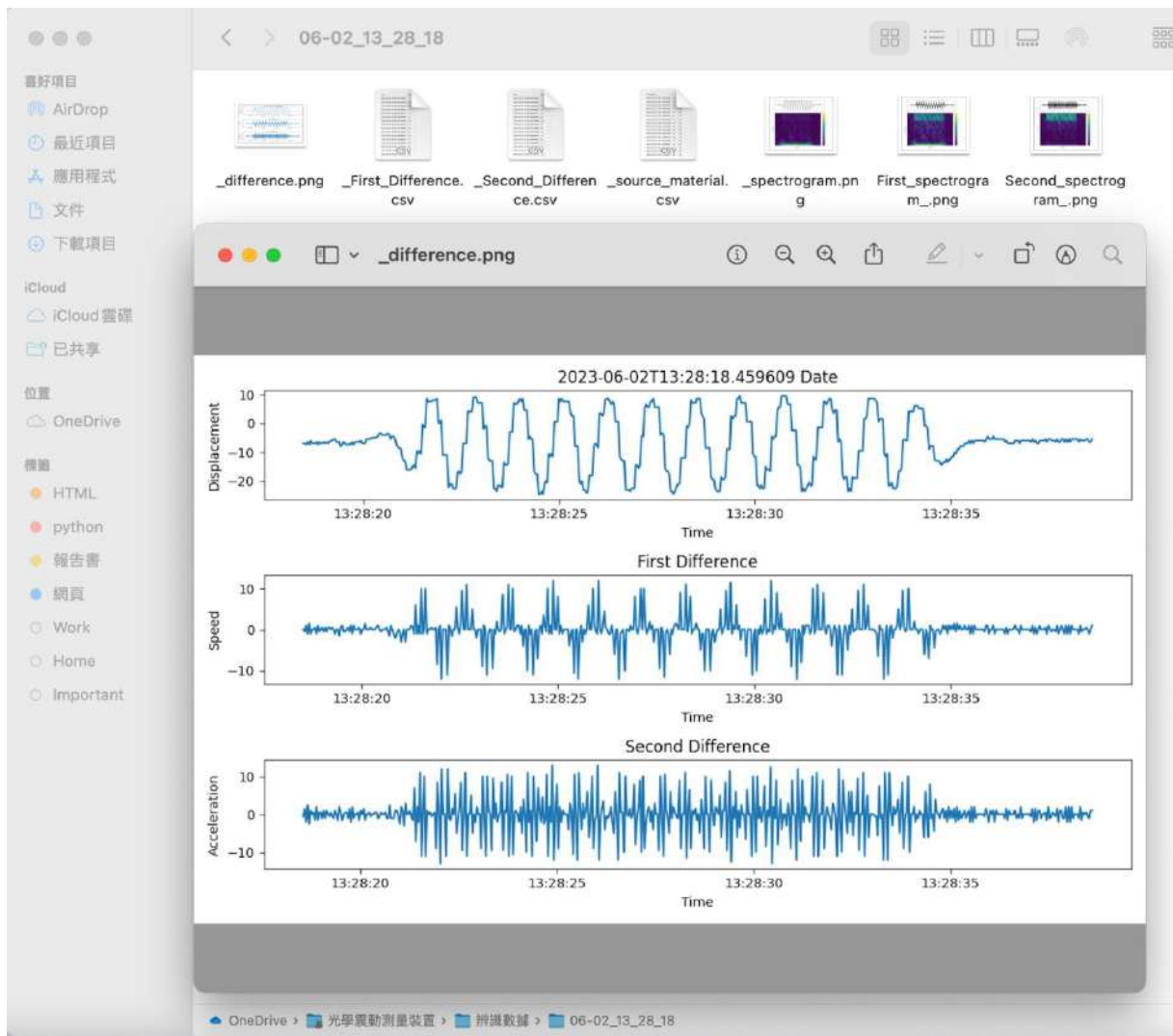


圖 40 繪製出顯示了位移、速度和加速度隨時間變化的趨勢圖

程式可再將所得的三種趨勢圖進行傅立葉轉換，然而考量訊號在取樣與運算過程可能產生非震動訊號本身的雜訊，因此會透過濾波方式，選擇讓一般地震訊號頻率上限 10Hz 以下的訊號波通過濾波器(低通濾波)，如圖 41 所示，比較紅色框與藍色框，可以看到低通濾波器能夠有效的抑制高頻率的雜訊，且不會影響主要測量的震動主要訊號之頻譜圖。

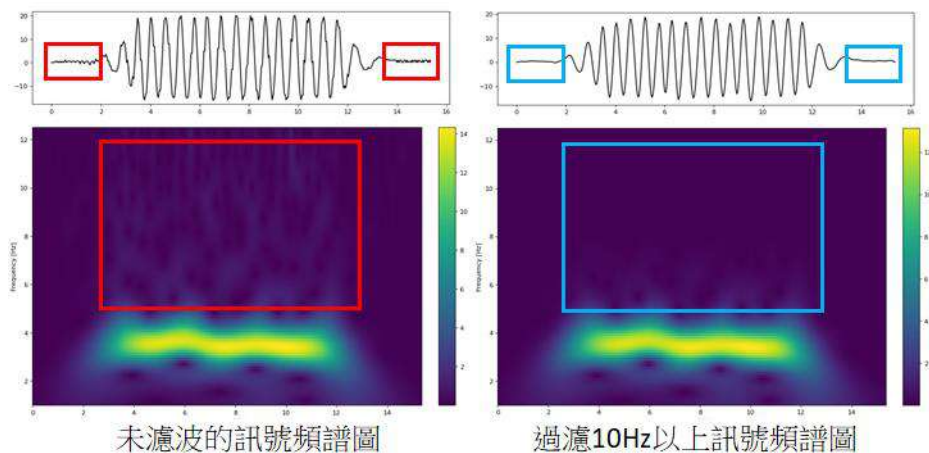


圖 41 濾波作用對震動訊號頻譜圖之影響

實驗四、結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

A、模組化光學式震動測量裝置

透過 3D 列印一體成型方式製作裝置如圖 42，可在微小化裝置的同時確保裝置穩固性及穩定性，並能精準預留各別零件位置，有助於大量製作同時確保不同裝置所測得出的數值一致。此外，考量微小化裝置可能在測量上產生靈敏度的差異，設計透過增加配重塊來提高單擺擺錘本身的慣性質量，如圖 43。根據實驗測量結果並比較實驗三之數據，發現透過增加擺錘質量可有效維持靈敏度，如圖 44。

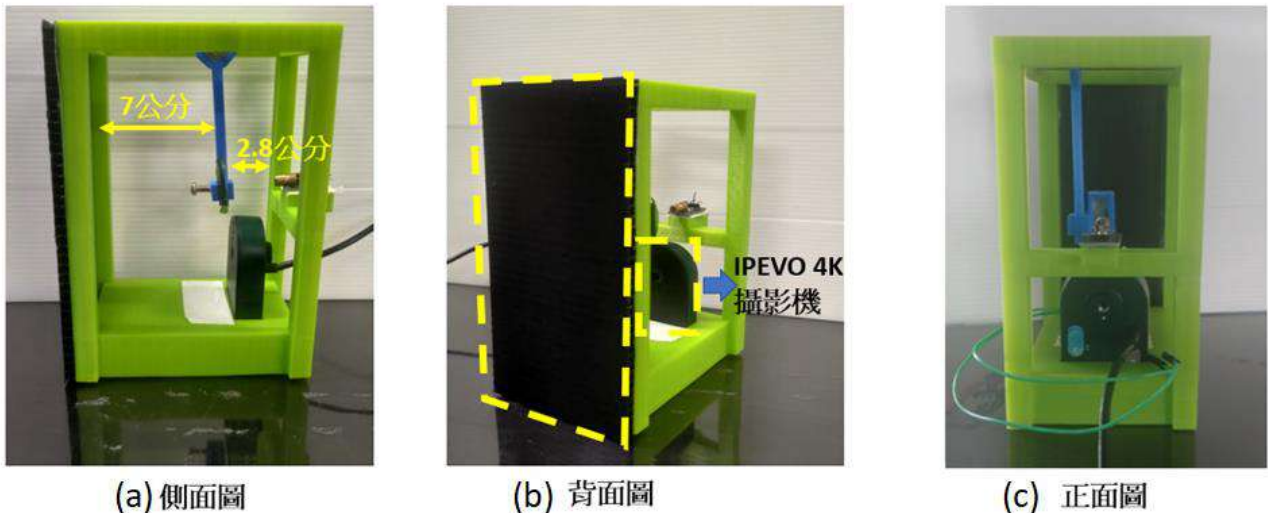


圖 42 微小化的測量水平方向震動訊號之光學式震動測量裝置

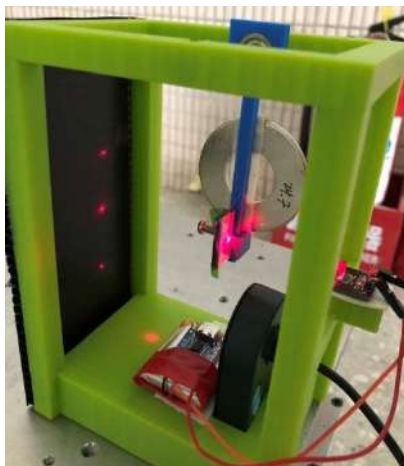


圖 43 於擺臂加上配重塊增加慣性質量

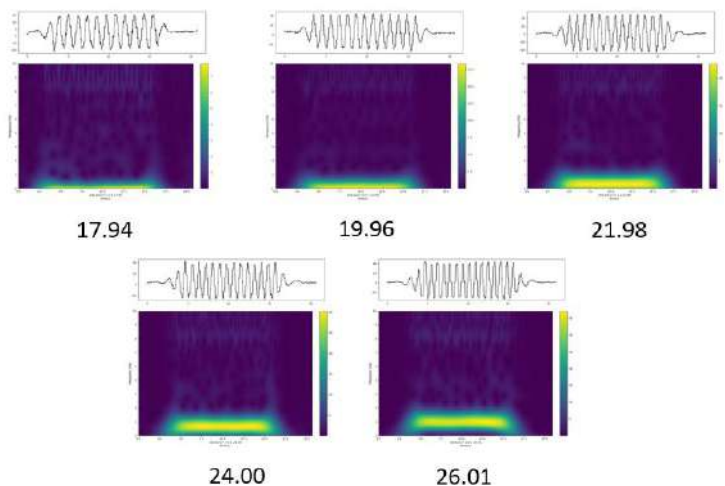


圖 44 多執行序及微小化裝置配合配重塊測量五個數據之頻譜圖

為了驗證微小化後的光學式震動測量裝置依然能夠對於水平方向的震動強度與訊號方向作出有效的震動反應與紀錄訊號，將裝置以相對於震動方向不同的夾角安裝於平台上，分別由平行震動方向將裝置旋轉 0 度~80 度，得到不同夾角下震動訊號的峰對峰值平均數據如圖 45 所

示。在各種平台數值強度的作用下，裝置隨著角度變化有著明顯的峰值強度變化，顯見足以透過兩組正交的裝置，即可判斷平面上震動訊號的來源方向。

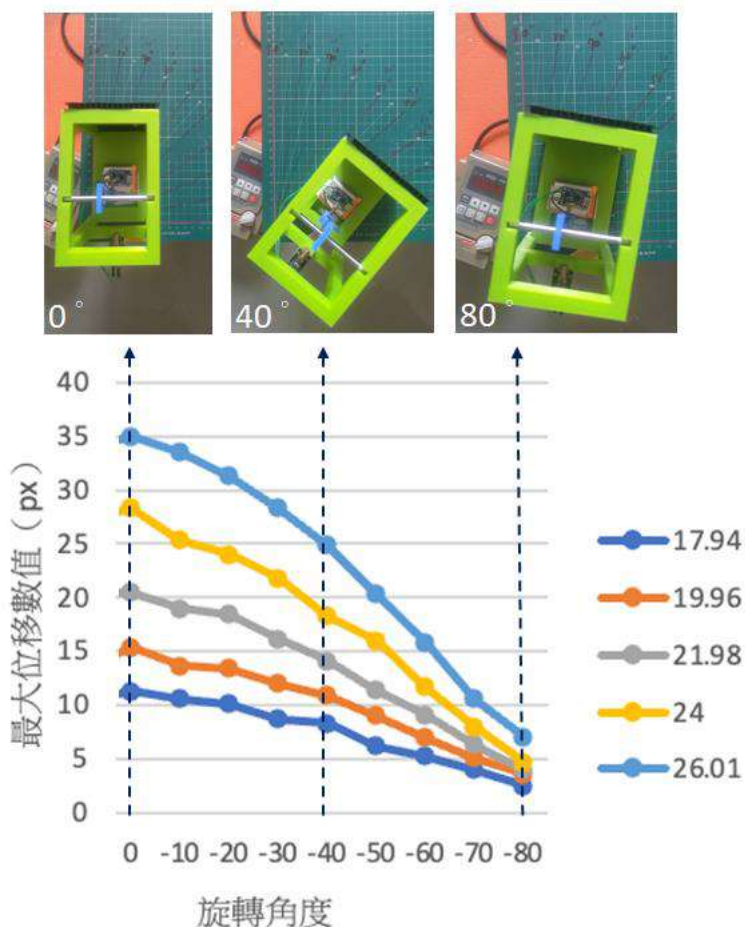


圖 45 裝置與平台震動方向夾角造成之峰對峰值變化

因此，研究製作了兩組相互垂直的光學式震動測量裝置，一起安裝於震動平台上，如圖 46 所示，並以三種夾角進行實驗測試，觀察不同角度下兩組裝置訊號的變化。其實驗結果如圖 47 所示，可以明顯看到當裝置與震動訊號方向垂直時，如圖 47(a)的 X 方向震動訊號之頻譜圖，僅能出現雜訊；同時發現 47(a)的 Y 方向震動訊號峰值為最高。而且比較 47(a)~(c)可以發現 Y 方向震動裝置峰對峰值強度隨交度增加而減少，而且數值變化關係接近 sin 函數關係。

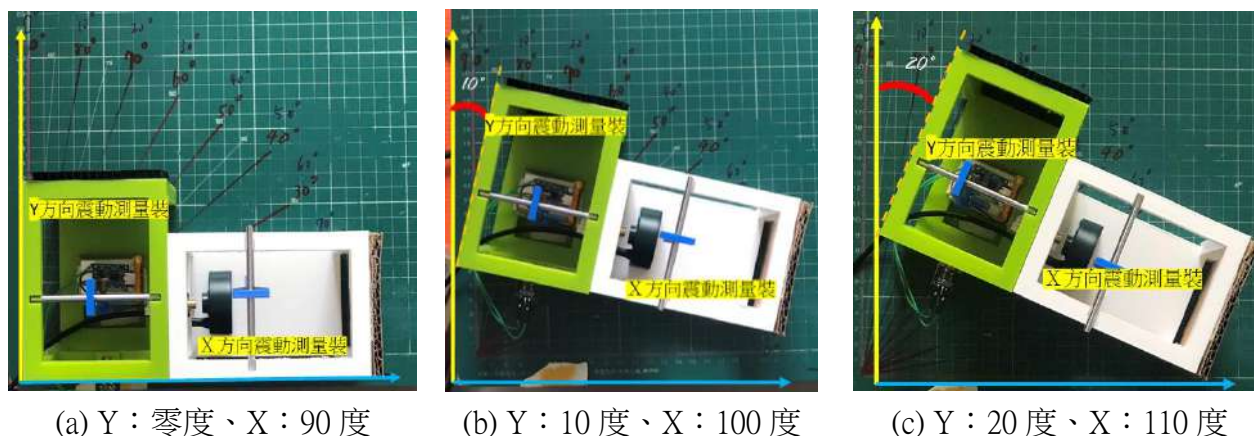
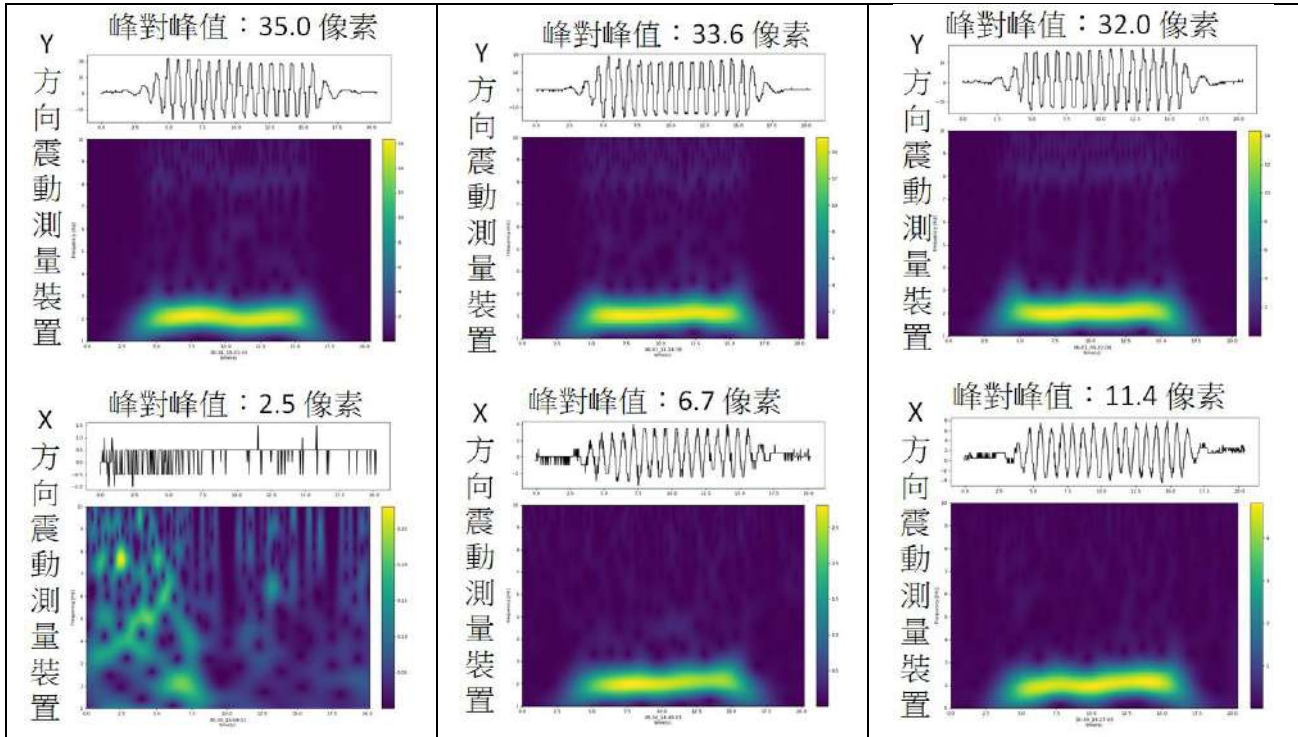


圖 46 震動平台上兩組相互垂直的光學式震動測量裝置



(a) Y：零度、X：90 度

(b) Y：10 度、X：100 度

(c) Y：20 度、X：110 度

圖 47 震動平台上相互垂直的光學式震動測量裝置之訊號變化

B、垂直方向光學式震動訊號測量裝置

為了發展多軸向的光學式震動訊號測量裝置，研究參考了中央研究院開發的自製地震儀 AS-1 結構，設計垂直方向光學式震動訊號測量裝置，如圖 48，並測量不同強度的單次震動訊號作用下，其最大振幅的峰對峰值變化趨勢，如圖 49 所示。並驗證連續垂直方向震動訊號作用下，獲得垂直方向光學式震動訊號測量裝置與 MEMS 加速度模組具有相似的震動響應，如圖 50。

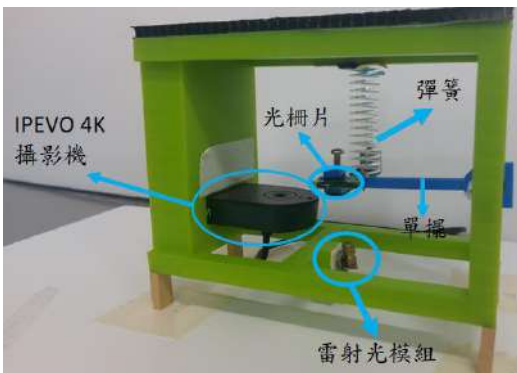


圖 48 垂直方向光學式震動訊號測量裝置
Z 軸震動趨勢

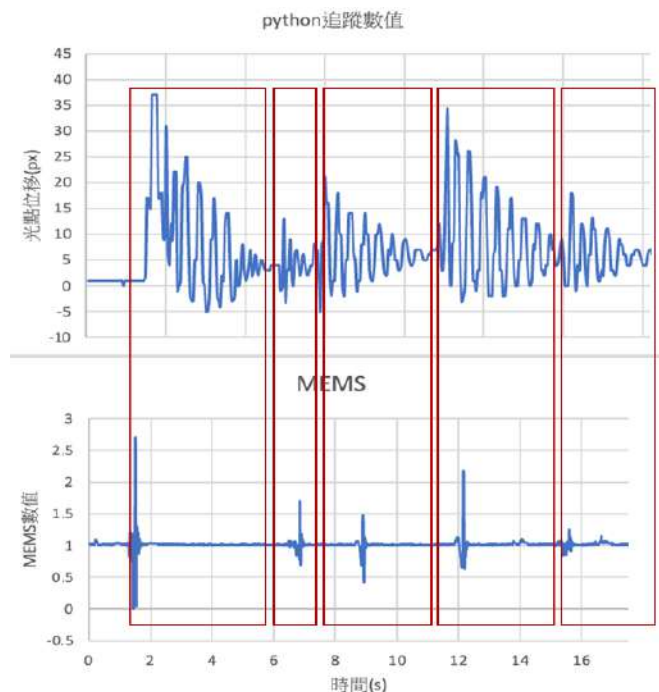
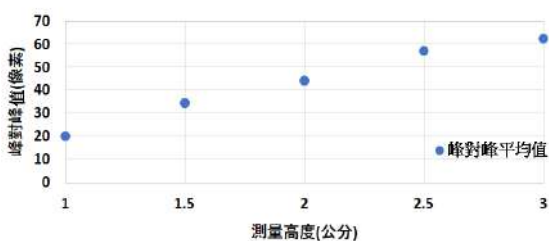


圖 49 最大振幅的峰對峰值變化趨勢 圖 50 連續垂直方向震動訊號作用下之震動響應 C、以物聯網監測光學式震動測量裝置之訊號

當光學式震動測量裝置偵測到震動訊號時，會使得單擺產生慣性擺動，配合單擺上的光柵片可以使得後方繞射光點產生規律性的間距變動，透過相機抓取繞射光點變動訊號，並透過 Python 分析光點即時位移數值做判斷。在監測震動數值的應用，會設定警報數值，若光學式震動測量裝置顯示之震動數值超出預設警報數值，就會透過物聯網傳輸警報，並依數值的強度進通知。根據實驗中所使用的震動平台強度，可區分三個強度，分別對應地震級數為 3 級、4 級以及 5 級的有感震動訊號。根據程式設計，所傳輸之警報訊息字串內容包含日、時間、測站名稱以及震動級數，並透過 line notify 將訊息發送出去，實驗所得三種有感震動訊號之警報訊號如圖 51。在警報即時傳訊的功能部份，配合 Python 程式紀錄之震動訊號，如圖 52 中強震動訊號出現的時間(14:15:33)，即可透過物聯網即時傳輸 line notify 將訊息給予相關人員。而上述所有監測數據與警示訊號，也透過程式(如圖 53)儲存於雲端硬碟記錄。

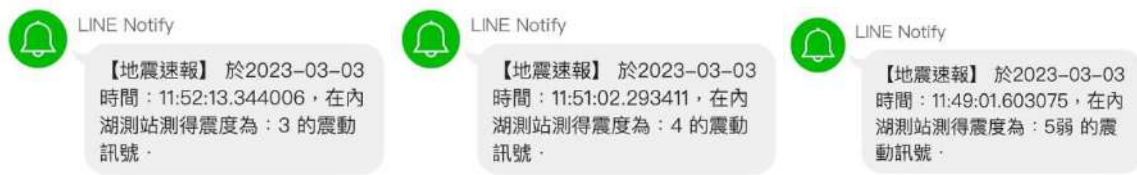


圖 51 裝置結合物聯網以 line notify 傳輸不同強度之震動警報訊息

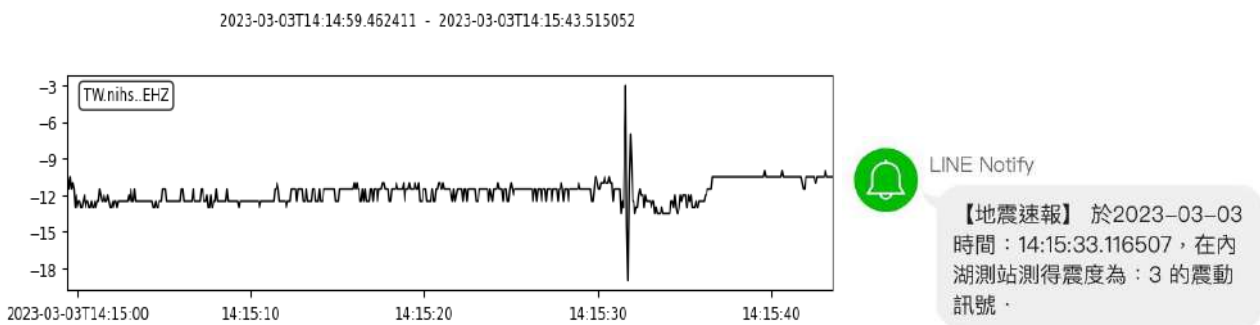


圖 52 即時以 line notify 傳輸之震動警報

```
folder_path = '/Users/USER/Library/CloudStorage/OneDrive-個人/光學震動測量裝置/辨識數據'  
os.makedirs(os.path.join(folder_path, dtt), exist_ok=True)  
file_path = os.path.join(folder_path, dtt + '/')  
file_name = file_path + "_source_material.csv"  
spectrogram = file_path + "_spectrogram.png"  
Difference = file_path + "_difference.png"  
First_Difference = file_path + "_First_Difference.csv"  
Second_Difference = file_path + "_Second_Difference.csv"  
First_spectrogram = file_path + "First_spectrogram_.png"  
Second_spectrogram = file_path + "Second_spectrogram_.png"
```

OneDrive 路徑

圖 53 透過程式可將監測數據與警示訊號儲存於雲端硬碟

伍、 討論

實驗一、分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用

1. 空間中光柵旋轉之繞射變化研究，可發現，隨著光柵條紋密度愈密，繞射光點的間距會愈來愈大，如圖 16、圖 17 所示，此結果符合光柵繞射關係 $\frac{\lambda}{\Delta x} = \frac{D}{L}$ (Δx 狹縫條紋間距、 λ 光波長、 L 光柵片至屏幕的距離、 D 繞射光點間距)，當 λ 與 L 為固定數值時， $D \propto \frac{1}{\Delta x}$ 。以 300 條/mm 光柵片為例，當光柵片旋轉時，可觀察到遠端的繞射光點間距(D1*)與近端的繞射光點間距(D)的變化差異，發現遠端的繞射光點間距(D*)變化幅度較為明顯，如圖 17(c)的 D1*變化幅度比 D1 更明顯。
2. 針對光柵結合慣性單擺之繞射變化之實驗，觀察單擺角度改變時，對照遠端的繞射光點間距與近端的繞射光點間距(D1)的變化，亦可發現遠端的繞射光點間距變化幅度較為明顯，如圖 18 所示，300 條/mm 的光柵片繞射光點間距 D1*隨著單擺角度變化幅度大於 D1，其分析結果如圖 19 所示，可以發現 D1*的變化超過初始值的 40%。而且此部分結果與旋轉平台所得之結果亦相符。

實驗二、分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢

1. 在阿特伍德機的實驗中，由於加速度感測器的限制，自製加速度偵測裝置難以明顯地找出受到加速度作用的數值關係，如圖 21，當裝置下落撞擊地面軟墊衝擊造成明顯的加速度下，才會看到自製加速度偵測裝置有明顯的數值出現。在諧振實驗中，可以產生連續變化且明顯的加速度，因此可以看到自製加速度偵測裝置的數值變化，如圖 22，經過數值計算亦可知道彈簧裝製作簡單諧振之加速度極大值，比較兩數值即可得到自製加速度偵測裝置與實際加速度的換算比率為 0.187，可作為未來自製加速度偵測裝置安裝於震動結構上偵測物體因地震而振動時的加速度量值。
2. 透過光學式震動測量裝置光點間距(D1*)的震盪關係，如圖 23，可以明顯的看出繞射光點之間距變動確實能夠反應結構震動之加速度趨勢，然而數值關係需進一步透過大量的測試，方能找出繞射光點與結構震動之函數正確的對應關係。
3. 透過加速度感測 MEMS 晶片測量之平台表面連續震動與光學式震動測量裝置之加速度數值相近，顯見在足夠強度之裝置結構下，結構的自然振動頻率並未造成加速度數值強度之影響。但比較圖 25、圖 26，可以發現在數據變動雜訊上，在圖 26 中可以看到較明顯之雜訊，其原因可能來自光學式震動測量裝置結構在連續震動下的應力作用，震動能量造成結構體的微小震動，使 MEMS 晶片感受到持續不斷的雜訊，所幸訊號雜訊比仍在足

夠判讀訊號之範圍。配合單擺結構不同傾斜角度的光柵片載台，可有效提升震動訊號測量能力，由圖 28 至圖 30 可知，適度的改變光柵片傾斜角度，能夠提升 2.5 倍以上的繞射光點變動率，增強光學式震動測量裝置的測量能力。透過 Excel 將圖 28~圖 30 分別將各條件下震動訊號的峰對峰值加以平均後，繪製各強度平台數值與峰對峰值(平均值)之關係圖，如圖 31，確定適度的使光柵片傾斜，可獲得較靈敏的震動響應。但是，實驗中亦發現，光柵片傾斜角度會受限於光柵片尺寸與，而且愈傾斜的光柵片其繞射光點成像清晰度愈差，故在選擇單擺所吊掛的光柵片載台需考量多中因素之影響。

實驗三、以 Python 程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析

1. 利用 OBSPY 程式分析平台之加速度感測 MEMS 資料，證明在適當的強度下，平台可模擬地震波之影響，如圖 32 所示。單擺之載台安裝大角度傾斜之光柵片的 Tracker 分析數據頻譜圖，如圖 33 所示，其變化趨勢符合震動平台是利用縮短往復運動時間來增強震動強度之操作方式，證明繞射光點變動之 Tracker 分析數據，可用於測量與紀錄地震訊號。
2. 為了更有效利用 OBSPY 程式繪製頻譜圖，研究透過自行設計 Python 繞射光點追蹤程式，成功的獲得繞射光點的變動的數據，並將數據即時轉化為數值資料，並輸入至 OBSPY 程式繪製頻譜圖。其結果不僅的成功獲得清楚的震動訊號頻譜圖，在不同平台數值下獲得明顯的特徵頻率變化，同時也消除了原本使用 Tracker 軟體數據資料所繪製的 OBSPY 頻譜圖兩側低頻雜訊，並同時發現攝影機取樣率對 OBSPY 繪製頻譜圖具有一定影響性，可透過提高攝影機的 fps 有效消除影像取樣率造成之頻譜圖雜訊，如圖 36。
3. 光學式震動測量裝置最大的優勢在於，可以即時獲得光學式震動訊號測量的結果，並能更有效的運用 OBSPY 程式的優勢，有助於後續測量訊號之應用。而且透過多執行緒的方式提升數據取樣率，可由單一執行序 7fps 提升至 28fps，如圖 38，可以發現震動訊號之頻譜圖中的雜訊被抑制了。同時因奈奎斯特頻率(Nyquist frequency)，的限制所以我只能解析我們取樣率一半的訊號，所以透過多執行緒提升取樣率可以確保我們可解析的訊號大於 10Hz，高於一般地震波的頻率。
4. 由於研究中程式紀錄之原始數據是為繞射光點位移變化，可透過運算獲得一階和二階微分並加紀錄為 CSV 檔，有助於研究分析震動造成之位移、速度和加速度隨時間變化的趨勢，如圖 40，而且在進行繪製頻譜圖的傅立葉轉換之前，可讓數據透過低通濾波器過濾掉不符合震動訊號的雜訊，藉此獲得低雜訊的數據，如圖 41，同時也不會影響主要測量的震動主要訊號之頻譜圖。

實驗四、結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

1. 本研究成功的利用 3D 列印微小化裝置(圖 42)需兼顧穩固性及穩定性，可於未來大量製作

光學式震動測量裝置。根據實驗數據可確認在微小化裝置的單擺上增加慣性質量，有助於提升靈敏度，如圖 44。並且透過實驗能驗證此微小化的光學式震動測量裝置能夠有效且靈敏的辨別出震動訊號來源方向與裝置夾角的差異，如圖 45 所示。同時基於平面上兩組相互垂直的裝置對震動訊號的測量結果，如圖 47，可用於判斷平面上震動訊號的來源的方位。

2. 垂直方向的 3D 列印微小化光學式震動測量裝置亦成功開發，能夠有效測量出不同強度的垂直震動訊號，如圖 49，而且能獲得與 MEMS 加速度模組相似之震動響應，如圖 50，可結合平面的兩組光學式震動測量裝置，開發出多軸向之光學式震動測量裝置。
3. 結合物聯網功能之光學式震動測量裝置，當偵測到超過警報數值的震動訊號，將可透過物聯網將警報訊息字串，包含日、時間、測站名稱以及震動級數，並透過 line notify 將訊息發送出去，如圖 52，達到即時傳訊警報的目的，同是透過雲端儲存方式記錄所有警示訊號與監測數據。

陸、 結論

本研究成功嘗試開發多軸向光學式震動測量裝置，基於光柵片結合慣性擺動裝置與彈簧懸吊系統，建立可偵測水平與垂直震動訊號的新穎方法。研究中透過實際的動態震動訊號進行研究，並在結構上加裝自製加速偵測器來測量結構震動的實際加速度與繞射光點間距變動之趨勢，確認能以光學式震動測量裝置來反映出不同強度之震動訊號。更導入地震研究領域中常用之 OBSPY 程式，分析光學式震動測量裝置所得之地震波訊號的頻譜圖，並與 MEMS 晶片數據比較準確度，成功透過本光學式震動測量裝置獲得與測試震動平台震動強度趨勢相符合之測量震波訊號的頻譜圖，接著利用自行開發出的即時進行繞射光點影像追蹤之 Python 程式成功減少震動訊號影像辨識之步驟，並透過多執行緒的作用，提昇影像取樣率(fsp)，在符合訊號處理的奈奎斯特頻率(Nyquist frequency)條件下，成功抑制雜訊，並獲得準確的震動訊號頻譜分析圖，更進一步針對訊號進行運算與濾波，優化數據並提升可應用價值。此外，經驗正能以水平方向與垂直方向的多組震動訊號監測裝置，開發出多軸向光學式震動測量裝置，而且為了讓裝置能應用於震動警示，可結合物聯網之功能，有效將監測與紀錄數據上傳雲端儲存，當偵測到超過警報數值的震動訊號後，藉由物聯網將警報訊息以 line notify 將訊息發送出去，達到即時傳訊警報的目的。

未來將設計以電路方式進行繞射光點的測量及記錄，透過陣列感光耦合元件(CCD)的方式進行繞射光點的位移測量，簡化光學式震動測量裝置所需的攝影機與屏幕，如圖 54，將可進一步基於光學精準度的與半導體的靈敏度，將能有效的大幅縮小整體光學式震動測量裝置的體積。

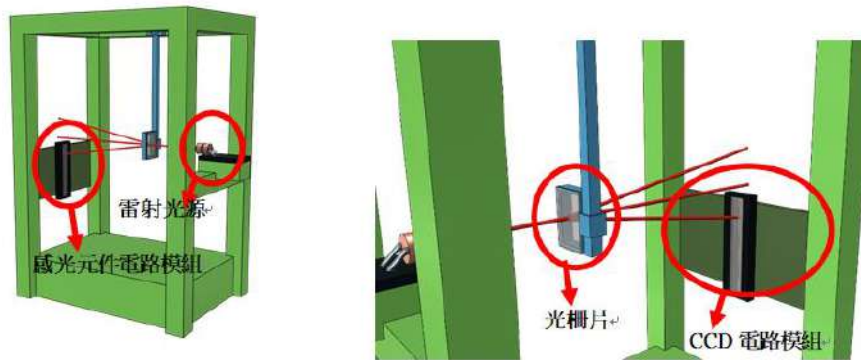


圖 54 陣列式感光電路之光學式震動測量裝置(3D 模型圖)

柒、參考資料

- [1] 周啟(2022)。第十七章 繞射光柵,中山大學物理系開放式課程講義: 1-3
- [2] 普通物理實驗 干涉與繞射, 清華大學普通物理實驗手冊, 4
- [3] 中央大學應用地質研究所(2022)。工程地質與新興科技研究室,集集地震專輯-地震資料的處理首頁, <https://reurl.cc/g0pRep>
- [4] 中央大學應用地質研究所(2022)。地震定位。 <https://reurl.cc/Y9RYYo>。
- [5] 方維倫等(2019)。CMOS MEMS 微型加速度計, 科儀新知第三十卷第一期 97.8。
- [6] 張文濤(2019)。基於干涉法的反射式光柵旋轉角度檢測方法 雷射與光電子學進展, 56(11):110501。
- [7] Time Frequency Misfit. (2022, November 21). Retrieved from https://docs.obspy.org/tutorial/code_snippets/time_frequency_misfit.html
- [8] python:Mark Summerfield (2014)。精通 Python 3 程式設計 第二版(蔣大偉譯)。碁峰。(原著出版於 2010 年)
- [9] Python 日期和时间. (n.d.). Retrieved from <https://www.runoob.com/python/python-date-time.html>
- [10] Python 以 LINE Notify 自動傳送即時訊息、圖片教學與範例. (2023, February 23). Retrieved from <https://officeguide.cc/python-line-notify-send-messages-images-tutorial-examples/>
- [11] Summer. (2018, October 21). [Day06]儲存資料 - File、檔案類型(Csv、xml、json、yaml). Retrieved from <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10202695>
- [12] (Day 8) OpenCV 單物件追蹤. (2022, September 19). Retrieved from <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10293708>
- [13] 【Python】改善 VideoCapture 的影像延遲. (2021, May 13). Retrieved from <https://dotblogs.com.tw/shaynling/2017/12/28/091936>

【評語】 052306

1. 本作品探討光學式震動測量裝置，結合 IoT 技術達到監測分析震動訊號並即時警示的目的，值得鼓勵!
2. 建議應該比較相關文獻技術的優缺點，說明作品的創新性或進步性，並將成果與文獻比較。
3. 建議應該更深入分析光柵繞射分光的有效性與限制。

作品海報

光學震動裝置

摘要

本研究開發的**多軸向光學式震動測量裝置**，結合**物聯網技術**達到監測震動訊號並**即時警示**的目的，在震動訊號分析上，以OBSPY程式輸出訊號頻譜圖，並自行開發Python程式利用增加執行緒的模式，**提升影像紀錄取樣率**達到符合資料分析所需之奈奎斯特頻率(Nyquist frequency)條件，將數據有效運用。並透過**3D列印技術**製作出**微小化多軸測量裝置**，將紀錄到的數據，透過物聯網傳輸，**儲存於雲端資料庫**內，同時可即時偵測震動訊號是否超過警示數值，並透過**line notify**將警示訊息發送出去，達到**即時監測與警報**的目的。

研究動機

在生活中震動的訊號監測在許多方面都相當重要，不論是大型工程設施及製造工業，如：橋梁、晶圓生產線、顯示面板生產線...，這些建築或生產線都會受到震動的影響，但是造成影響的震動訊號強弱皆不相同。現今普遍常用的模組是透過晶片的微機電系統 (Micro Electro Mechanical Systems, MEMS) 來測量震動時的加速度，並紀錄震動訊號。此外亦有高階的地震儀的測量方式，但是裝置所需經費相對較昂貴。在學校學習到光柵的應用，發現光柵繞射對於微小的距離變化相當靈敏，但是過度靈敏的變化對於有感的震動並不理想，因此希望結合和測量震動常用的慣性，配合光柵繞射變化來達成一般環境震動的監測。並將裝置結合物聯網功能，希望設計出低成本和高效率光學震動測量裝置。透過即時監測和運算分析，作為建築物和生產線的震動檢測和警示來提升各類環境的安全與工業生產的品質。

研究目的

- 1.分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用
- 2.分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢
- 3.以Python程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析
- 4.結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

研究過程及方法

實驗一、分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用

(1)光柵片水平旋轉

透過旋轉台確認光柵片在水平方向的偏轉與繞射光點變化之關係

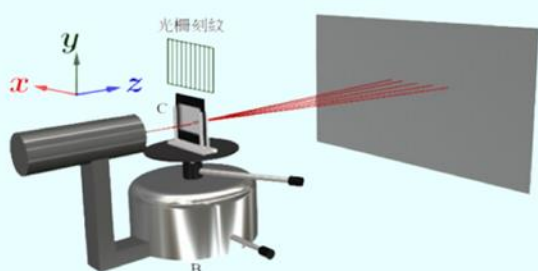


圖1 光柵結合旋轉台之觀測平台

(2)光柵片垂直擺動

透過單擺裝置確認光柵片在垂直方向的偏轉與繞射光點變化之關係

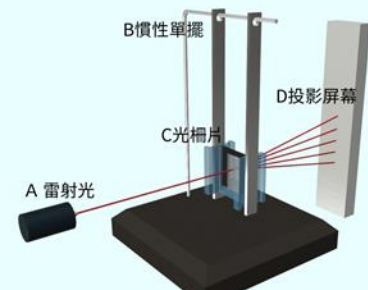


圖2 光柵結合慣性單擺之觀測平台

實驗二、分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢

(1)、出帶鋁擠料裝置

透過鋁擠料框架製作初代裝置並以相機記錄單擺擺動時的繞射光點變化

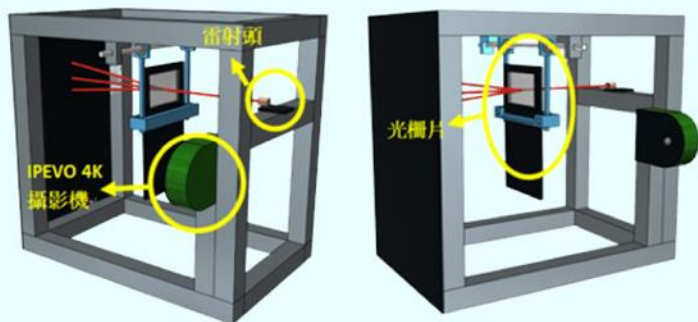


圖3 3D裝置示意圖

(2)、透過平台做裝置驗證

透過商用震動平台驗證裝置對於平面震動的響應並同時架設mems晶片做紀錄並與繞射光點變動趨勢做比較

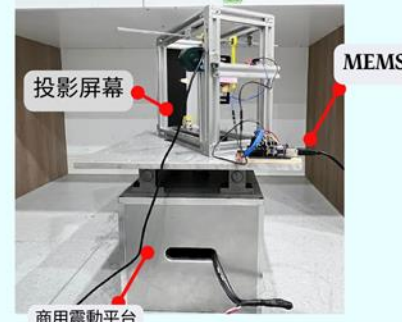


圖4 鋁擠料框之光學式震動測量裝置與MEMS晶片加速度測量模組

實驗三、以Python程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析

(1)tracker訊號分析方法

原先使用的tracker分析方法資料需要經由人為處理後才可放進obspsy中做頻譜繪製，由此一來資料無法達到即時分析，且過程中需要頻繁的人為操做

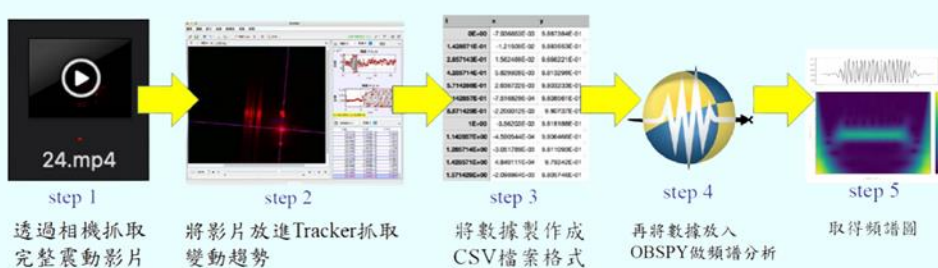


圖5 Tracker分析5步驟頻譜圖繪製程序

(2)python影像追蹤

由於上述tracker問題因此我們透過python結合opencv撰寫了即時的物件追蹤程式，由此來做自動化的追蹤及數據分析，且程式直接與obspsy結合可以達到即時數據分析

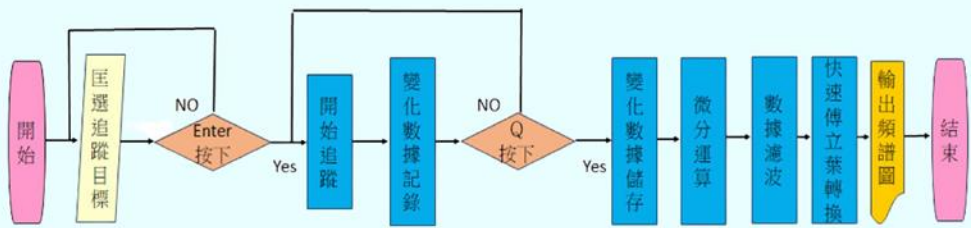


圖6 Python影像追蹤程式運算邏輯

實驗四、結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

(1)製作多軸測量裝置

透過3D列印一體成型微小化裝置同時將水平測震裝置加入彈簧懸吊來達成垂直振動訊號測量

(2)結合物聯網技術做警訊發送

使用標準儀器對光點位移數據分級並透過line notify做異常警訊回報所傳輸之警報訊息字串內容包含日、時間、測站名稱以及震動級數

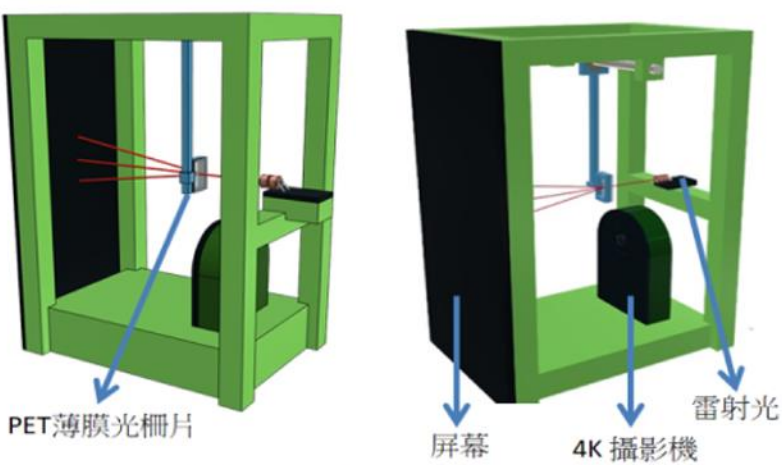


圖7 平面方向的震動測量裝置3D示意圖

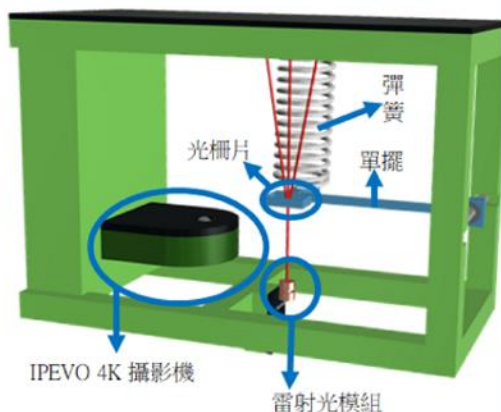


圖8 垂直方向的震動測量裝置3D示意圖

裝置擷取之光學訊號

python 數據分析

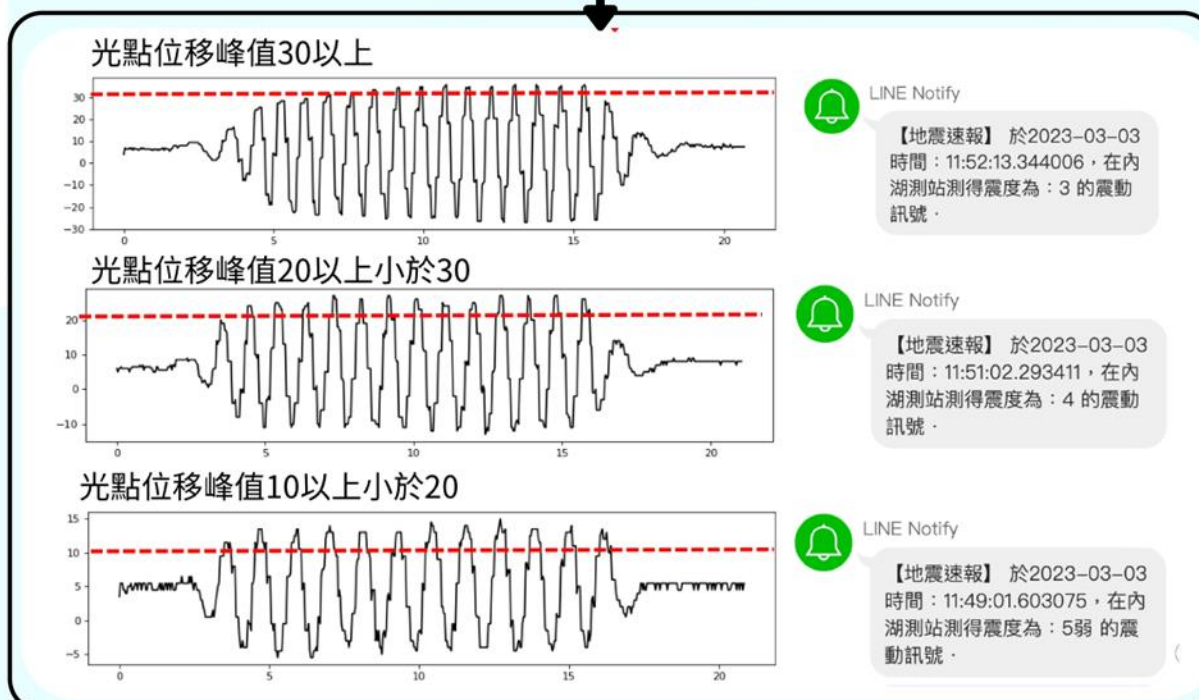


圖9 物聯網技術結合光學式震動測量裝置運作圖

研究結果

實驗一、分析光柵片在空間中旋轉與慣性單擺角度變化之繞射作用

拍攝光柵片水平旋轉從0度到60度之繞射光點變化趨勢，如圖10，並透過Photopea軟體測量繞射光點正負一階至零階之間的像素距離，如圖11。

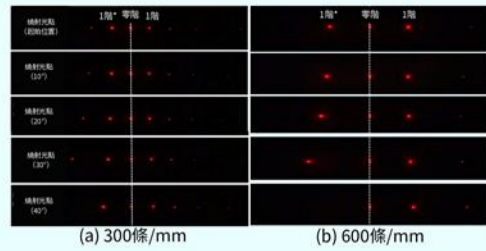


圖10 繞射光點隨光柵片旋轉角度之變化圖

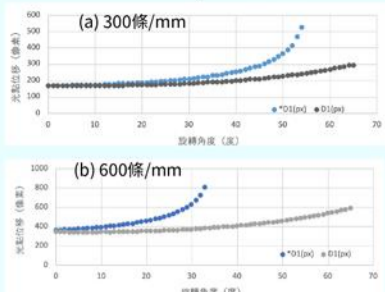


圖11 光柵片旋轉角度之繞射點間距分析

拍攝光柵片從與地面垂直向後擺動30度之繞射光點變化趨勢，如圖12，並透過Photopea軟體測量繞射光點正負一階至零階之間的像素距離，如圖13。

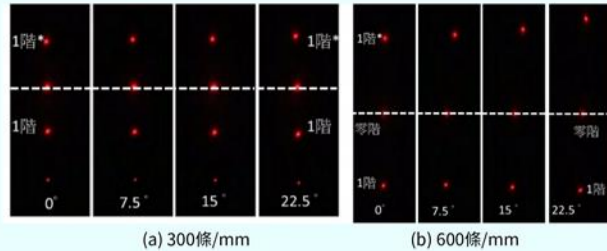


圖12 繞射光點隨光柵片擺動角度之變化圖

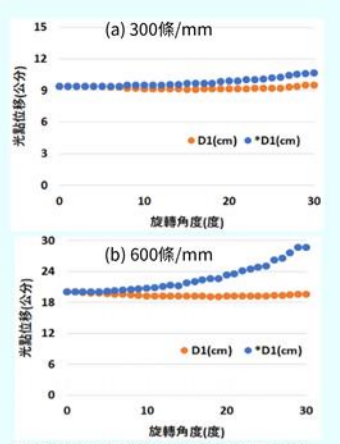
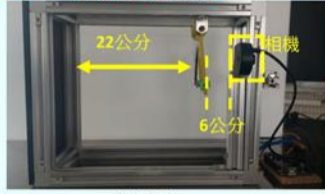


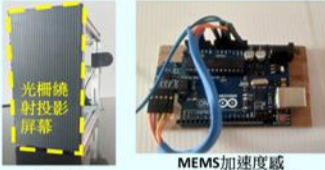
圖13 光柵片擺動角度之繞射點間距分析

實驗二、分析慣性單擺在連續震動下光柵繞射光點之震盪反應與趨勢

透過鋁擠料框架製作初代光學式震動測量裝置，如圖14，並將相機固定於框架上由此來解決對焦的問題。



側面圖



背面圖

MEMS加速度感測晶片(ADXL335)

圖14 鋁擠料框之光學式震動測量裝置與MEMS晶片加速度測量模組

接著透過分別將MEMS架設於震動平台與光學式震動測量裝置框架上，並記錄在五種不同震動強度之下兩區域的加速度數值做比對，如圖15，由此來確認裝置是否有單擺效應的發生。

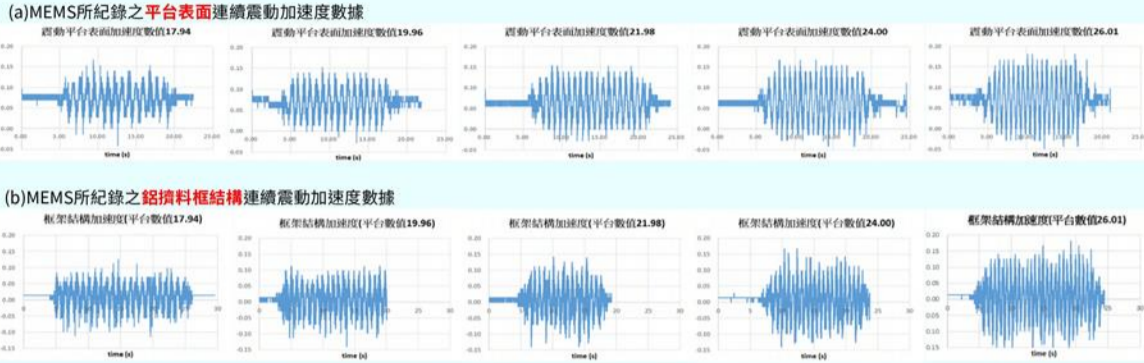


圖15 MEMS所紀錄之震動測量裝置連續震動加速度數據

同時紀錄平台震動時的繞射光點變化趨勢，與MEMS的變動數據，如圖16，由此來驗證光學式震動測量裝置是否能反映出實際的震動訊號。

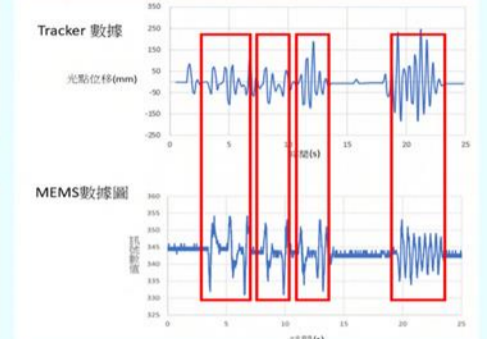


圖16 繞射光點之間距變動與結構加速度變動關係比較圖

實驗三、以Python程式處理光學式震動測量裝置訊號與運算分析

A、以OBSPY程式分析光學式震動測量裝置之震動訊號

透過tracker軟體針對5個不同強度所造成的光點變動趨勢取出後，再透過地震學常用來分析資料的obspy函式庫來做頻譜分析，繪製出相同強度的震動訊號下MEMS訊號變動趨勢，如圖17，與光點變動趨勢如圖18做比對。

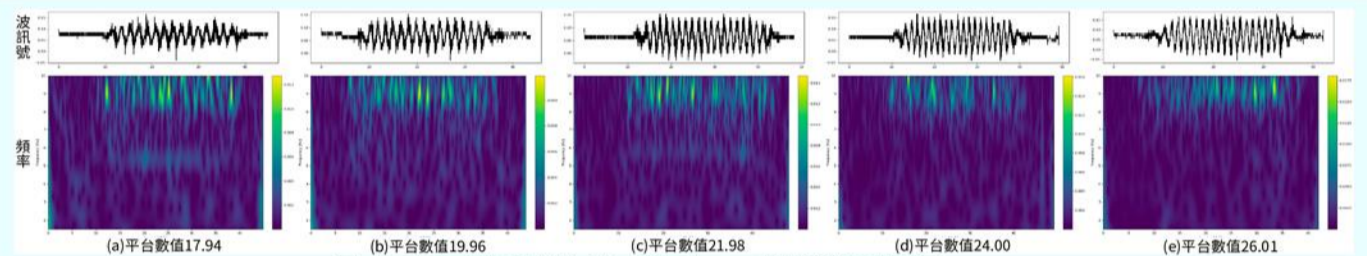


圖17 平台表面連續震動之加速度感測元件MEMS晶片測量訊號頻譜圖

在圖18中可以明顯看到隨著震動強度增加綠色虛線區域內的帶狀區域也會隨著上升，圖中紅色框中的高強度低頻訊號則是由於tracker取樣率的不穩定性所造成頻譜圖在繪製前的運算有大量的空值出現。

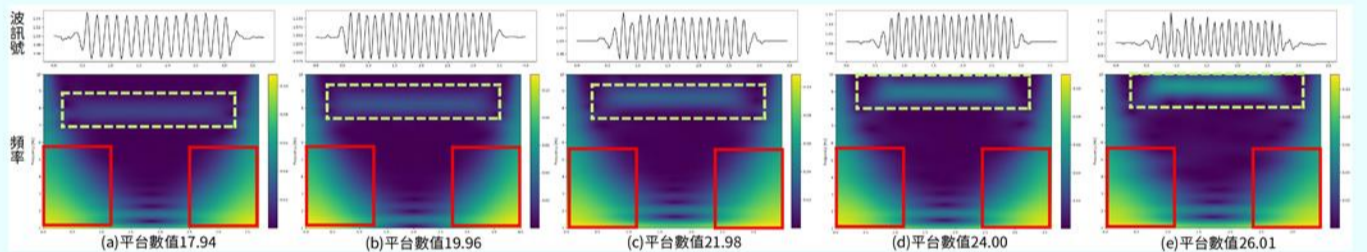


圖18 光柵片影像所得之Tracker分析數據頻譜圖

B、Python程式繞射光點影像追蹤辨識與頻譜分析

由於上述tracker的問題為此透過python使用opencv函式庫來開發一套即時物件追蹤程式，如圖19，加速資料分析速度的同時也解決了tracker取樣的不足。

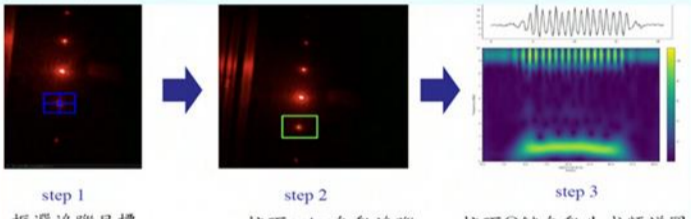


圖19 Python繞射光點追蹤程式與頻譜圖繪製步驟

圖20為自行開發的追蹤程式針對相同強度透過不同取樣率之數據所會出的頻譜圖，可以看到我自行開發的程式在紅框中的高強度低頻訊號已經消失，同時透過多種不同的相機取樣率可以發現隨著fps的提升黃色虛線框中的相機的機械頻率訊號也有逐漸減少的趨勢。

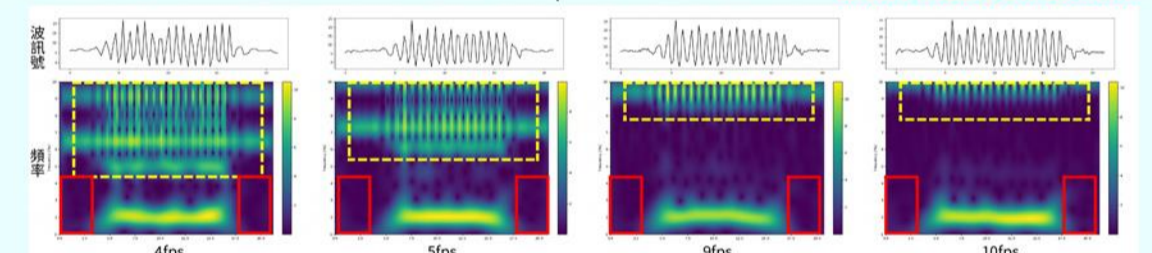


圖20 固定平台數值下不同攝影機取樣率對於雜訊的影響

C、透過增加軟體執行緒來提升訊號取樣率

常見的地震訊號都在10Hz以內，我們自行開發的程式取樣率極限是12Hz但由於奈奎斯特頻率的限制，使得我們最多只能分析6Hz以內的訊號，為此我們透過多執行序的方式重新開發追蹤程式來達成取樣率到26Hz。

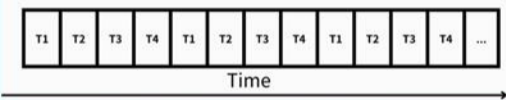


圖21 單一執行緒程式運作流程

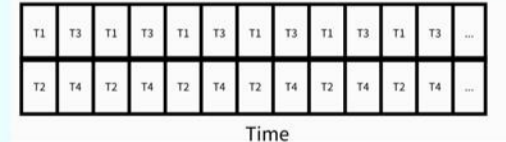


圖22 多執行緒程式運作流程

圖23中可以看到在同一個強度的震動訊號下，單一執行緒程式所輸出的頻譜中，黃色虛線框中的機械頻率在多執行緒程式中已經消失(紅色虛線框)，同時綠色框中的帶狀區域所表示的震動主頻率也會隨著強度的增強逐漸上升。

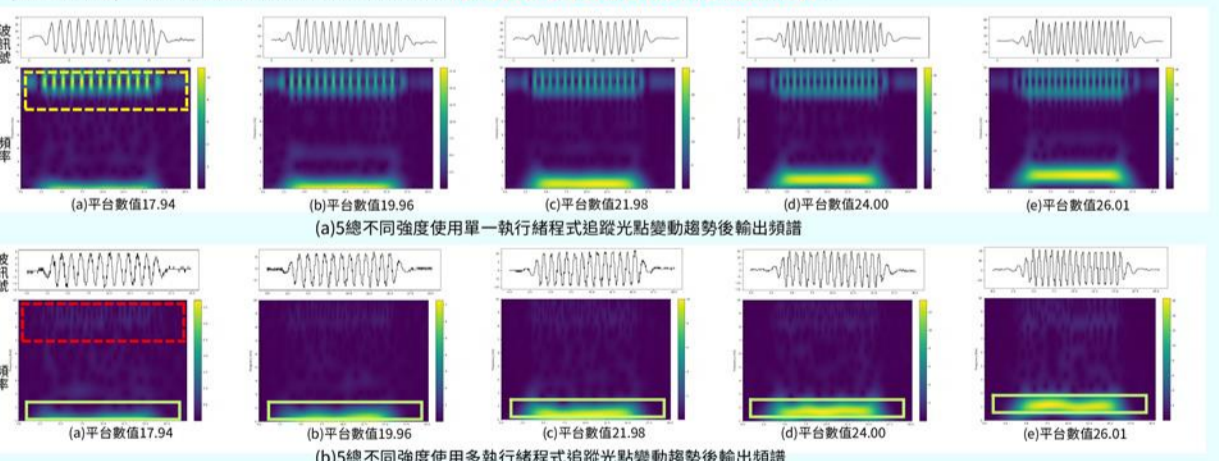


圖23 同平台數值下透過單一執行緒與多執行緒對於繞射光點追蹤程式所繪製的頻譜圖比較

D、進階取樣數據應用分析：微分與濾波

程式可將數據透過一次微分將位移訊號轉換為速度訊號，；透過二次微分將訊號轉為加速度訊號可以增加我們訊號分析上的多元性。

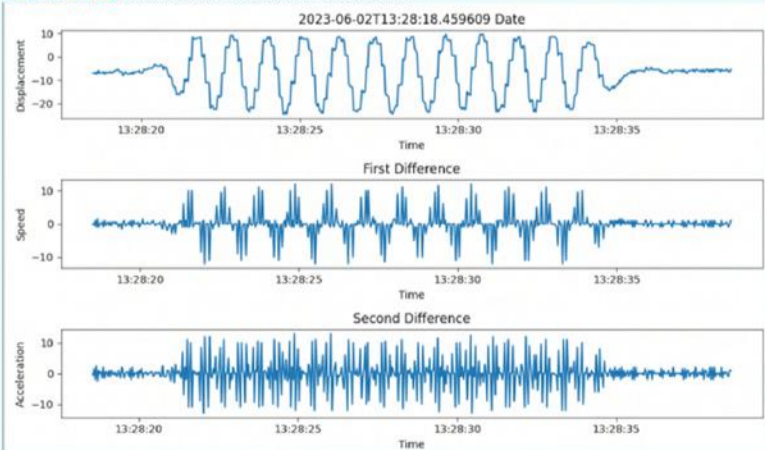


圖24 繪製出顯示了位移、速度和加速度隨時間變化的趨勢圖

透過濾波可以降低頻譜圖中的雜訊，圖25中使用5Hz做訊號率波可以看到率波之前紅框中的雜訊到率波後的頻譜藍框中已被抑制掉。

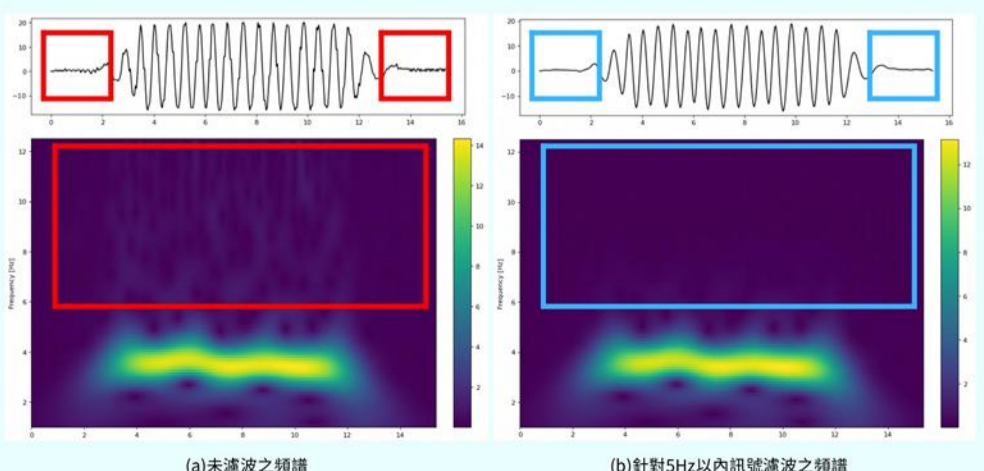


圖25 濾波作用對震動訊號頻譜圖之影響

實驗四、結合物聯網技術提升光學式震動測量裝置之災害預警之應用

A、微小化裝置與測試

透過3D列印一體成型方式**微小化測量裝置**，如圖26，體積縮至初代裝置的**1/3大小**，同時確保其保有初代裝置的準確度。

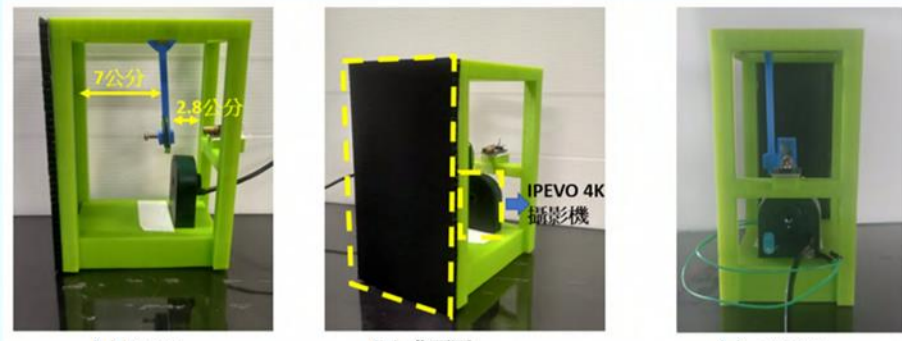


圖26 微小化的測量水平方向震動訊號之光學式震動測量裝置

由於使用PET薄膜光柵片使得單擺慣性質量變輕，在測量較輕震動訊號時數據不明顯，為此**增加了質量塊來放大訊號**如圖27(a)。

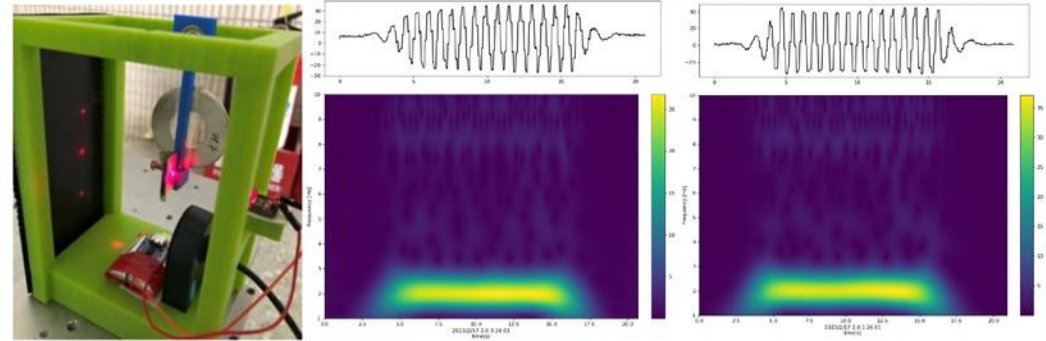


圖27 加裝配重塊示意圖

B、二維平面震動訊號測試

透過裝置與震動方向夾夾角，由此來驗證裝置在不同強度的**震動訊號的分力影響趨勢**，如圖28。

同時紀錄兩台裝置夾角90度，在相同強度的震動下，兩裝置所測得的震動訊號趨勢，取出其訊號峰對峰值做比較，如圖29。

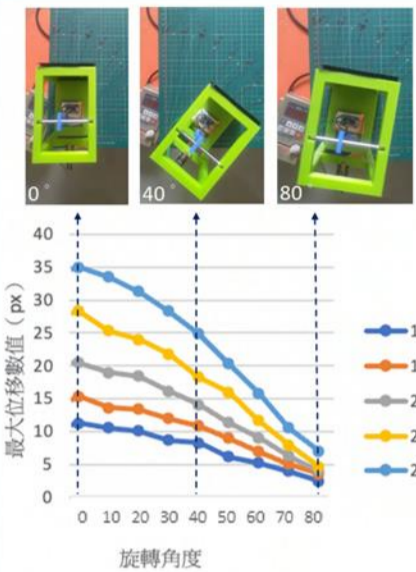


圖28 裝置與平台震動方向夾角造成之峰對峰值變化

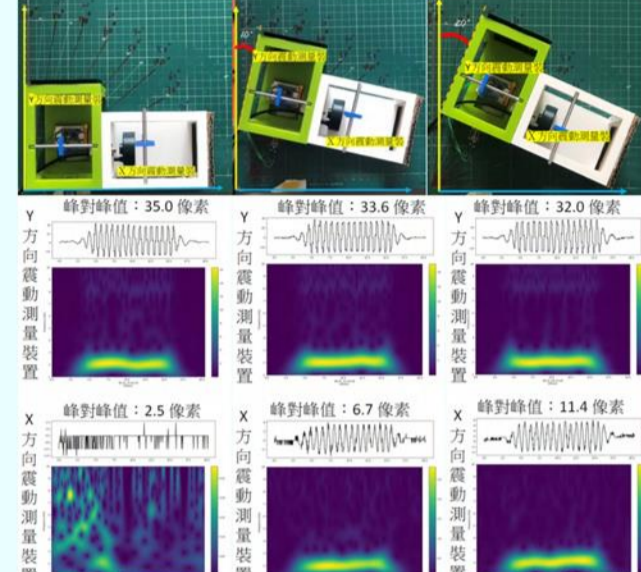


圖29 震動平台上相互垂直的光學式震動測量裝置之訊號變化

同時紀錄自製儀器與商用儀器在相同震動強度下數據之頻譜比較，如圖30。

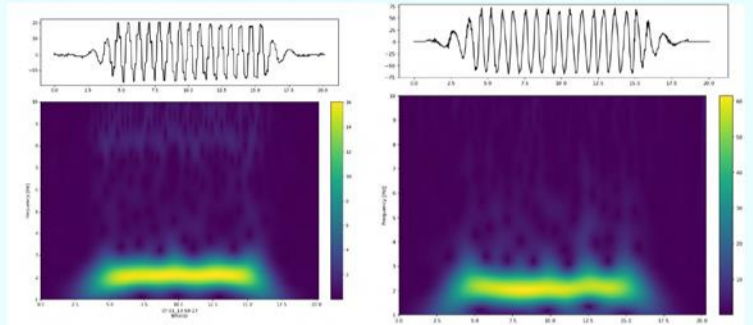


圖30 同平台數值下自製測量裝置與商用地震儀頻譜比較

C、垂直方向震動訊號測試

將水平測量裝置加上**彈簧懸吊**使其可以測量垂直方向的震動訊號，如圖31。

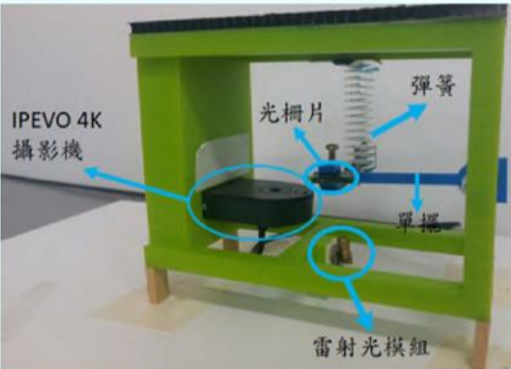


圖31 垂直方向光學式震動訊號測量裝置

透過5總不同高度落下撞擊，使其產生不同強度的震動訊號，**驗證裝置對垂直方向不同強度訊號的反應**，如圖32。

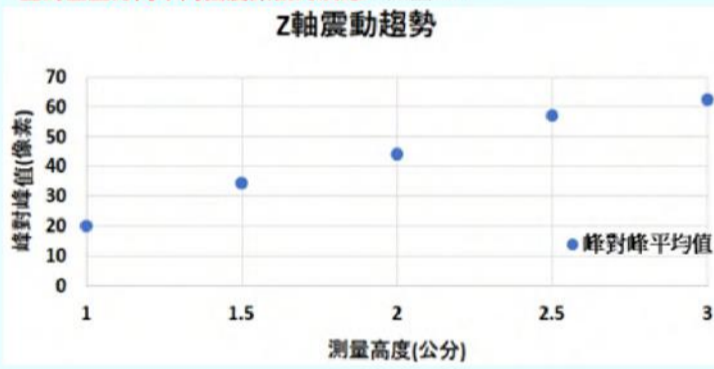


圖32 不同強度震動下訊號峰對峰值趨勢變化

同時紀錄垂直震動時的光點變動趨勢及MEMS數據驗證裝置對於**連續震動的反應趨勢**，如圖33。

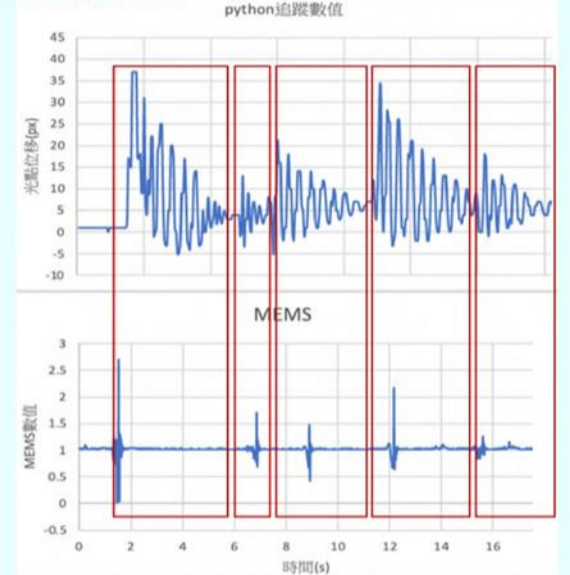


圖33 連續垂直方向震動訊號作用下之震動響應

D、物聯網即時預警

透過標準儀器校正**光點位移像素對應實際震動級數**，並區分出了3個有感震動訊號區間做**異常訊號警訊的發送**，透過line notify發送訊息，如圖34，同時使用網路時間為程式做校正，如圖34。

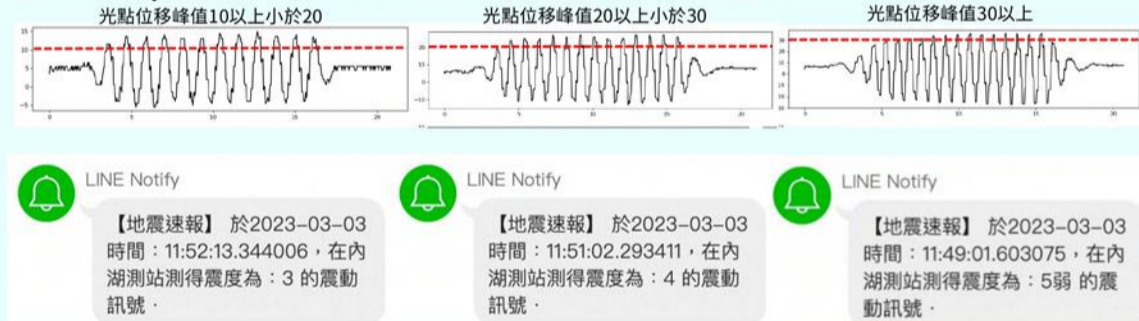


圖34 裝置結合物聯網以line notify傳輸不同強度之震動警報訊息

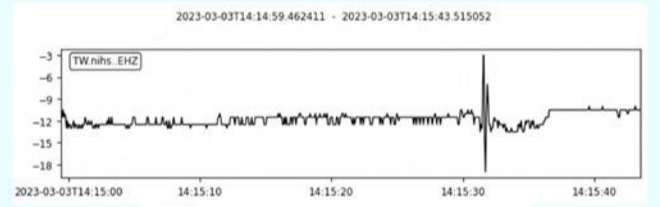


圖35 即時以line notify傳輸之震動警報

討論

1. 光柵片旋轉和慣性單擺角度變化對繞射光點間距的影響符合預期，且遠端的繞射光點間距變化幅度較大。
2. 連續震動下，光柵片繞射光點的變化能反映結構震動的加速度趨勢，且自製加速度偵測裝置與實際加速度具有一定的換算比率。
3. 透過自行設計的Python程式處理光學式震動測量裝置的訊號，可以成功獲得震動訊號的頻譜圖，並且多執行緒的應用提高了數據取樣率並抑制了雜訊。
4. 3D列印微小化裝置能提升光學式震動測量裝置的靈敏度和穩定性，並結合物聯網技術可實現災害預警功能，同時光學式震動測量裝置能有效測量多軸向震動訊號。

結論及未來展望

1. 成功開發了多軸向光學式震動測量裝置，能同時檢測水平和垂直震動訊號。
2. 研究結果顯示這種方法能準確測量結構震動的實際加速度和繞射光點間距變動。
3. 使用地震研究領域的分析方法，驗證了光學式震動測量裝置在頻譜分析方面的準確性。
4. 開發了即時影像追蹤程式，有效簡化了影像辨識至分析流步驟，並提高了影像取樣率。
5. 物聯網技術應用使得裝置能夠即時監測和傳遞超過警報數值的震動訊號，具有實時警報功能。

未來將設計以電路方式進行繞射光點的測量及記錄，透過陣列感光耦合元件(CCD)的方式進行繞射光點的位移測量，並在後續將基於上述實驗所得到的光柵繞射震動測量基礎，進一步設計垂直平面方向的結構震動測量方法，並將兩組一維方向與垂直方向的結構震動測量裝置整合，設計出可偵測三維空間的結構震動的測量裝置。

參考資料

- [1] 周啟(2022)。第十七章 繞射光柵,中山大學物理系開放式課程講義: 1-3
- [2] Python 以 LINE Notify 自動傳送即時訊息、圖片教學與範例. (2023, February 23). Retrieved from <https://officeguide.cc/python-line-notify-send-messages-images-tutorial-examples/>
- [3] Summer. (2018, October 21). [Day06]儲存資料 - File、檔案類型(Csv、xml、json、yaml). Retrieved from <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10202695>
- [4] (Day 8) OpenCV 單物件追蹤. (2022, September 19). Retrieved from <https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10293708>
- [5] 【Python】改善 VideoCapture 的影像延遲. (2021, May 13). Retrieved from <https://dotblogs.com.tw/shaynling/2017/12/28/091936>