

摘要

在本壁報論文中，我們基於本實驗室先前發表的低成本桌面型光速量測架構[1]，設計了易於使用的LabVIEW程式，將原先需要使用三種程式來處理實驗數據的過程由單一程式實現，留下餘裕的時間使教師能更深入探討相關的物理機制。搭配此程式內建的實驗架構和步驟說明，能有效引導學生依序完成光速量測實驗。

動機

在本實驗室發表的低成本桌面型光速量測架構中[1]，我們利用Red Pitaya(RP)開發板來控制雷射的調制頻率，以相位調制法進行光速量測。此方法可在桌面上實施、對光容易、且所需儀器都可由RP內建的FPGA取代。但量測數據的處理仍需消耗大量時間並存在一定難度。因此本壁報論文的為使用LabVIEW程式將數據處理過程一併自動化。

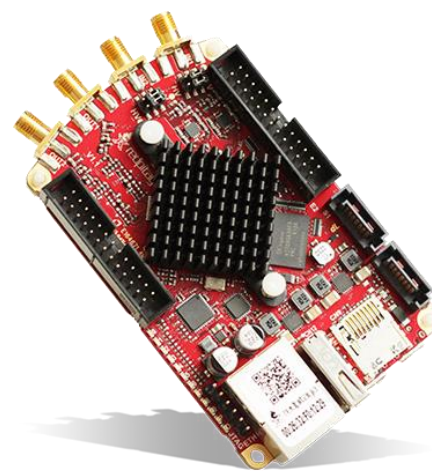


Fig.1. Red Pitaya開發板。利用其內建的FPGA晶片，可充當函數訊號產生器、示波器及波德分析儀等常見實驗設備。

FPGA:現場可程式化邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array)。

實驗架構與原理

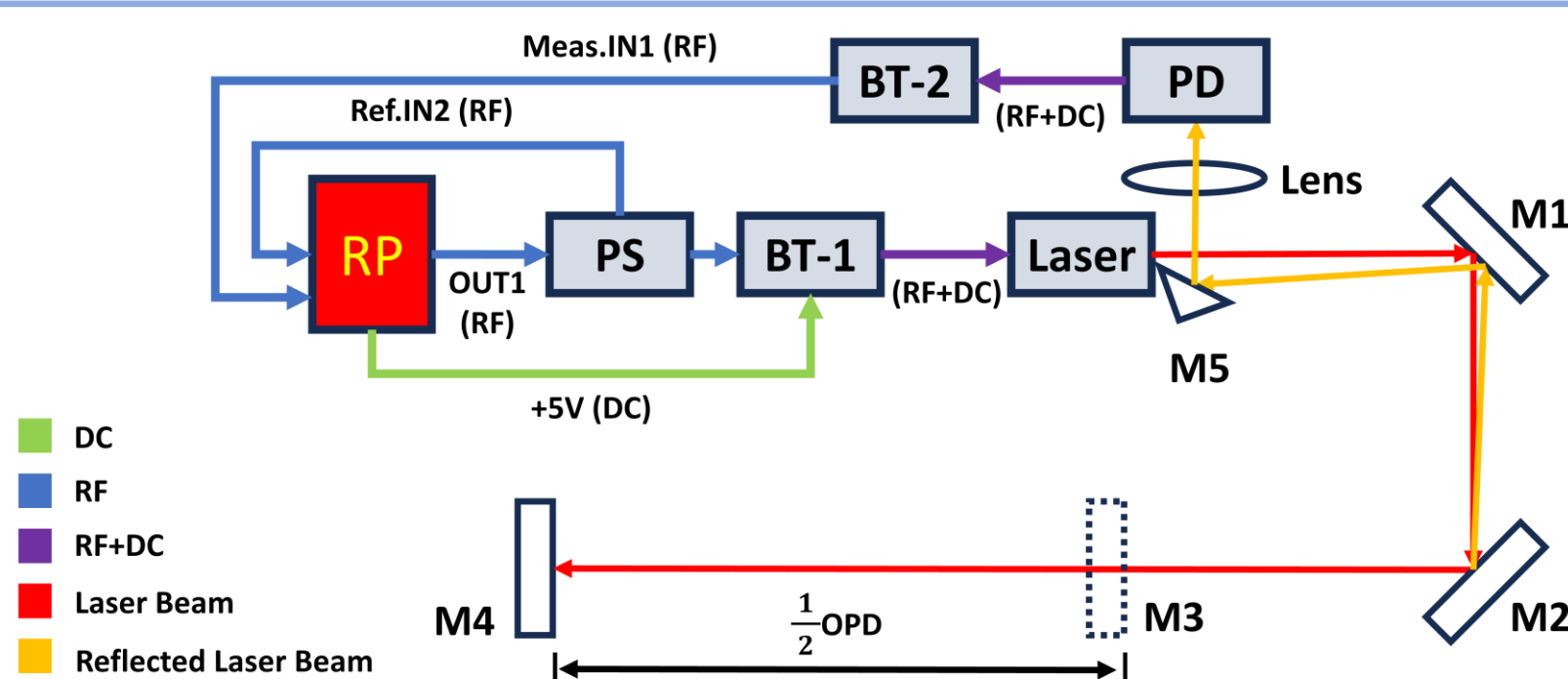


Fig.2. 實驗架構 RP: Red Pitaya, PS: Power-Splitter, BT-1&2: Bias-Tee, Laser: KY-008 紅光雷射模組, PD: 光偵測器, M1~5: 反射鏡。

若OPD為M3與M4來回之間光程差， $\Delta\theta$ 為由光程差產生的相位差，則

$$\Delta\theta = 2\pi \left(\frac{OPD}{\lambda} \right), \because \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \Delta\theta = \left(\frac{2\pi OPD}{c} \right) f. \quad (1)$$

其中 λ : 調制波長, f : 調制頻率, c : 光速。

(1)式可由實驗連續改變調制頻率去觀測 $\Delta\theta$ 的變化而得，即為 $\Delta\theta$ 的頻率響應。線性擬合 $\Delta\theta$ 的頻率響應，可得括號內的斜率，由此可算出光速。

實驗數據處理

RP的波德分析儀量測的相位頻率響應，如Fig.3綠線所示。

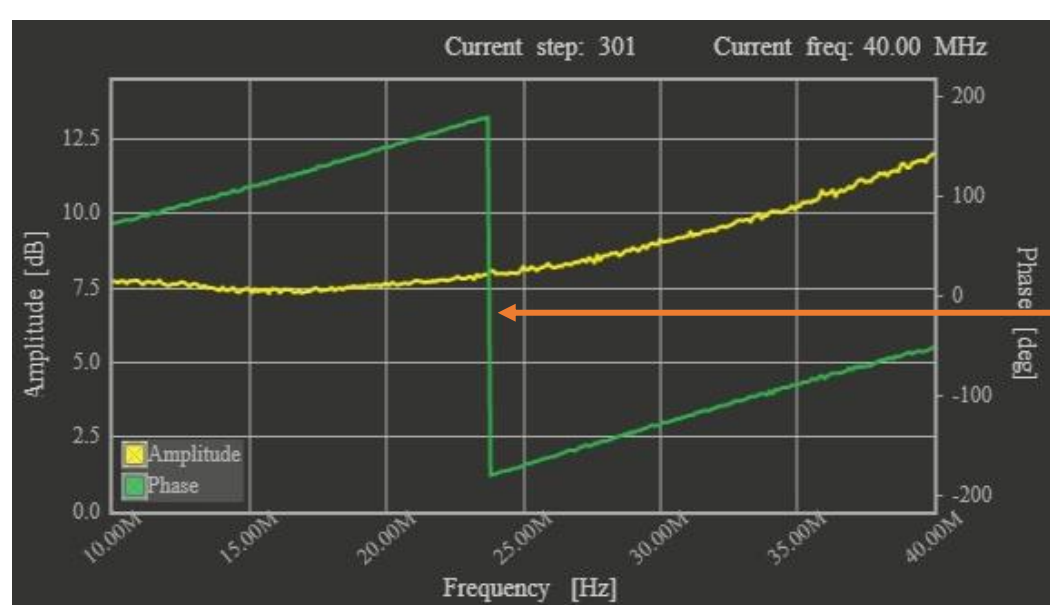


Fig.3. RP的波德分析儀對近反射點(M3)的相位量測結果圖。

手動數據處理與改進的LabVIEW數據處理比較，如Fig.4所示。

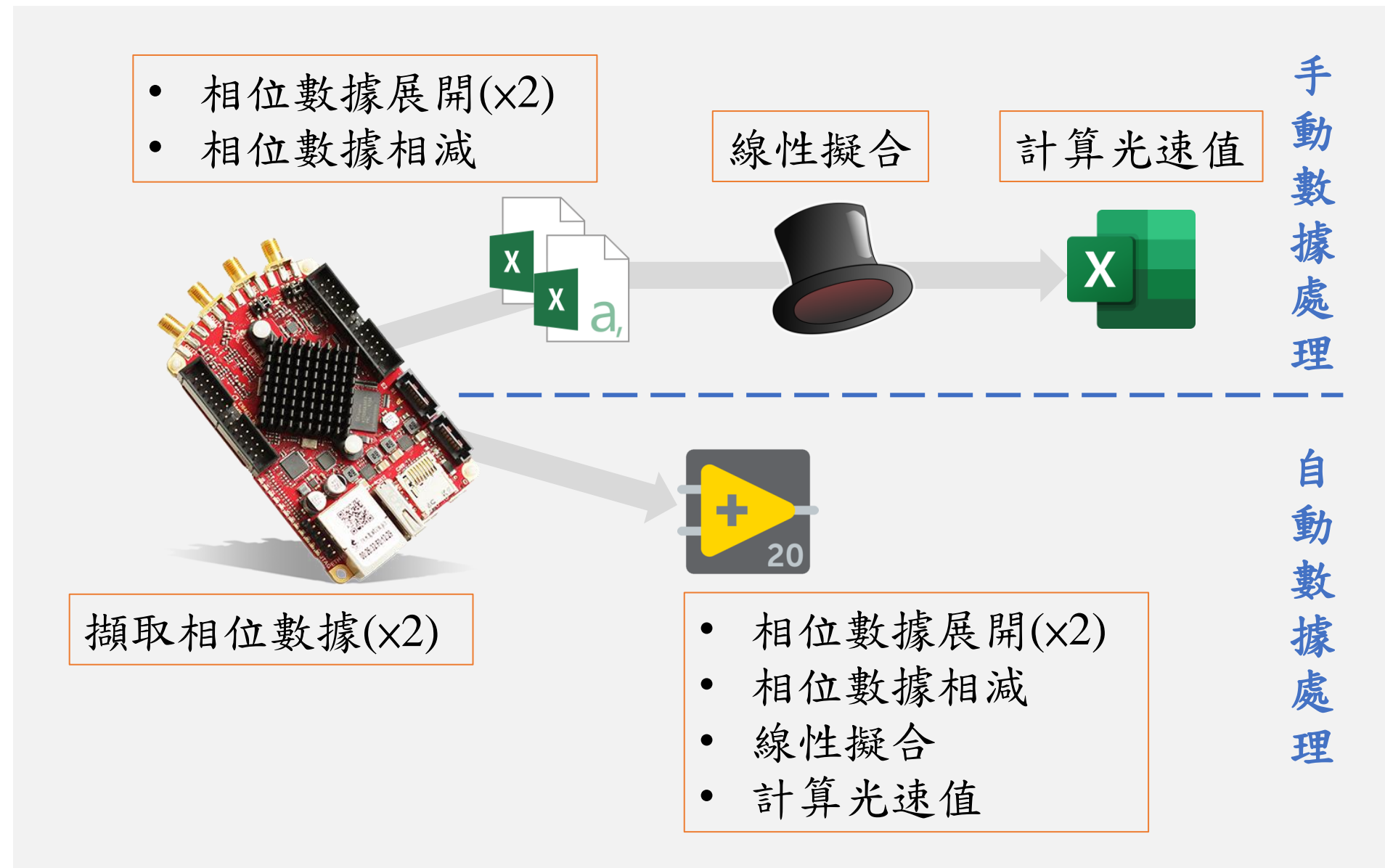


Fig.4. 實驗資料處理改進目標。

LabVIEW自動化數據處理程式

Fig.5(a)為我們設計程式第一部分「選取資料」面板，其主要功能為：

- 展示實驗步驟和說明(左上)
- 選取和清除資料(右上)
- 顯示相位展開後的相位對頻率響應圖(左下)
- 停止按鈕(右下)。

流程圖Fig.5(b)

使用者只需在彈出的資料選取視窗選擇波德分析儀輸出的原始csv檔案，此程式就會自動完成相位展開和作圖等一系列步驟。

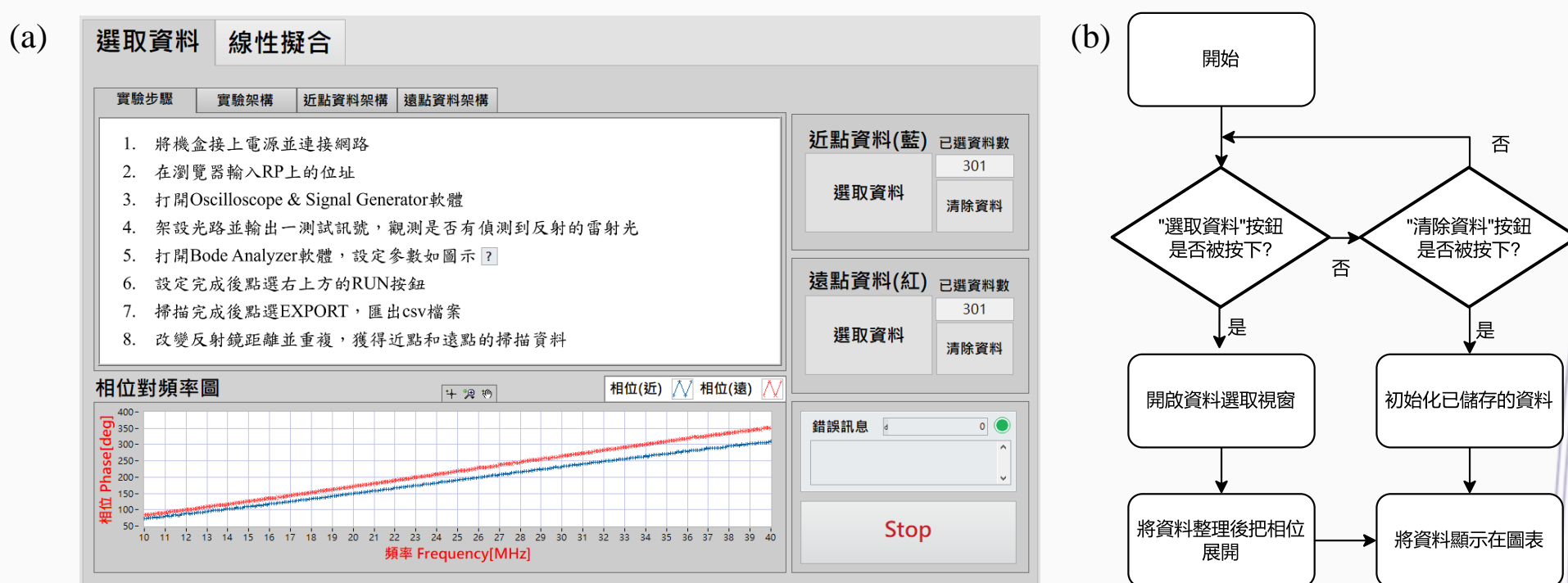


Fig.5. (a)使用LabVIEW撰寫的資料處理程式(第一部分), (b)簡化後的程式流程圖。

Fig.6(a)為此程式的第二部分「線性擬合」面板，其主要功能為：

- 計算相位差
- 反轉：修正兩資料順序，使頻率響應斜率為正值。
- 線性擬合
- 展示原始數據與擬合直線
- 計算光速
- 停止按鈕

流程圖Fig.6(b)

流程圖Fig.6(c)

流程圖Fig.6(d)

此程式的迴圈結構有特殊設計，可確保每個環節的資料不會因不照順序的操作而丟失，且若是在任何一個環節發現實驗數據不理想，不需要從頭操作，而是直接讀取新的實驗資料，並依序刷新即可繼續資料處理流程。

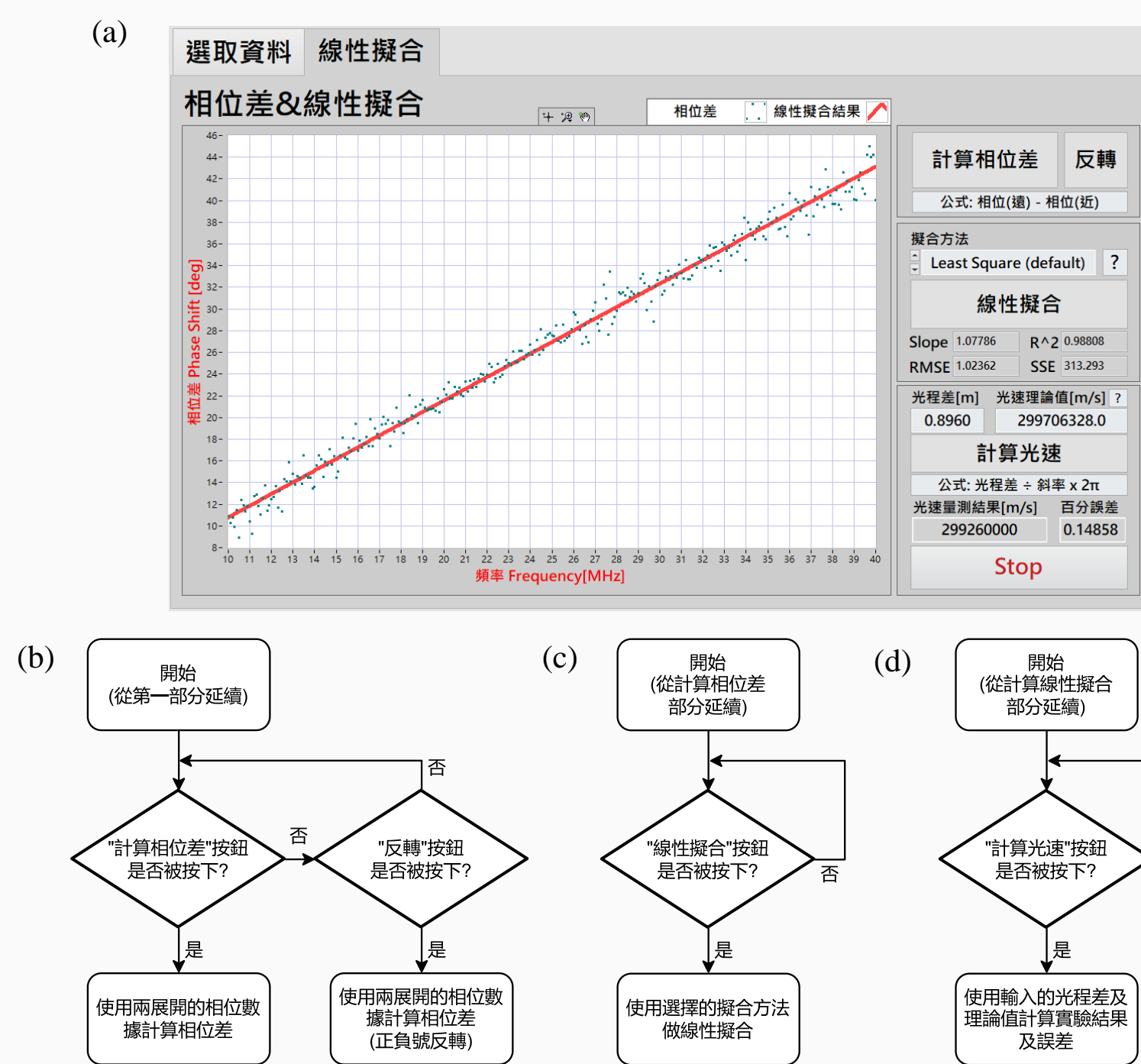


Fig.6. (a)使用LabVIEW撰寫的資料處理程式(第二部分), (b)計算相位差流程圖, (c)線性擬合流程圖, (d)計算實驗結果流程圖

結論

我們設計了一LabVIEW程式成功將先前提出的光速量測實驗架構[1]之整體流程大幅簡化，並做出了以下改進：

- 簡潔易懂的操作面板，使學生能順暢的完成此實驗。
- 附帶實驗流程及架構圖，不需額外的紙本資料。
- 可修改的理論值參數，使不同波長的雷射模組也能用於此實驗。
- 減少數據處理所需時間(手動處理需約20分鐘，搭配此程式則約5分鐘)
 - ✓ 教師能夠在課堂示範此光速量測實驗。
 - ✓ 作為學生實驗不僅是可測量光速，還有充裕時間做不同濃度液體的光速測量，進而觀察折射率變化等衍生實驗。

參考資料：

[1] C.-C. Chou, S.-Y. Hsiao, J.-Z. Feng, T. Lin, and S.-H. Lu, *Am. J. Phys.*, **91**(3), 206 (2023).