

以NB-IoT與免控制點位移量測技術
進行水土保持設施之安全檢測與評估

國立台灣大學生物環境系統工程學系 廖國偉副教授

大綱



背景



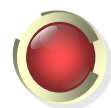
目標



智慧感測元件之開發



物聯網(IoT)之建置



免控制點演算法之開發

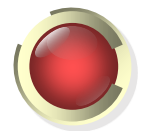


重建位移之驗證

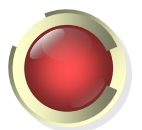


結論

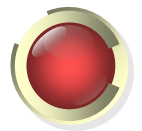
背景



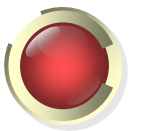
治山防洪構造物巡查表單 【水保局96年度之治山防災工程維護機制計畫案】



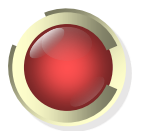
水保設施現地檢測的DER評分 【水保局101年度的水土保持設施耐久性分析與延壽策略研擬計畫案】



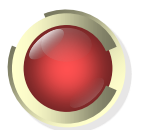
目視檢測：工程師經驗(+)、客觀性(-)



工程人員須親赴現場檢測與評估(-)



大型防砂設施構造物之巡檢



MEMS、NB-IoT、人工智慧

背景

一、基本資料

工程名稱：須美基溪支流土石災害防治工程 檢測者：楊凱傑 檢測日期：7/4

基本資料											
工程地點	花蓮縣(市) 秀林鄉鎮(區) 佳民村(里)										
TWD67座標	X: 308671					Y: 2660881					
集水區名稱	花蓮溪流域										
溪流名稱	須美基溪										
計畫別	易淹水地區水患治理計畫										
執行單位	花蓮分局保育推廣課										
竣工年度	98										
備註	土石流潛勢溪流編號 DF015										
檢測內容											
構造物型式	☐ 防砂壩 ☐ 梳子壩 ☐ 固床工 ☐ 潛壩 ☐ 整流工程 ☒ 跌水工 ☐ 擋土牆 ☐ 板橋 ☐ 護岸 ☐ 排水設施										
構造物尺寸	高: 5 公尺 寬: 3 公尺 長: 30 公尺 其它: _____										
混凝土衝擊試驗	推估強度: 1. 236.6 kg/cm ² 2. 249.4 kg/cm ² 3. 262.9 kg/cm ²										
抗壓強度 f'c	平均強度: 249.6 kg/cm ²										
試驗次數與結果	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
檢測位編號 NO.1	28	32	29	29	27	28	29	30	30	29	29.1
檢測位編號 NO.2	34	32	32	30	31	29	32	31	28	30	30.9
檢測位編號 NO.3	30	32	30	30	31	32	33	30	35	34	31.7
是否進階檢測	☐ 是 (裂縫寬度大於 0.3mm 或構造物現況有疑慮) ☒ 否										
備註											
進階儀器檢測											
檢測日期	無										
檢測單位	無										
裂縫深度	0 mm										
備註	無進階檢測										
耐久性評估											
評估結果	☐ 較佳 (70-100) ☒ 中等 (35-69) ☐ 較差 (0-34)										
備註	有淘空現象										



花蓮須美基溪



花蓮豐濱

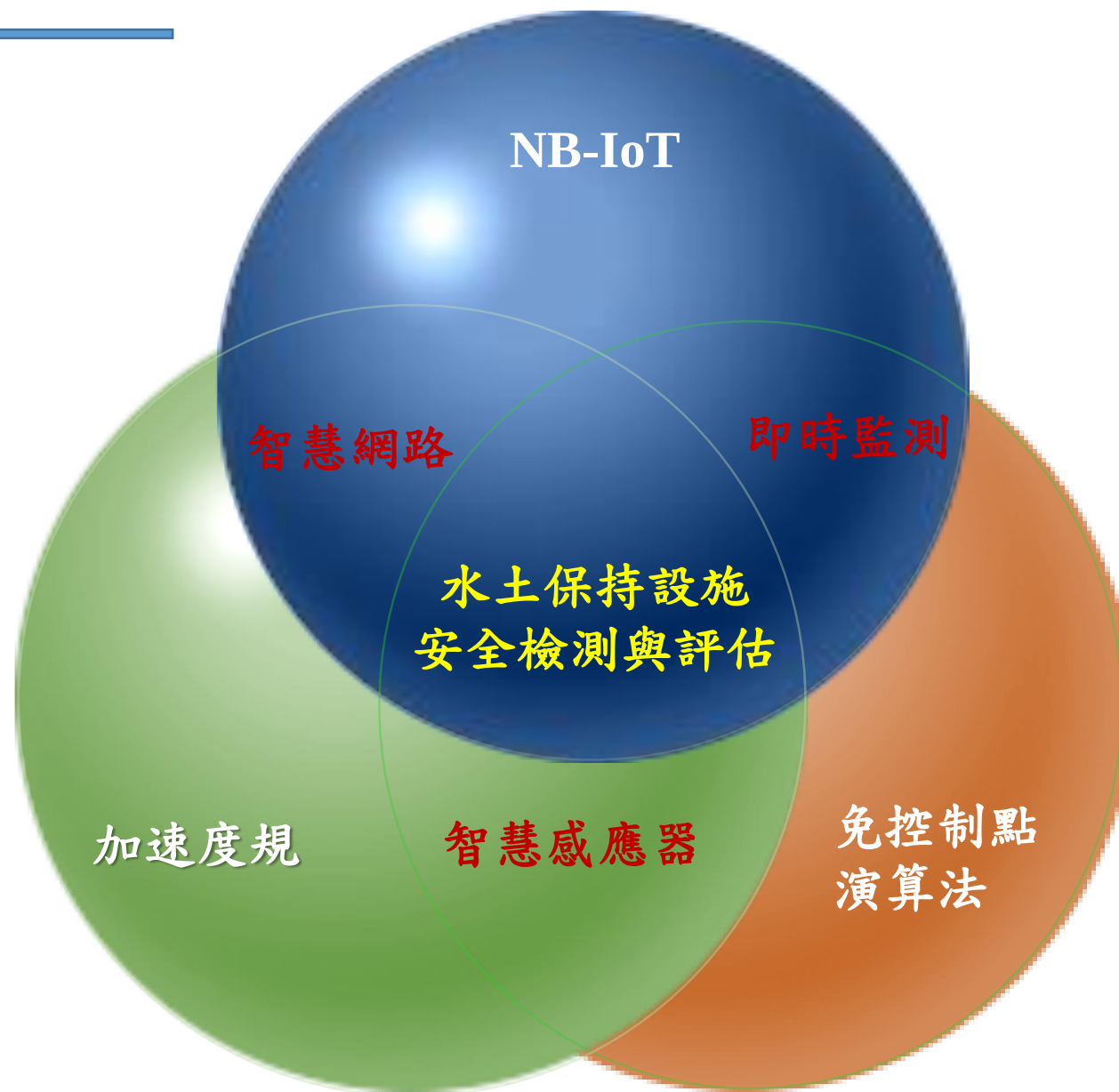
三、評估內容

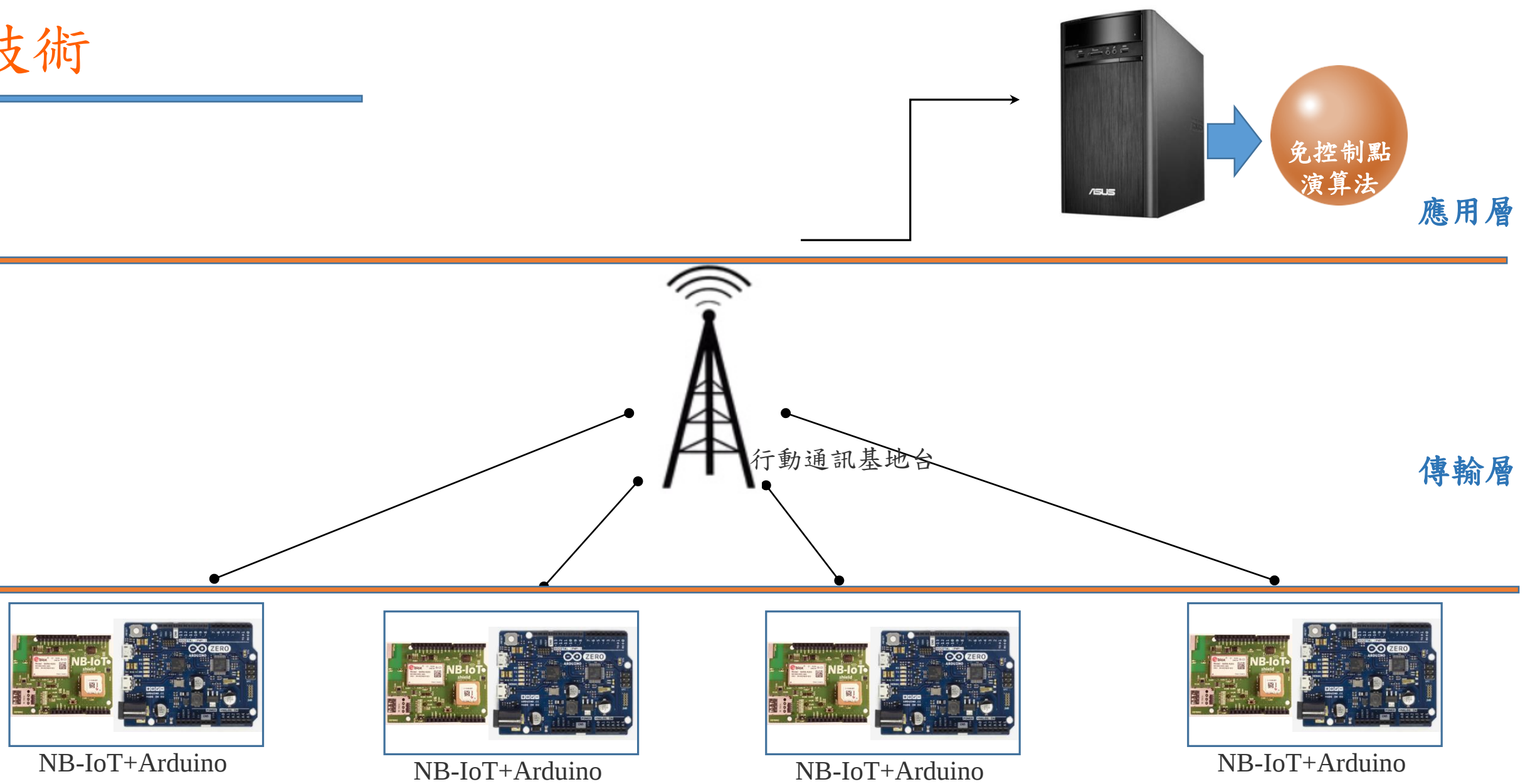
耐久性評估內容表第一階段					
圖說文件記錄					
設計	設計圖說是否完整	☐ 有相關設計圖說 ☒ 無			
材料	水泥	☐ 有使用特殊水泥 ☒ 一般水泥			
	是否有材料檢驗紀錄	☐ 有 ☒ 無			
施工	表面處理	☒ 有進行表面處理 ☐ 無			
	驗收紀錄是否完整	☐ 有 ☒ 無			
耐久性評估內容表第二階段					
項 目		權重	評估準則	配分	
環境現況	崩塌地	10	☒ 非潛勢區(1.0) ☐ 低(0.7) ☐ 中(0.4) ☐ 高(0.1)	10	
	土石流潛勢溪流	10	☐ 非潛勢區(1.0) ☐ 低(0.7) ☒ 中(0.4) ☐ 高(0.1)	4	
	河道淘刷	6	☐ 非潛勢區(1.0) ☐ 低(0.7) ☒ 中(0.4) ☐ 高(0.1)	2.4	
	土砂(石)淤積	5	☐ 非潛勢區(1.0) ☐ 低(0.7) ☐ 中(0.4) ☒ 高(0.1)	0.5	
現況目視檢測	D 程 度	磨蝕	4 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☐ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	0.4	
		剝落	4 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☐ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	0.4	
		位移或沉陷	8 ☐ 無此狀態(1.0) ☒ 輕微(0.7) ☐ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	5.6	
		背填材流失	6 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☒ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	2.4	
	R 影 響 性	磨蝕	4 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☐ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	0.4	
		剝落	4 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☐ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	0.4	
		位移或沉陷	8 ☐ 無此狀態(1.0) ☒ 輕微(0.7) ☐ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	5.6	
		背填材流失	6 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☒ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	2.4	
非破壞性檢測	初 階	裂縫	4 是否超過3mm ☐ 是 (0.1) ☒ 否 (1.0)	4	
		淘空	6 ☐ 無此狀態(1.0) ☐ 輕微(0.7) ☒ 中等(0.4) ☒ 嚴重(0.1)	2.4	
		衝擊試驗	6 ☒ 平均強度達到設計強度 (1.0) ☐ 平均強度未達到設計強度(0.1)	6	
	進 階	*裂縫	5 ☒ 無檢測(1.0) ☐ 非結構性裂縫深度未達保護層 (0.7) ☐ 非結構性裂縫深度達保護層(0.4) ☐ 結構性裂縫 (0.1)	5	
		*掏空	4 ☐ 無超過結構基礎深度(1.0) ☒ 有超過結構基礎深度(0.1)	0.4	
		(評分方式=評估項目之權重 X 評估內容之權重)			合計 52
耐久程度	中度耐久(35-69)	檢測週期	應進行定期檢測	維護模式	預防式維護

目標

-  利用NB-IoT與免控制點位移量測技術進行重要水土保持設施初步安全評估
可行性研究與開發
-  位移是理想指標?為何量取加速度?傾斜角度如何?
-  靜態與動態指標，何者更適合水保設施?

技術

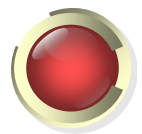




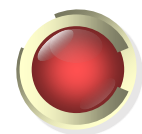
無線位移測量系統的示意圖

智慧感測元件之開發

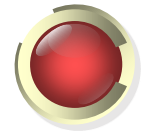
目的：



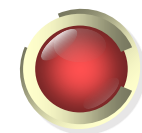
降低低頻雜訊



不須初始條件(免控制點)

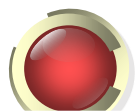


自動化



低成本?

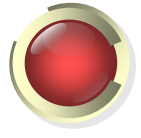
智慧感測元件之開發



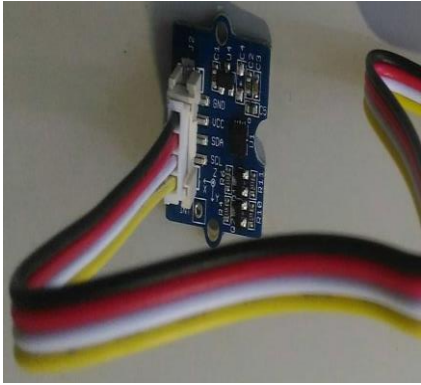
加速度計

名字	軸數	位元數	加速度 範圍	資料輸出	電壓範圍	ADC	最低適 應溫度	最高適 應溫度
MMA8451Q	3-axis	X, Y, Z	±2g, ±4g, ±6g	Digital	1.95 - 3.6V DC	14-bit	-40度	85度
MMA7660FC	3-axis	X,Y, Z	±1.5g	Digital	2.4 - 3.6V DC	6-bit	-40度	85度
438-CXL10GP3	3-axis	X, Y, Z	±10g	Analog	4.9 - 5.5V DC	NA	-40度	85度
ADXL335BEZ	3-axis	X, Y, Z	±3g	Analog	1.8 - 3.6V DC	NA	-40度	85度
ADXL355	3-axis	X, Y, Z	±2g, ±4g, ±8g	Digital	2.25 - 3.6V DC	20-bit	-40度	125度

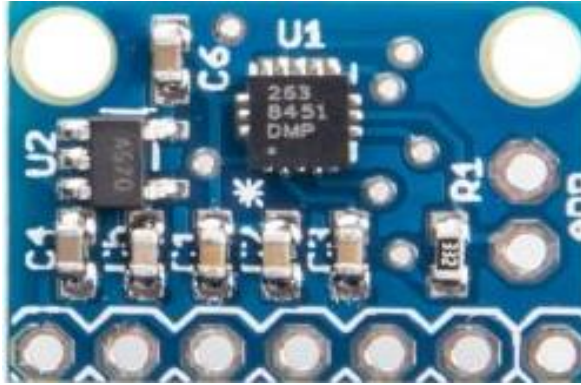
智慧感測元件之開發



加速度計



MMA7660FC



MMA8451Q

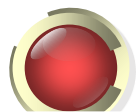


ADXL 335



ADXL 355

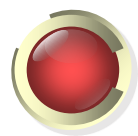
智慧感測元件之開發



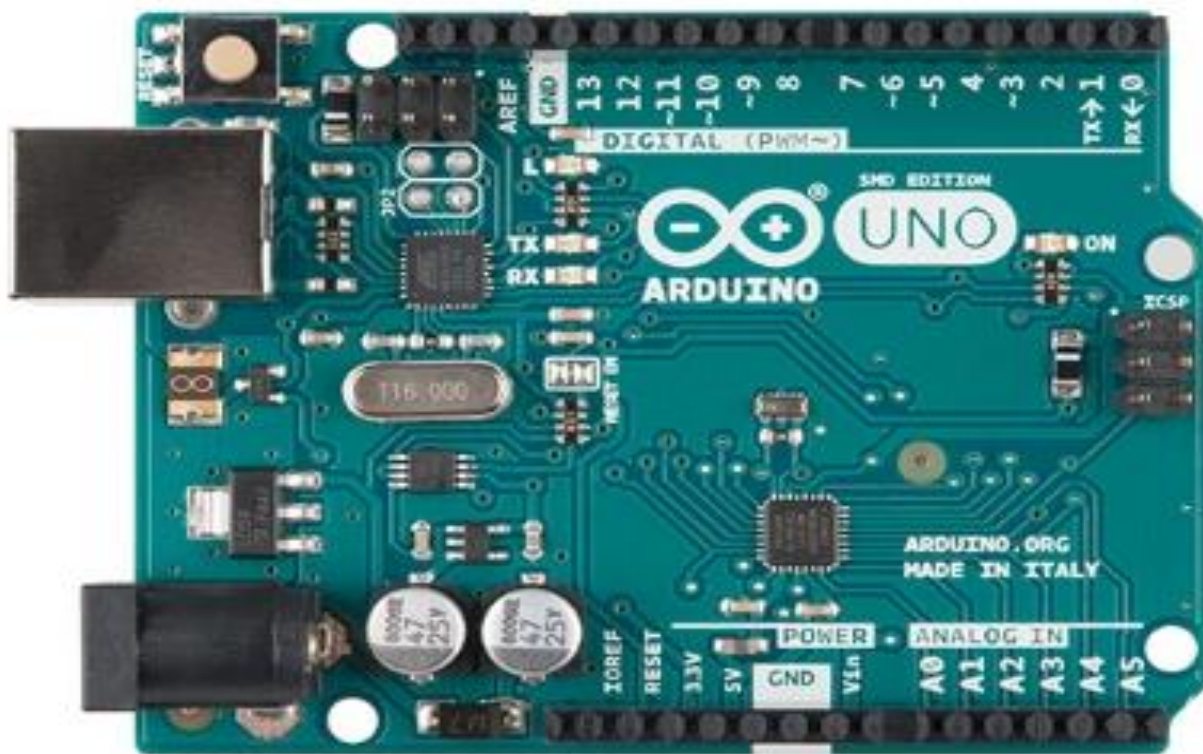
微型處理器(Arduino板)

名字	處理器頻率	主機接口	伏特	Flash (kB)	EEPROM (kB)	SRAM (kB)
Arduino	48 MHz	USB	3.3 V	256	No	32
Arduino 101	32 MHz	USB	3.3 V	196		24
Arduino Zero	48 MHz	USB	3.3 V	256	16	32
Arduino Due	84 MHz	USB	3.3 V	512	0	96
Arduino Yún	16 MHz, 400 MHz	USB	5 V	32	1	2.5
Arduino Leonardo	16 MHz	USB	5 V	32	1	2.5
Arduino Uno	16 MHz	USB	5 V	32	1	2
Arduino Mega2560	16 MHz	USB	5 V	256	4	8
Arduino Ethernet	16 MHz	Ethernet Serial interface	5 V	32	1	2
Arduino Nano	16 MHz	USB	5 V	32	1	2
Arduino Pro	16 MHz	UART Serial, I2C(TWI), SPI	5 V or 3.3 V	31	1	0.5
Arduino Pro Mini	8 (3.3 V)/ 16 (5 V) MHz	Six pin serial header	3.3 V / 5 V	32	1	2

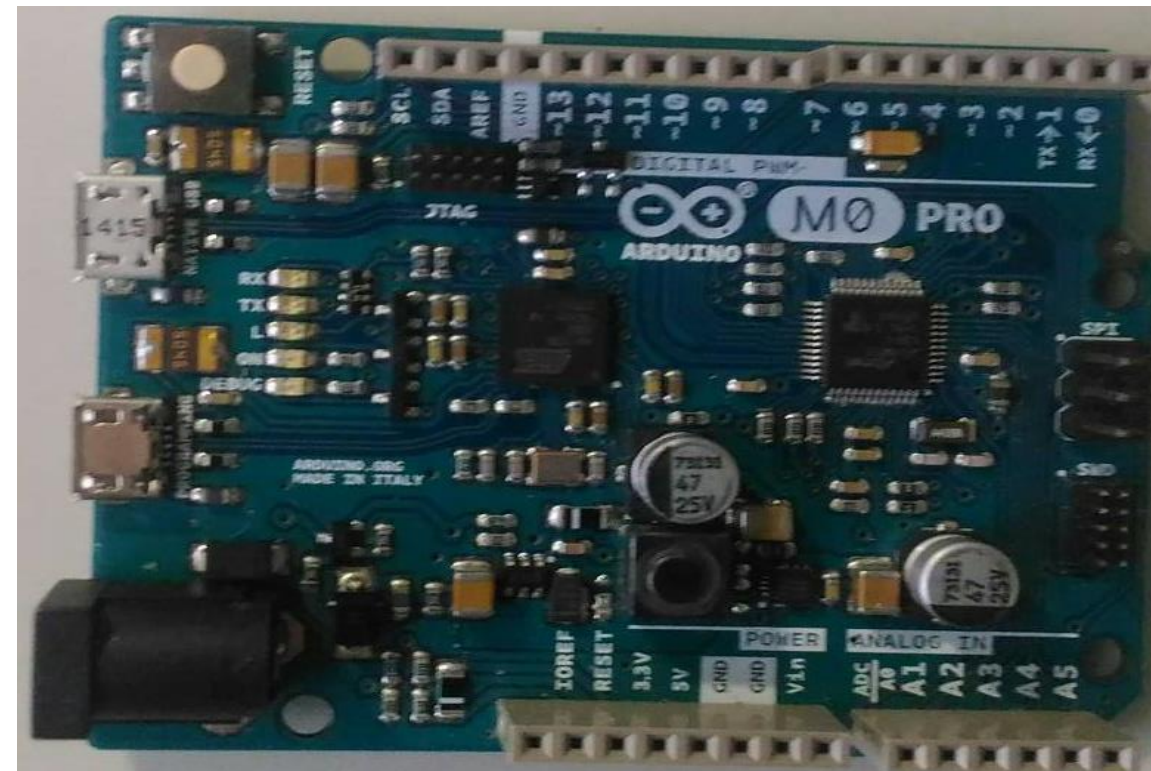
智慧感測元件之開發



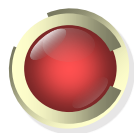
微型處理器(Arduino版)



Arduino UNO板



Arduino M0 Pro板

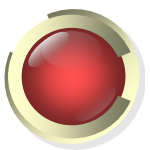


解析度如何計算？

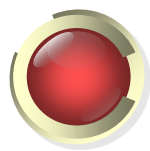
解析度(resolution): 加速度計的最小可量測數值

- ◆ A/D轉換器: e.g., 若可量測的加速度範圍為 $\pm 2g$, 且使用20bit進行轉換; 因此, 其解析度約為 $2/2^{19} = 3.81 \times 10^{-6}g$
- ◆ 雜訊的密度(noise density)與帶寬(bandwidth): 若加速度計之雜訊密度為 $120\mu g/(Hz)^{0.5}$, 帶寬為1600Hz, 其解析度(rms)為 $20 \times (1.6 \times 1600)^{0.5} = 1.01 \times 10^{-3}g$

物聯網(IoT)之建置



IoT將改變每日生活，包含開車、節能、健康管理、工作等等，創造新的截然不同的工作



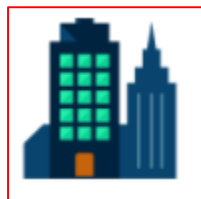
連結大量裝置接上網路、且兼具傳輸距離、低功耗與低成本特性的無線基礎架構卻還沒有到位



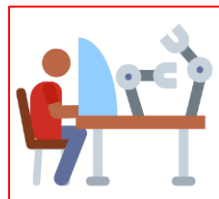
物聯網(IoT)之建置

NB-IoT應用

適用技術



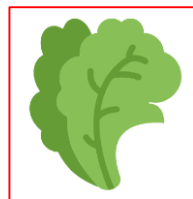
智慧建築



智慧工廠



環境監測



智慧農業

Low Power Wide Area



自動駕駛

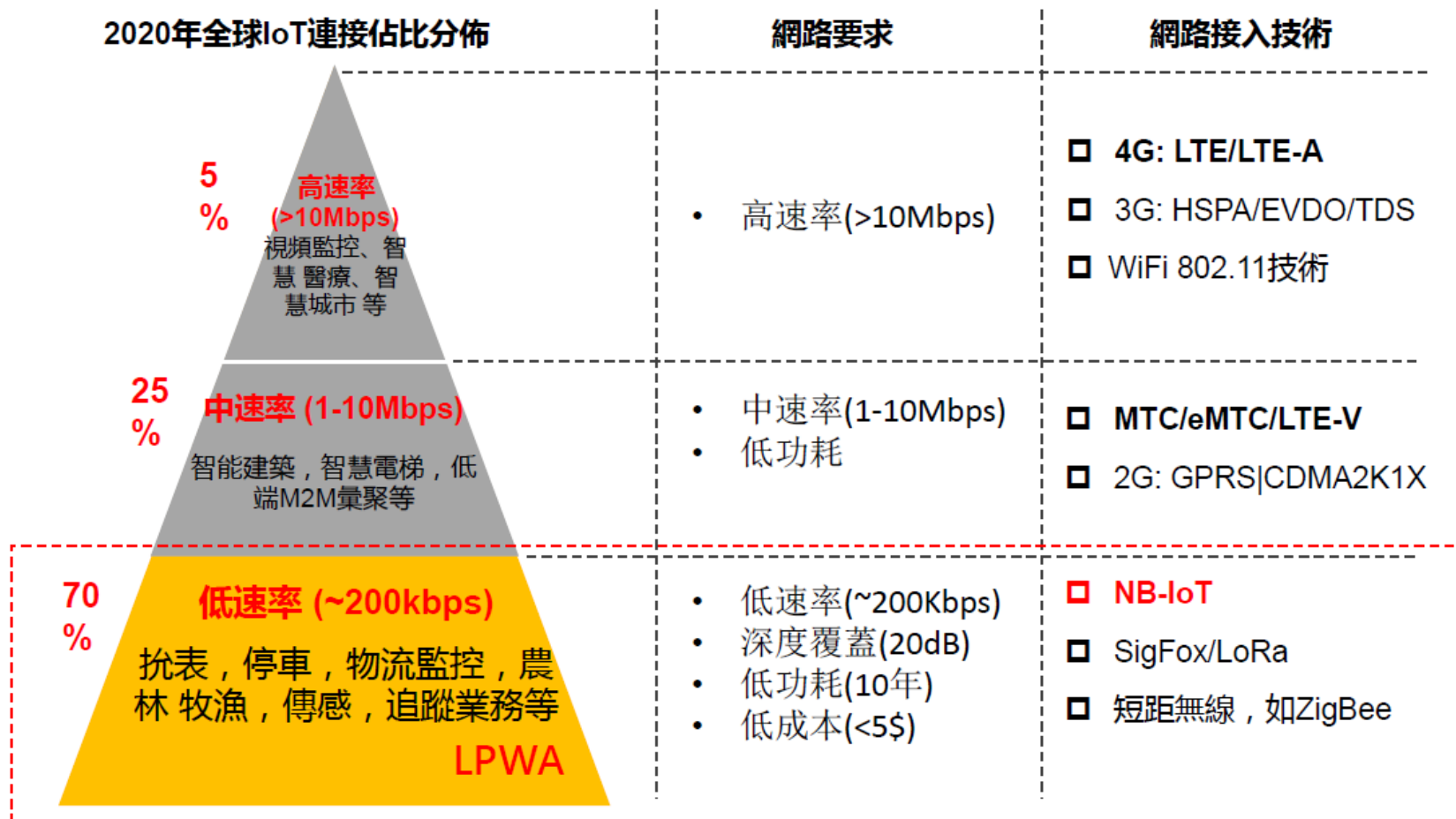


遠距醫療

LTE / 5G

物聯網(IoT)之建置

市場與技術分類



LPWAN(Low Power Wide Area, 低功耗廣覆蓋)應用占整個物聯網連接規模接近70% (資料來源: 遠傳電信)

物聯網(IoT)之建置

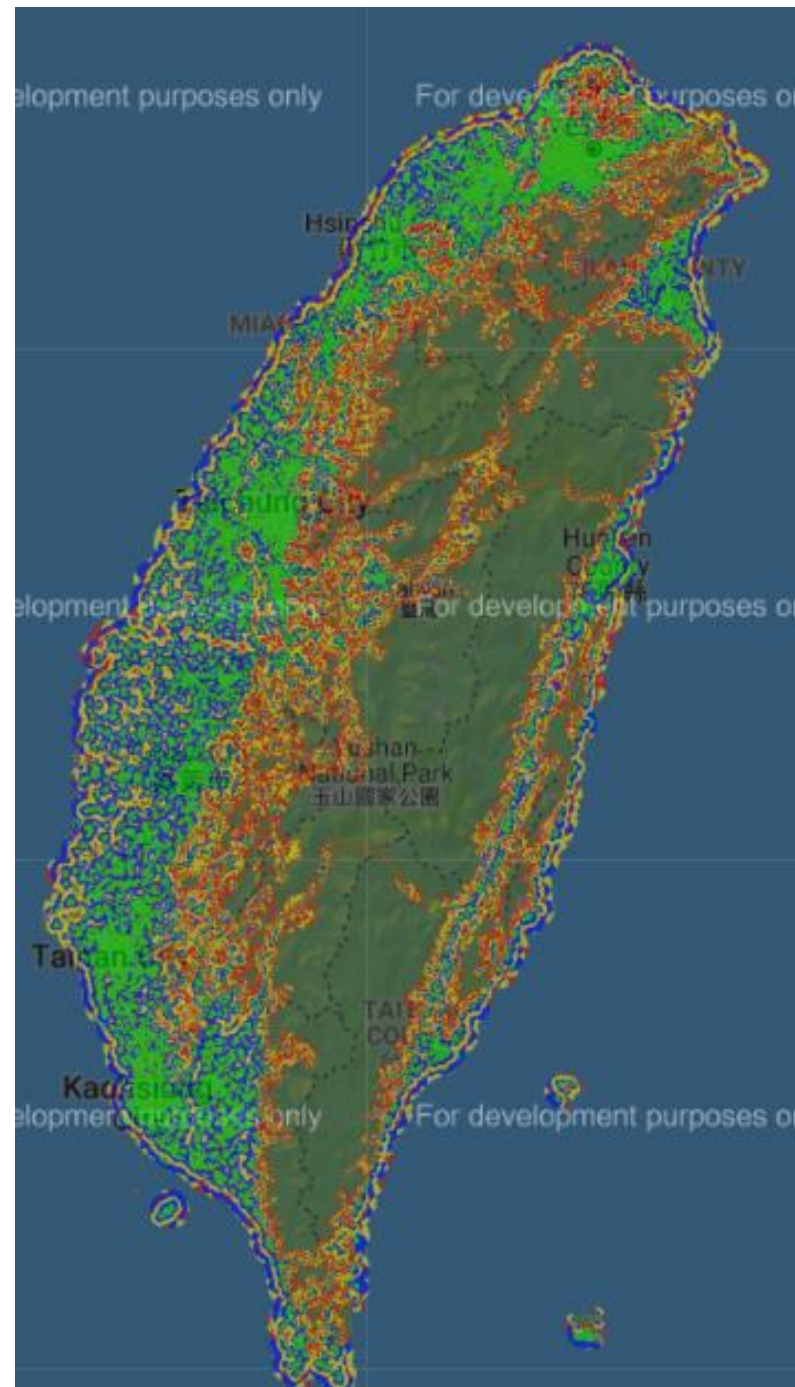


非授權	通訊頻段	授權
低	通訊耗電	較高
較不即時	雙向傳輸	即時
自建維運	服務供應	電信業者
37.5K bps	MAX傳輸速率	200K bps

物聯網(IoT)之建置

臺灣4G網路覆蓋圖

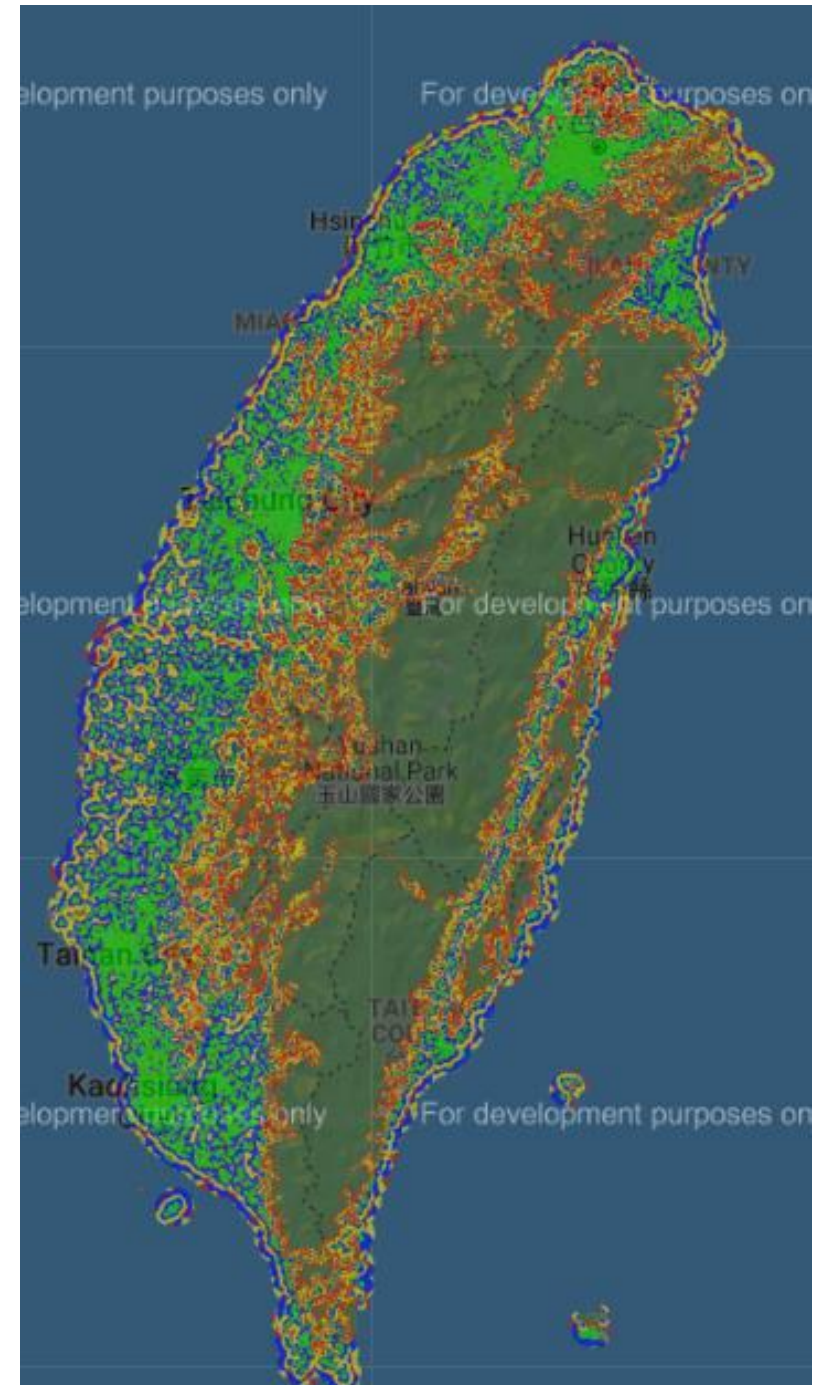
顏色	室外及室內涵蓋感受度	訊號數	下載服務連線速率參考值
	室外優 室內好	4~5格	2Mbps~25Mbps
	室外好 室內可	3~4格	2Mbps~15Mbps
	室外可 室內弱	2~3格	2Mbps~5 Mbps
	有涵蓋但弱訊區	1~2格	2 Mbps 以上



物聯網(IoT)之建置

臺灣4G網路覆蓋圖

這樣的覆蓋率夠用嗎？



物聯網(IoT)之建置

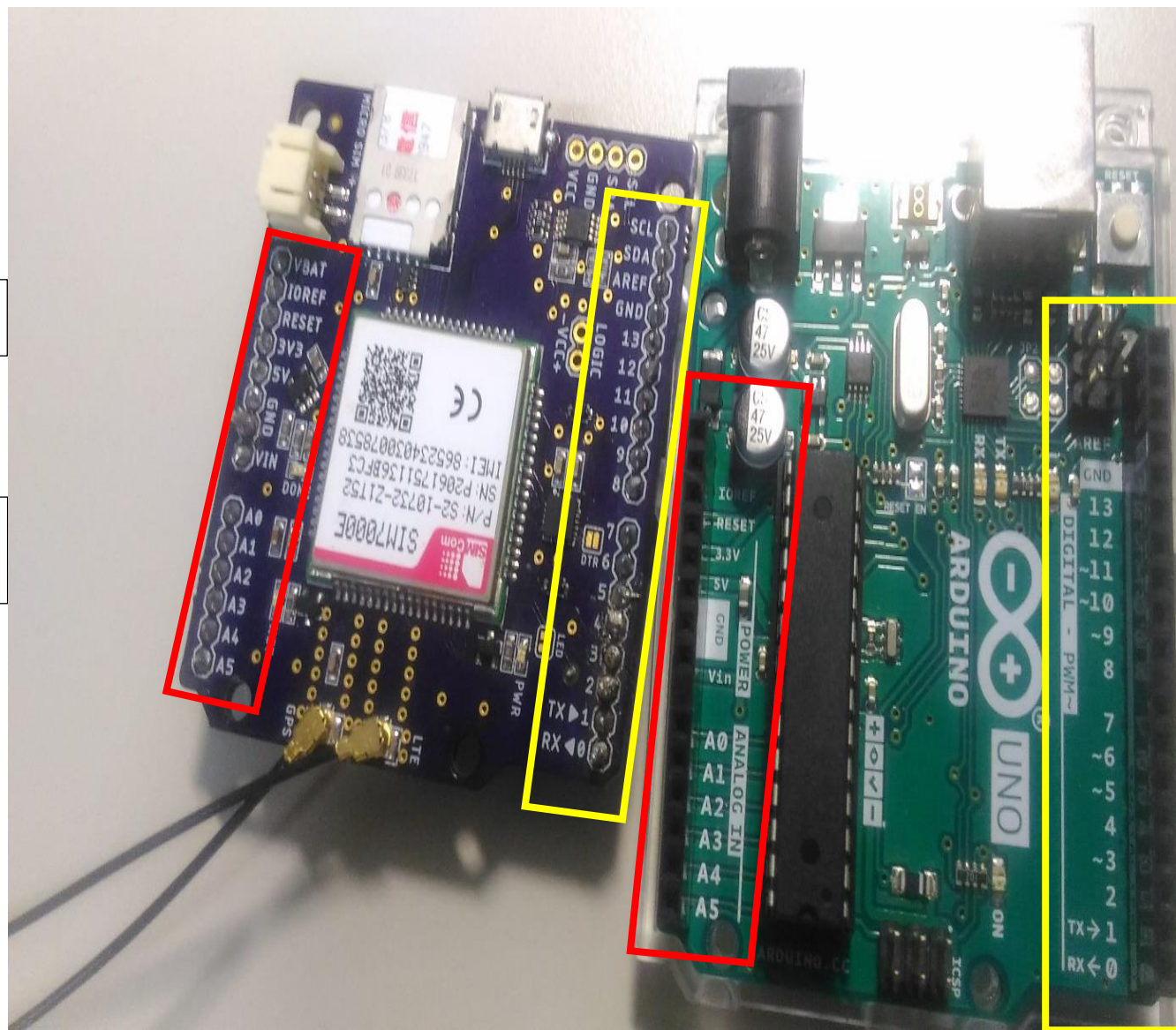
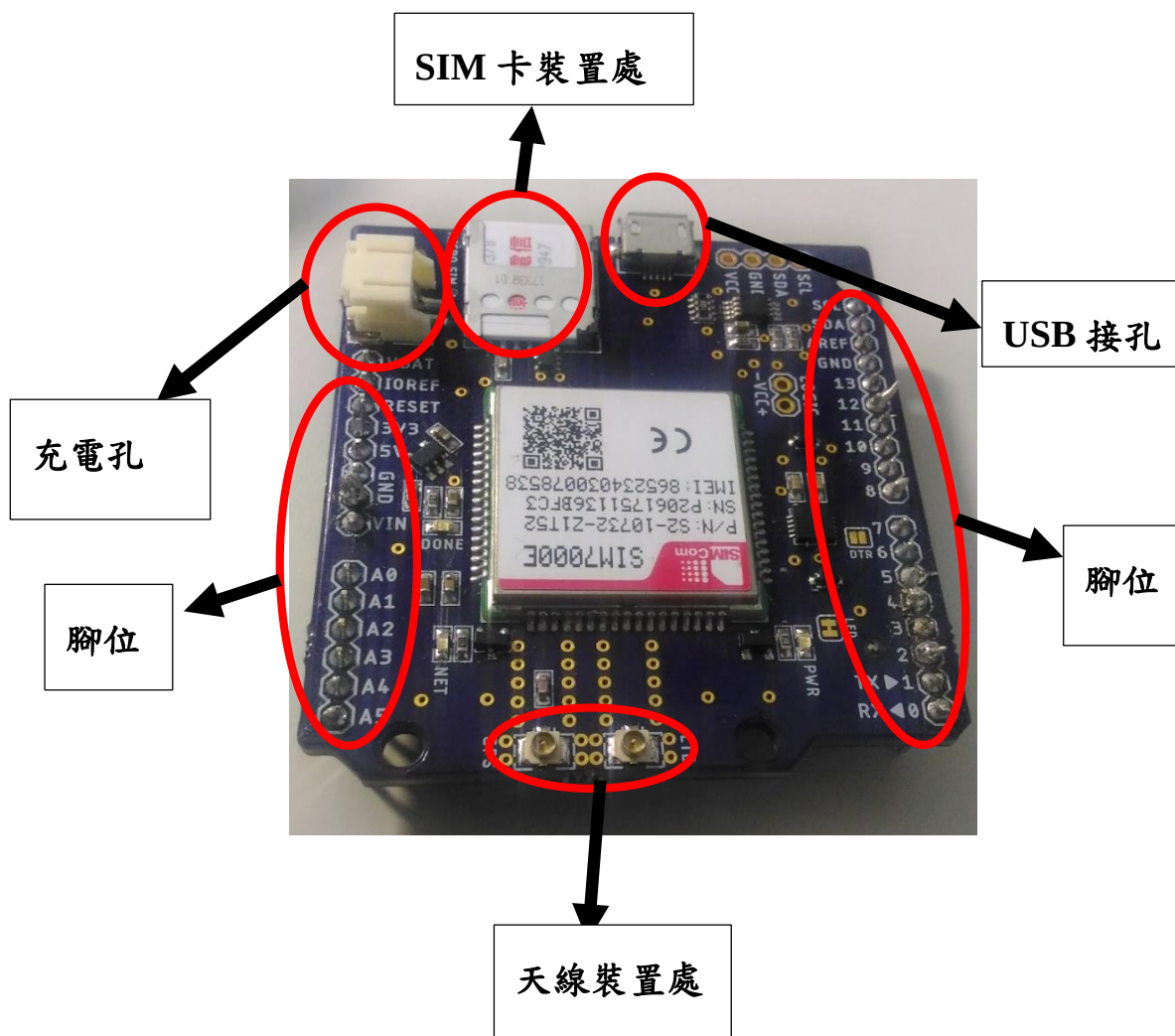
臺灣4G網路覆蓋圖

這樣的覆蓋率夠用嗎？



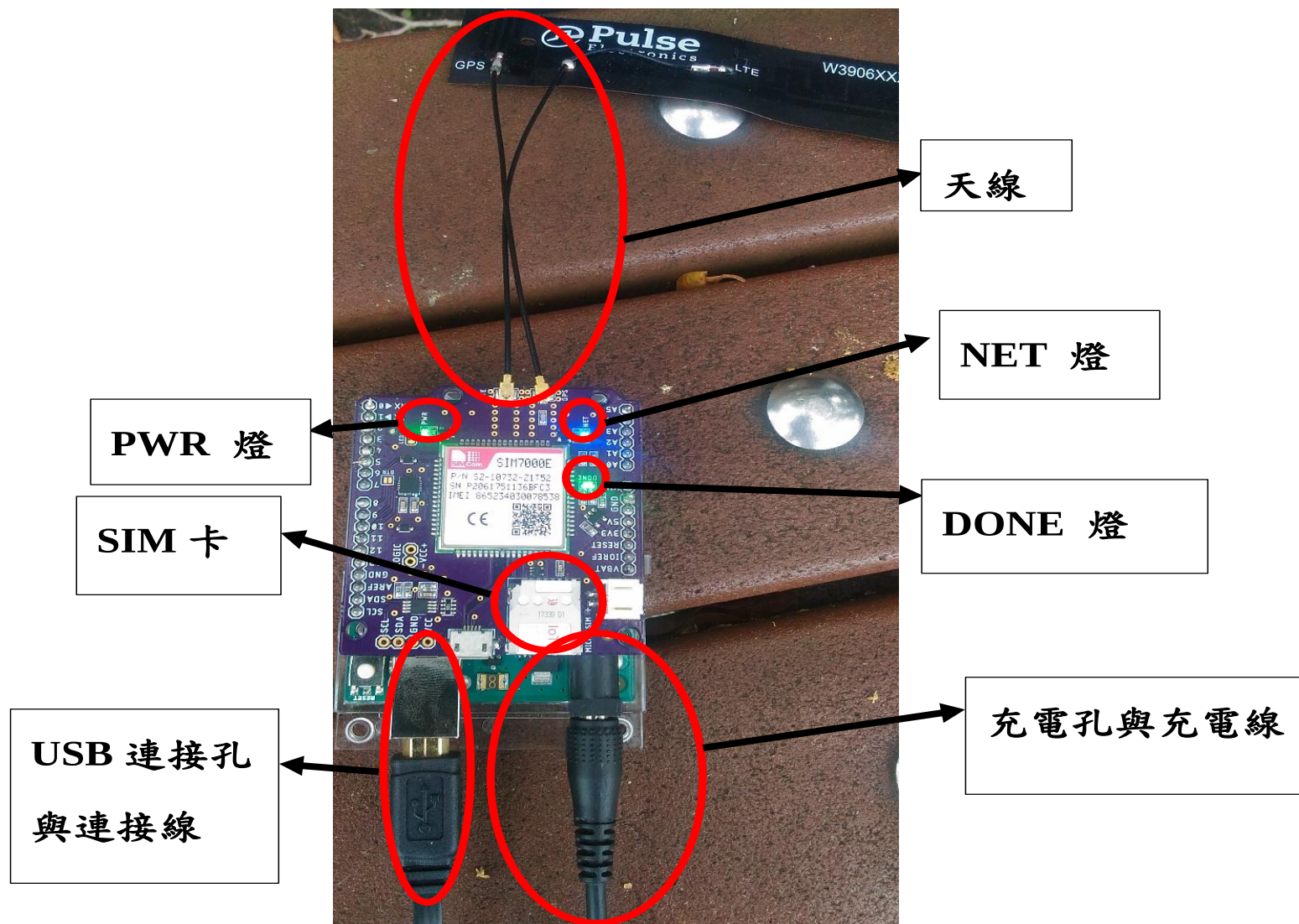
物聯網(IoT)之建置

IoT 硬體：SIM7000E之Arduino擴展板



物聯網(IoT)之建置

SIM7000E模組啟動並傳輸資料



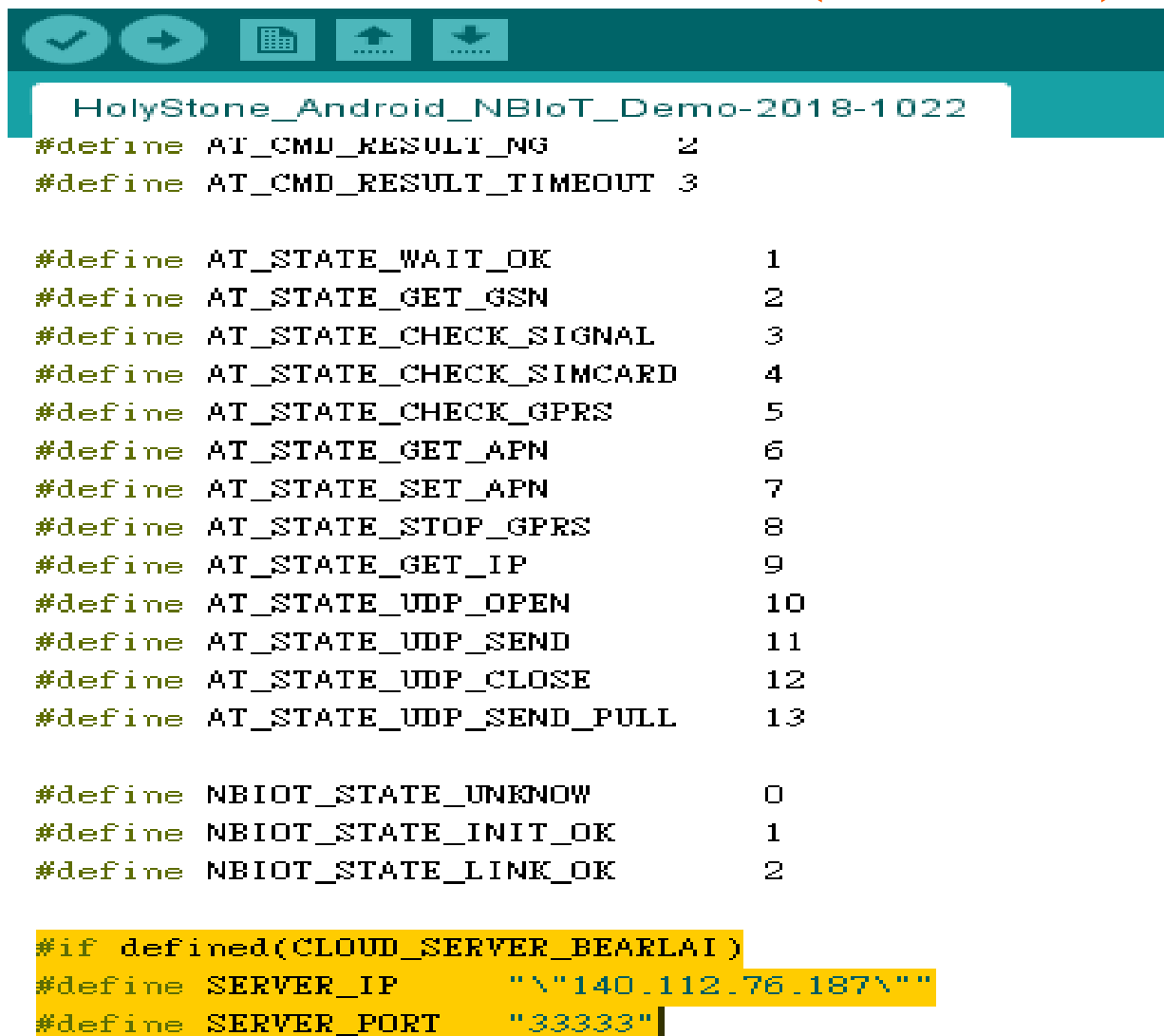
物聯網(IoT)之建置

TCP&UDP

	TCP	UDP
連接特性	可靠的連接導向 (Connection Oriented)	非可靠非連接導向 (Connectionless Oriented)
速度	慢	快
穩定性	高	低
握手程序	需要	不需要
傳輸量	較小	較大
傳輸機制可靠性	可靠的傳輸機制， 確保傳送資料到接收端	不可靠，應用程式須 自行提供可靠機制
壅塞控制	有	無
速度	較慢	較快

物聯網(IoT)之建置

Arduino建置客戶端(傳送端)



```
HolyStone_Android_NBIoT_Demo-2018-1022
#define AT_CMD_RESULT_NG      2
#define AT_CMD_RESULT_TIMEOUT 3

#define AT_STATE_WAIT_OK      1
#define AT_STATE_GET_GSN      2
#define AT_STATE_CHECK_SIGNAL 3
#define AT_STATE_CHECK_SIMCARD 4
#define AT_STATE_CHECK_GPRS    5
#define AT_STATE_GET_APN      6
#define AT_STATE_SET_APN      7
#define AT_STATE_STOP_GPRS    8
#define AT_STATE_GET_IP       9
#define AT_STATE_UDP_OPEN     10
#define AT_STATE_UDP_SEND     11
#define AT_STATE_UDP_CLOSE    12
#define AT_STATE_UDP_SEND_PULL 13

#define NBIOT_STATE_UNKNOW     0
#define NBIOT_STATE_INIT_OK    1
#define NBIOT_STATE_LINK_OK    2

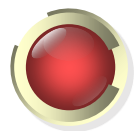
#if defined(CLOUD_SERVER_BEARLAI)
#define SERVER_IP      "\"140.112.76.187\""
#define SERVER_PORT    "33333"
```

物聯網(IoT)之建置

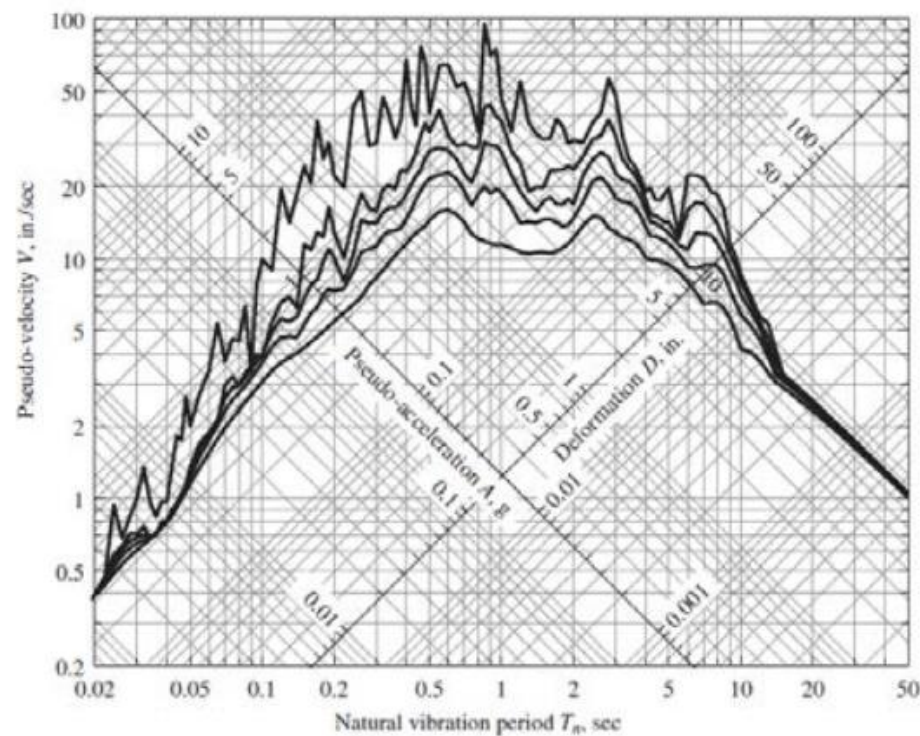
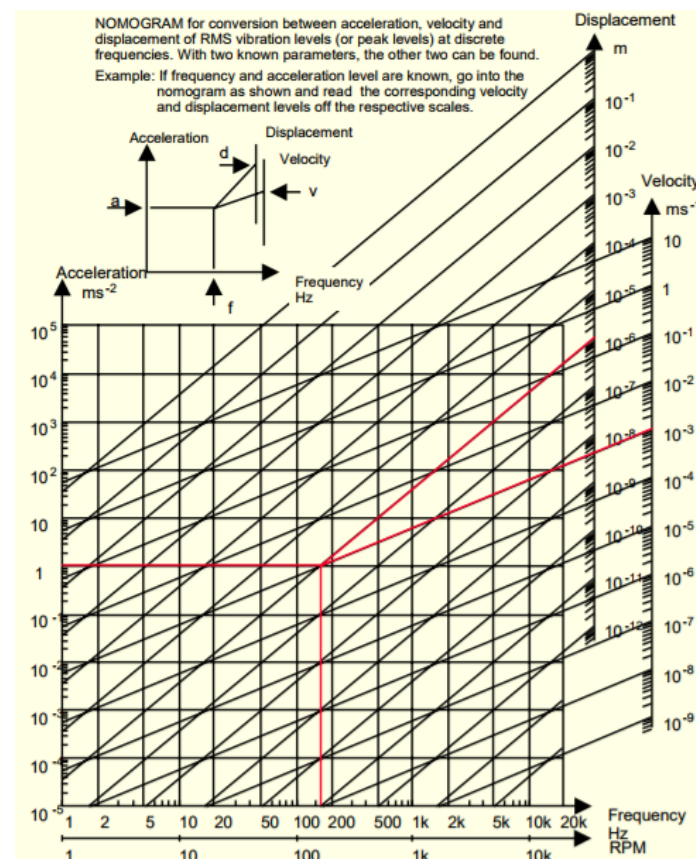
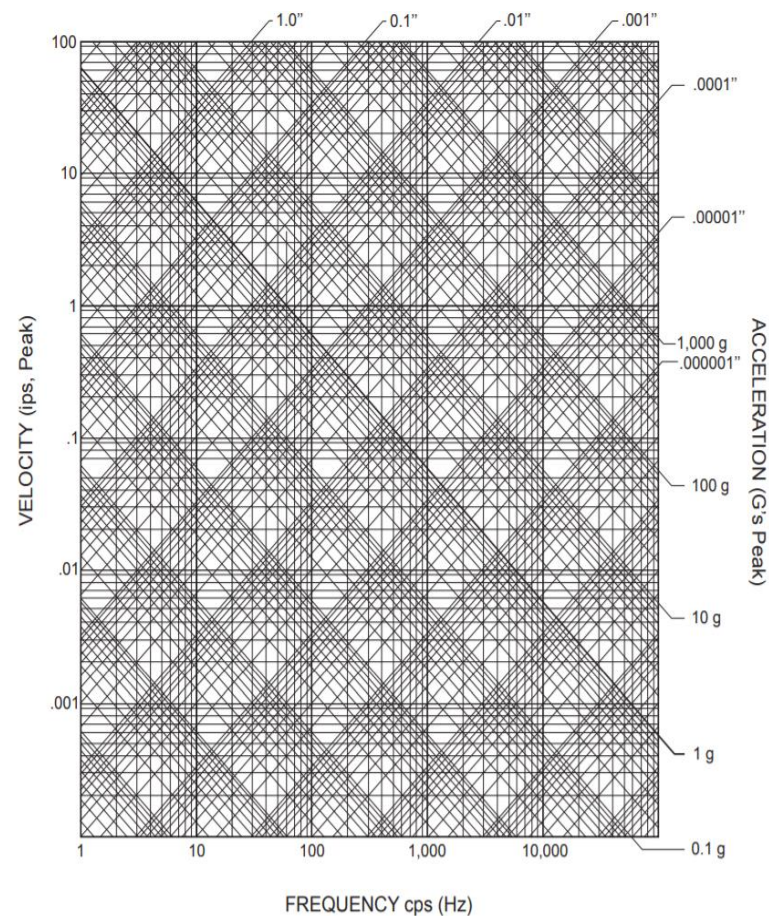
Node.js架設服務端(接收端)

```
domain: null,
_events: { error: [Function: debugDomainError] },
_eventsCount: 1,
_maxListeners: undefined,
members: [] },
_events: { listening: [Function], message: [Function] },
_eventsCount: 2,
_maxListeners: undefined,
_handle: UDP { lookup: [Function: bound lookup4], owner: [Circular] },
_receiving: false,
_bindState: 1,
type: 'udp4',
fd: null,
_reuseAddr: undefined,
[Symbol(options symbol)]: {},
[Symbol(asyncId)]: 187 }
> UDP Server listening on 140.112.76.187:33333
```

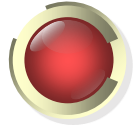
免控制點演算法之開發



利用加速度計量測加速度不需參考點，但須轉換為位移



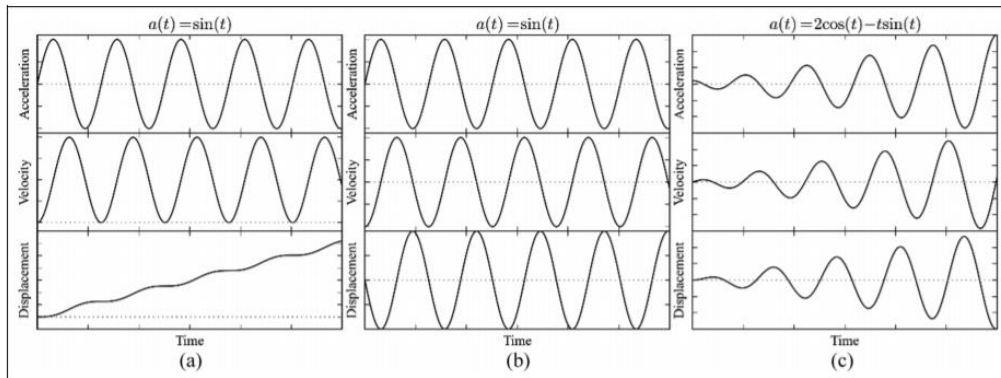
免控制點演算法之開發



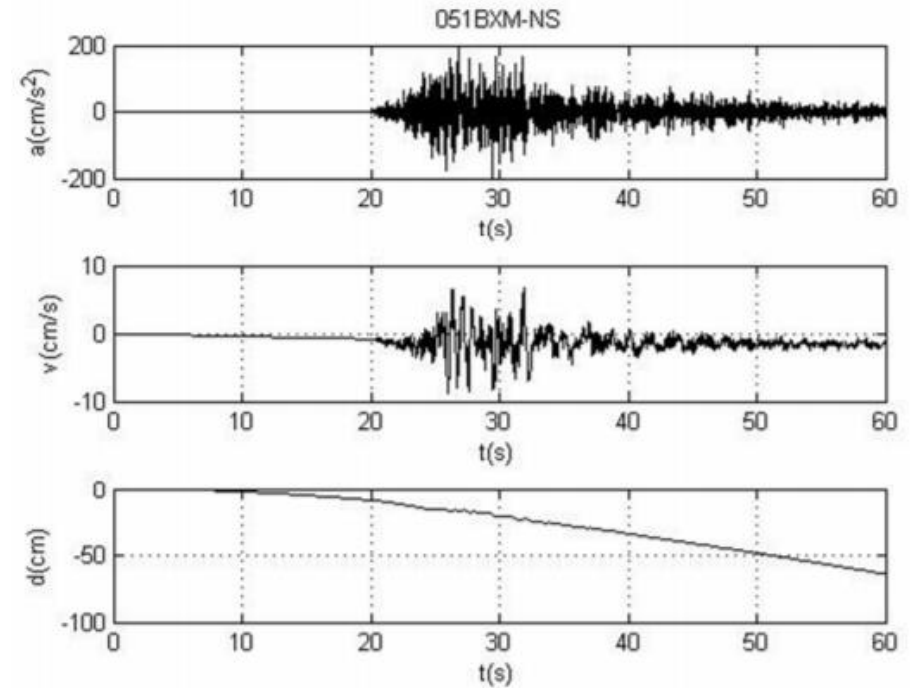
利用加速度計量測加速度不需參考點，但須轉換為位移

→ 訊號飄移 (signal drift)

→ baseline correction

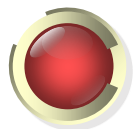


(Pan et al., 2016)



(Hu and Lu, 2015)

免控制點演算法之開發

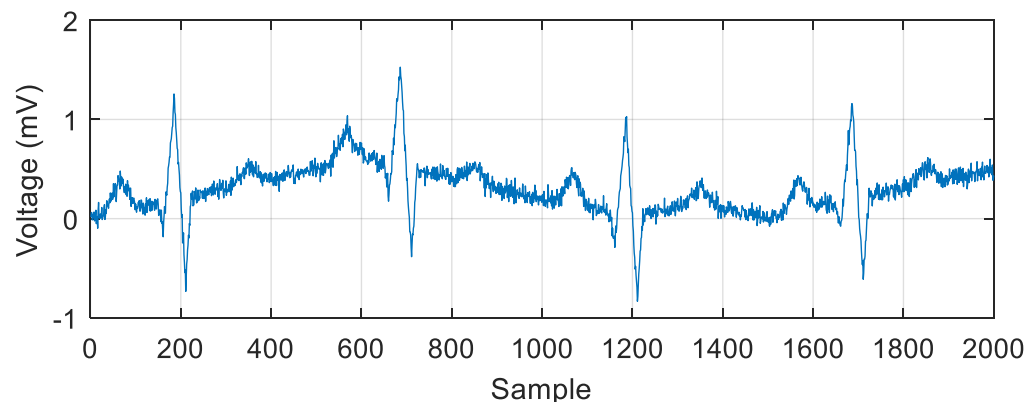
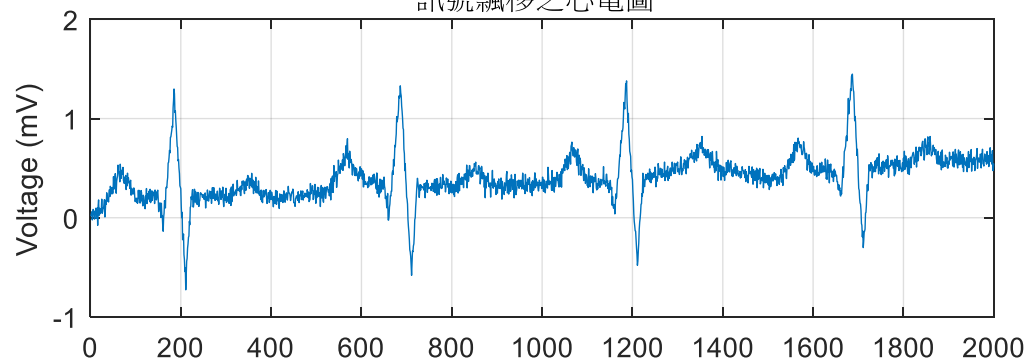


利用加速度計量測加速度不需參考點，但須轉換為位移

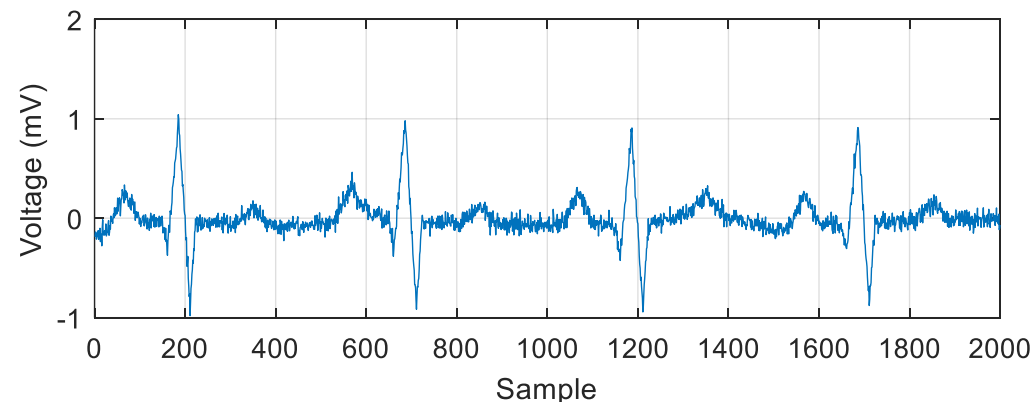
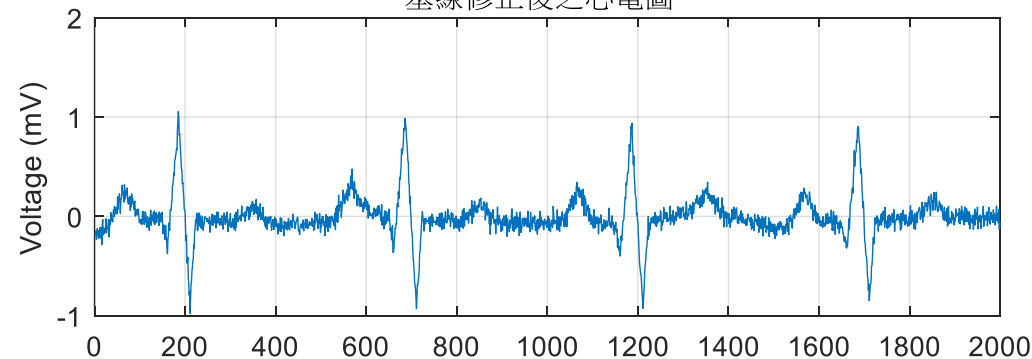
→ 訊號飄移 (signal drift)

→ baseline correction

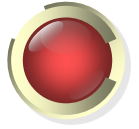
訊號飄移之心電圖



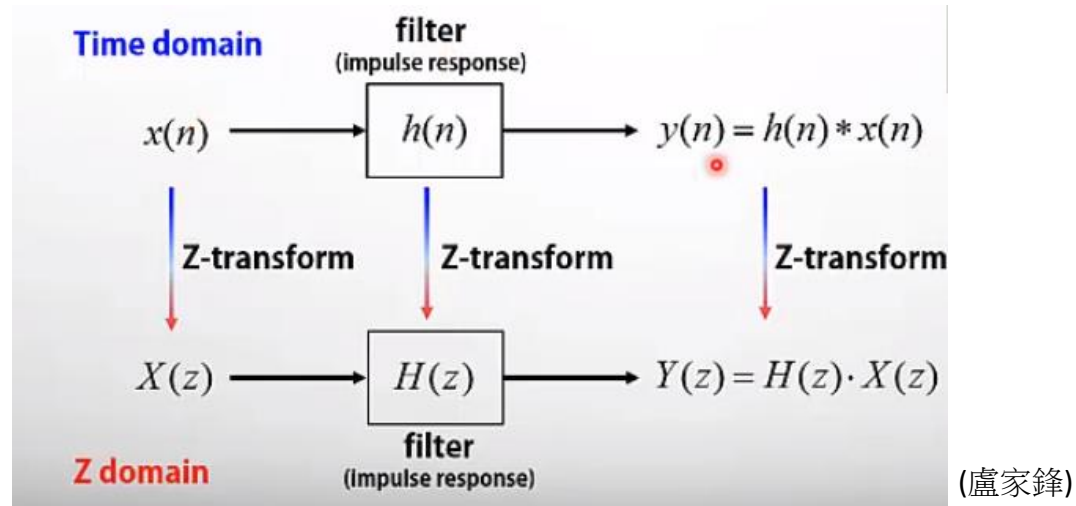
基線修正後之心電圖



免控制點演算法之開發



Digital Filter: 頻率成分調整



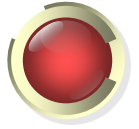
$$Y(z) = H(z)X(z) = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(nb+1)z^{-nb}}{a(1) + a(2)z^{-1} + \dots + b(na+1)z^{-na}} X(z)$$

傅立葉轉換與Z轉換

有限脈衝響應系統 (FIR): non-recursive

無限脈衝響應系統 (IIR): recursive, Newmark - β method

免控制點演算法之開發



Digital Filter: 頻率成分調整

Z domain

$$Y(z) = H(z)X(z) = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(nb+1)z^{-nb}}{a(1) + a(2)z^{-1} + \dots + a(na+1)z^{-na}} X(z)$$

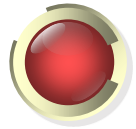
Time domain

$$y(n) = \sum_0^{nb} b(nb+1)x(n-nb) - \sum_0^{na} a(na+1)y(n-na)$$

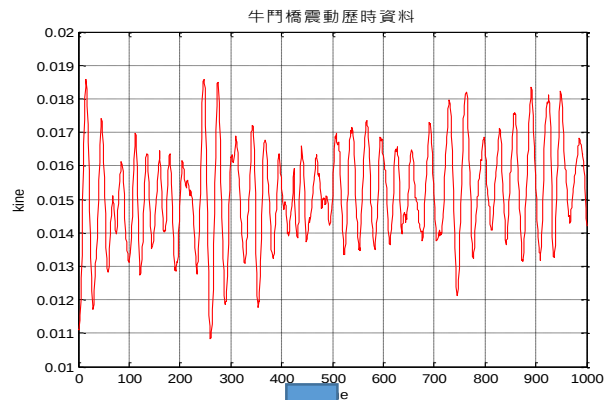
有限脈衝響應系統 (FIR): non-recursive

無限脈衝響應系統 (IIR): recursive, Newmark - β method

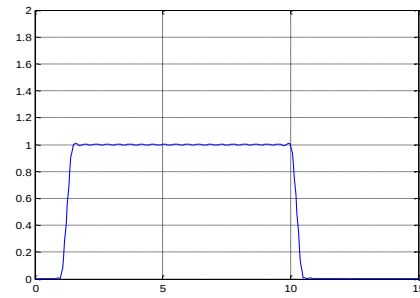
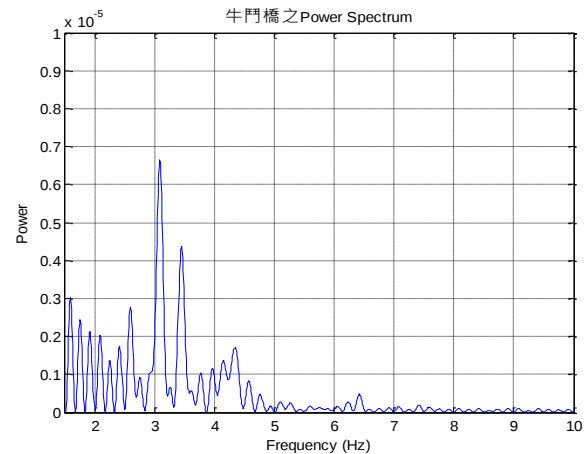
免控制點演算法之開發



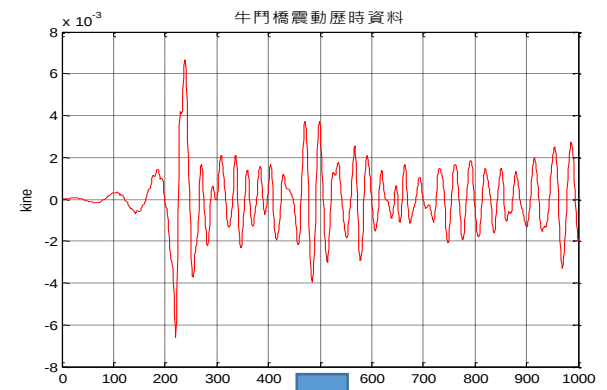
Digital Filter: 頻率成分調整



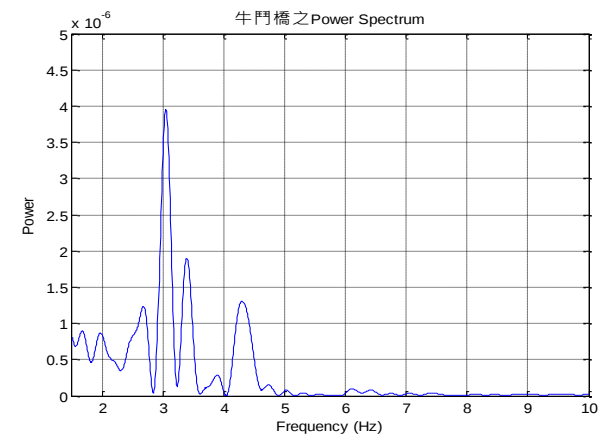
FFT



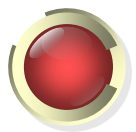
帶通濾波器



FFT



免控制點演算法之開發



利用加速度計量測加速度不需參考點，但須轉換為位移→ Proposed

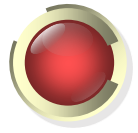
$$\underset{u}{Min} \Pi_E(u) = \frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} (a(u(t)) - \bar{a})^2 dt$$

$$\Pi_E(u) \approx \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} (a_1 - \bar{a}_1)^2 + (a_2 - \bar{a}_2)^2 + \cdots + (a_{2k} - \bar{a}_{2k})^2 + \frac{1}{2} (a_{2k+1} - \bar{a}_{2k+1})^2 \right) \Delta t$$

若使用中央差分近似 $a(u(t))$ ，則缺少兩個位移資訊(起點與終點)

$$\frac{u_{p+1} - 2u_p + u_{p-1}}{(\Delta t)^2} = a_p(u)$$

免控制點演算法之開發



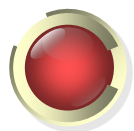
利用加速度計量測加速度不需參考點，但須轉換為位移

$$\underset{u}{Min} \Pi_E(u) = \frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} (a(u(t)) - \bar{a})^2 dt \rightarrow \text{為緩和 ill-posedness}$$

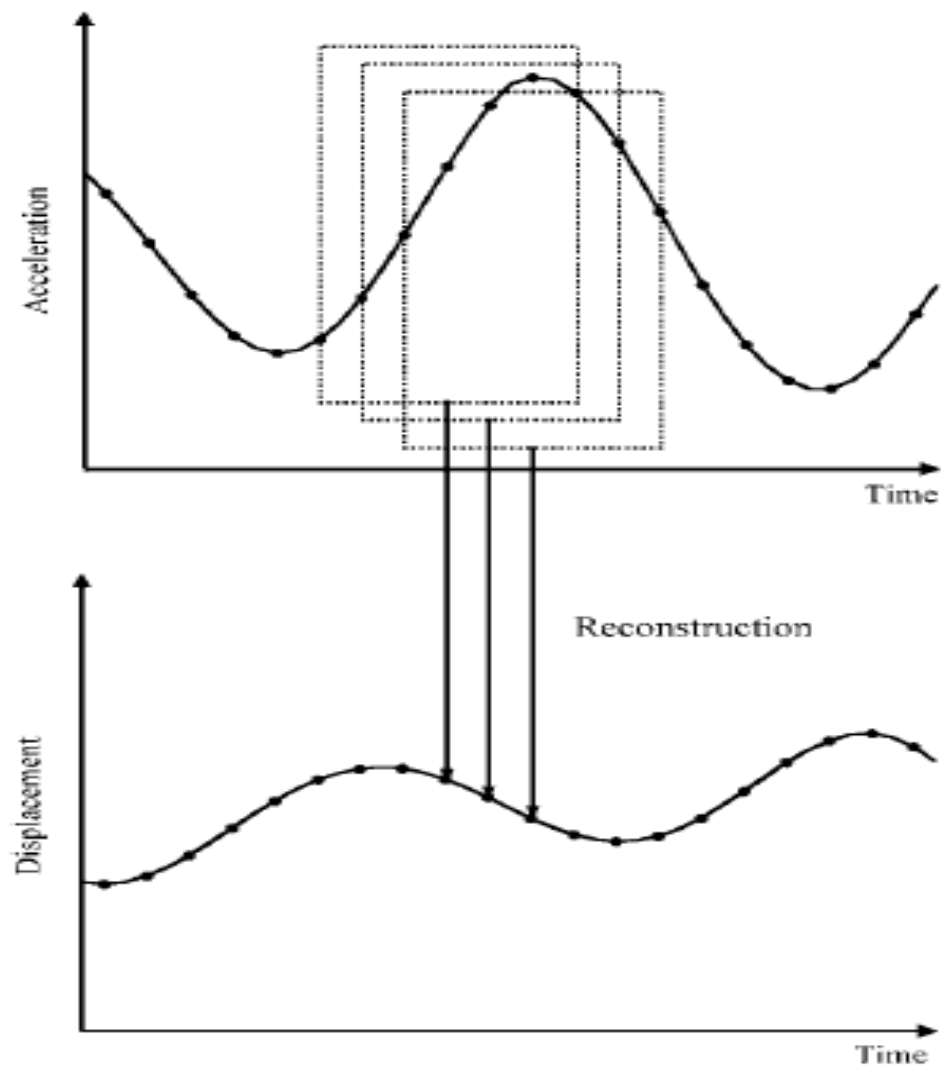
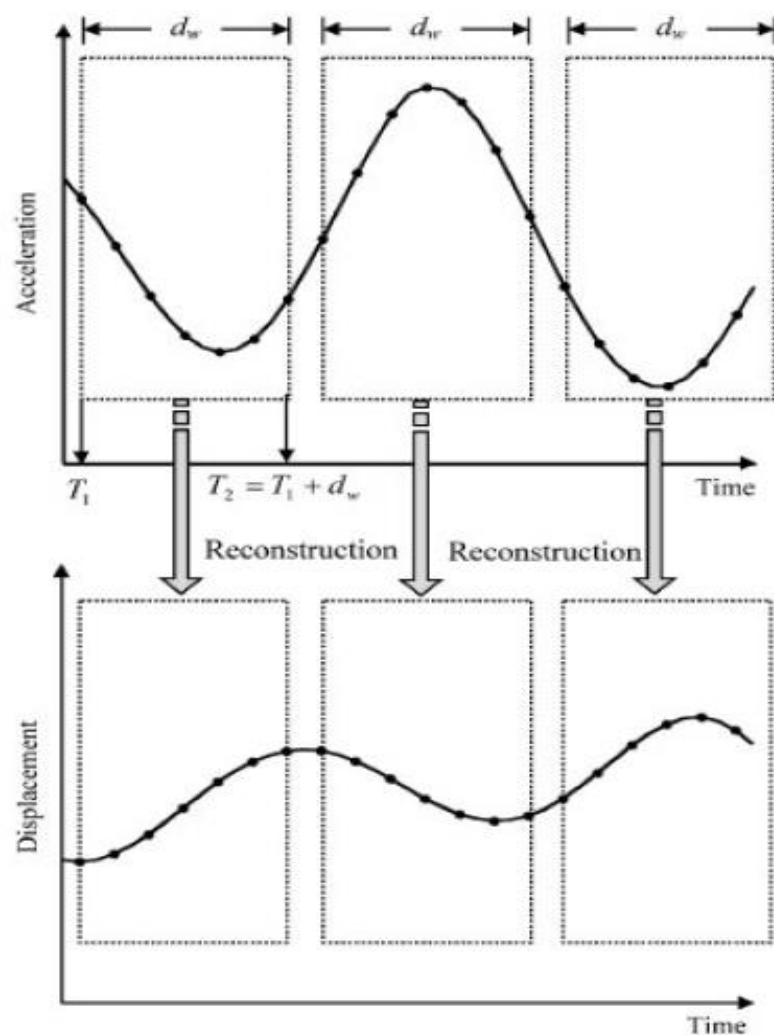
$$\underset{u}{Min} \Pi(u) = \frac{1}{2} \| \mathbf{L}\mathbf{u} - (\Delta t)^2 \mathbf{L}_a \bar{\mathbf{a}} \|_2^2 + \frac{\lambda^2}{2} \| \mathbf{u} \|_2^2$$

$$\mathbf{u} = (\mathbf{L}^T \mathbf{L} + \lambda^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{L}^T \mathbf{L}_a \bar{\mathbf{a}} (\Delta t)^2 = \mathbf{C} \bar{\mathbf{a}} (\Delta t)^2$$

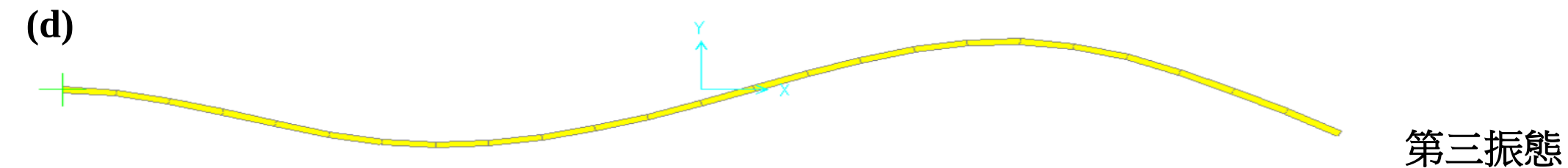
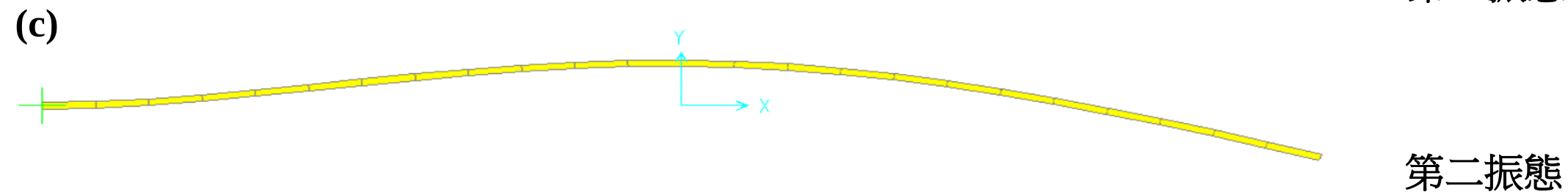
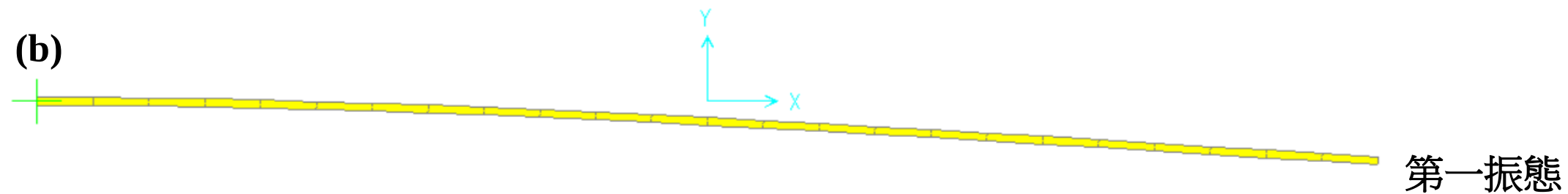
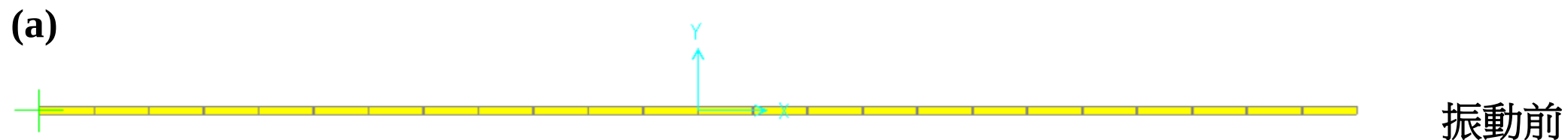
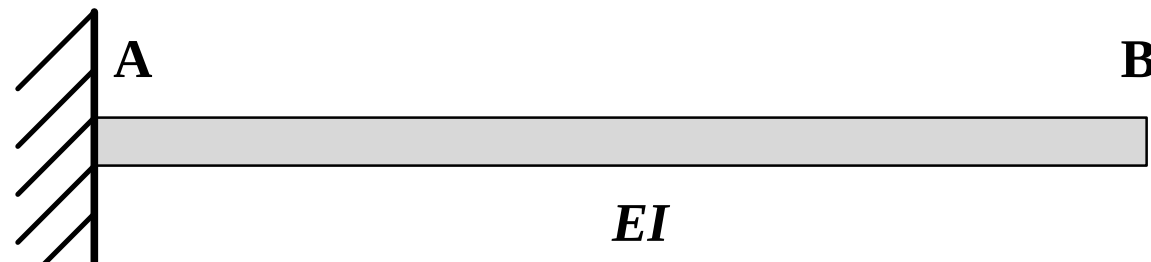
免控制點演算法之開發



量測加速度轉換為位移考慮時窗的問題→Non-overlap V.S. Overlap

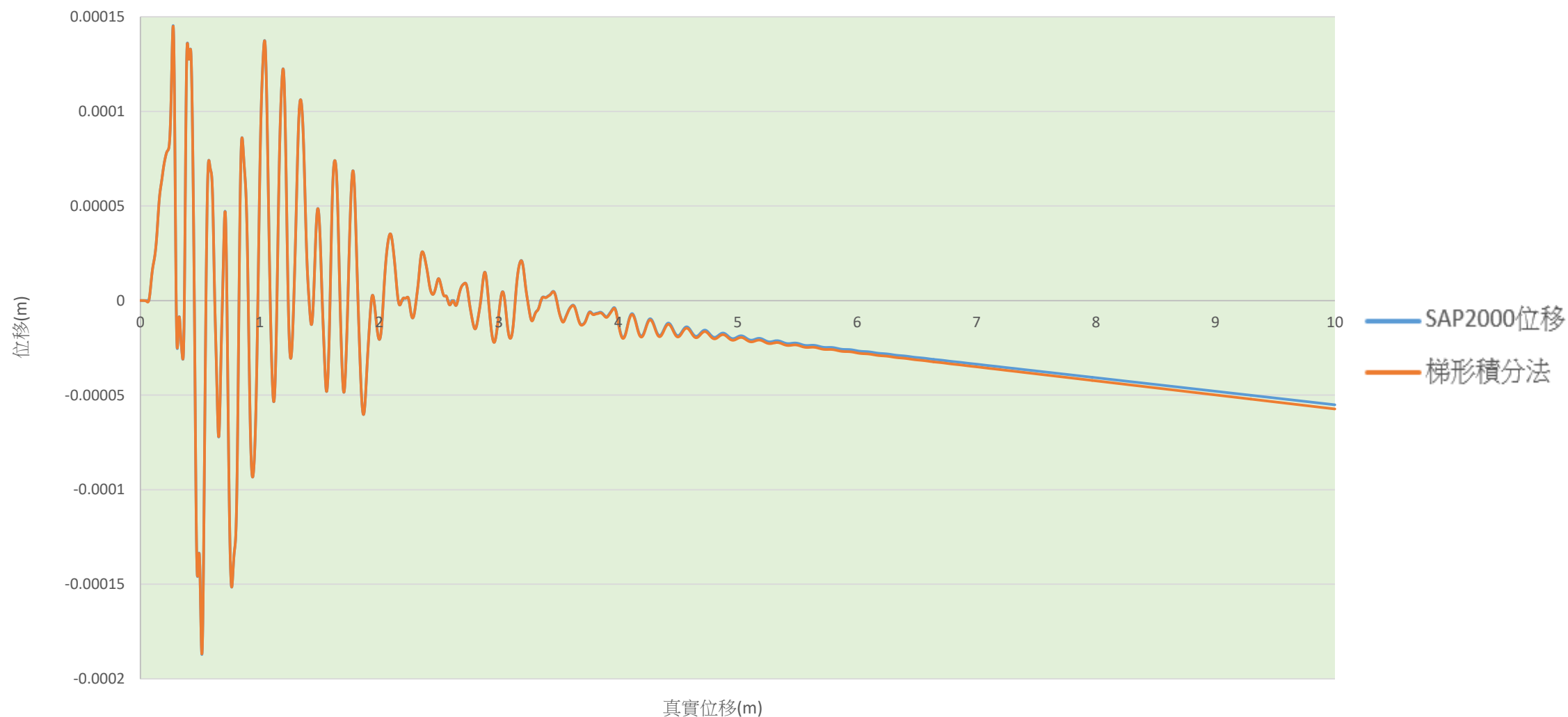


重建位移之驗證-數值分析



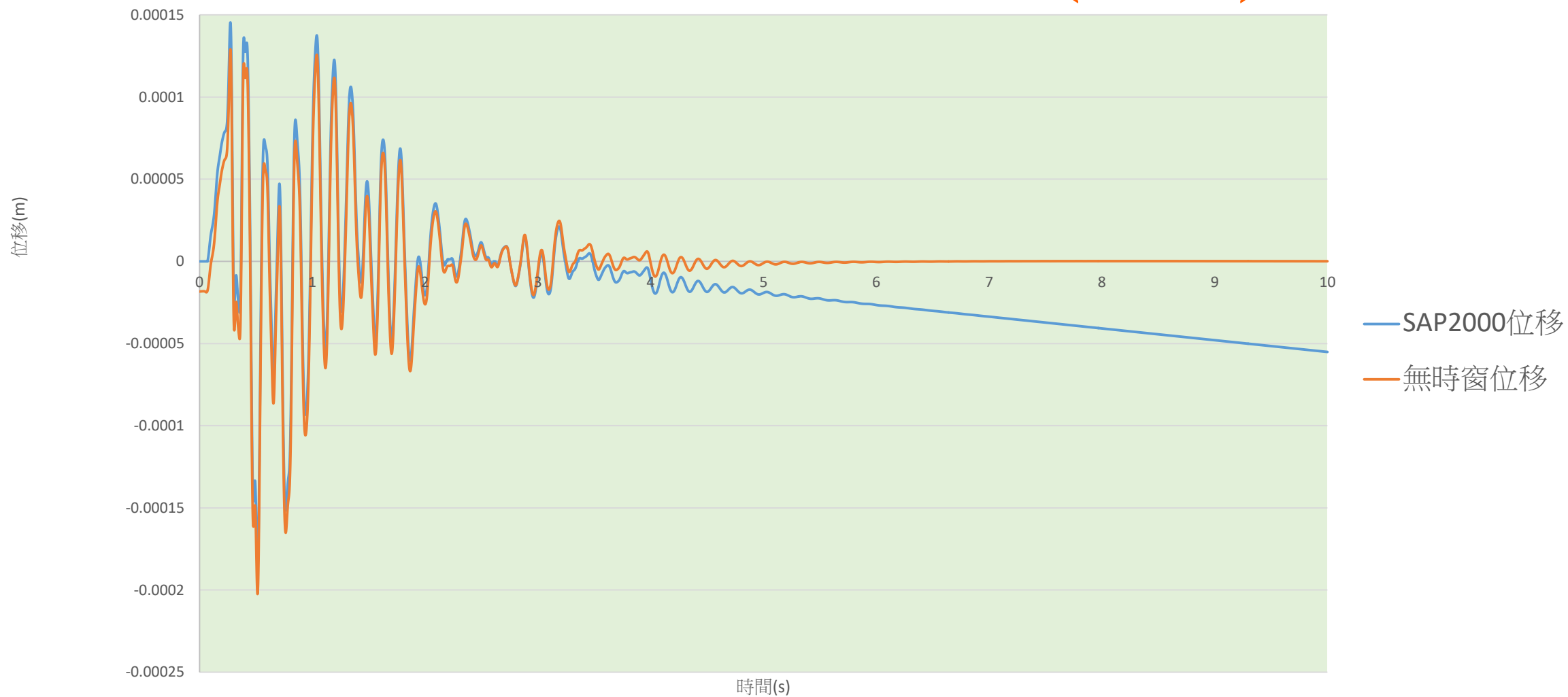
重建位移之驗證-數值分析

梯形積分法結果(6.5Hz)



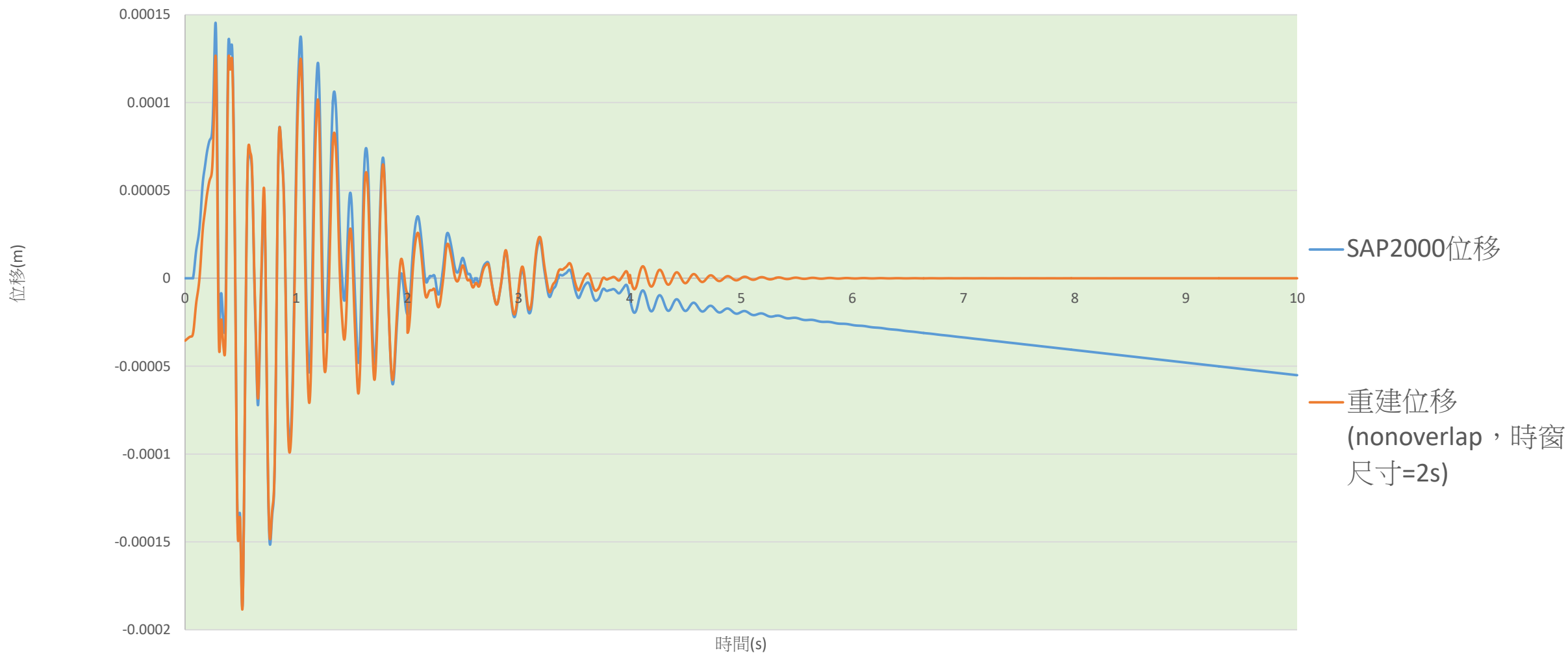
重建位移之驗證-數值分析

No time windows 結果(6.5Hz)



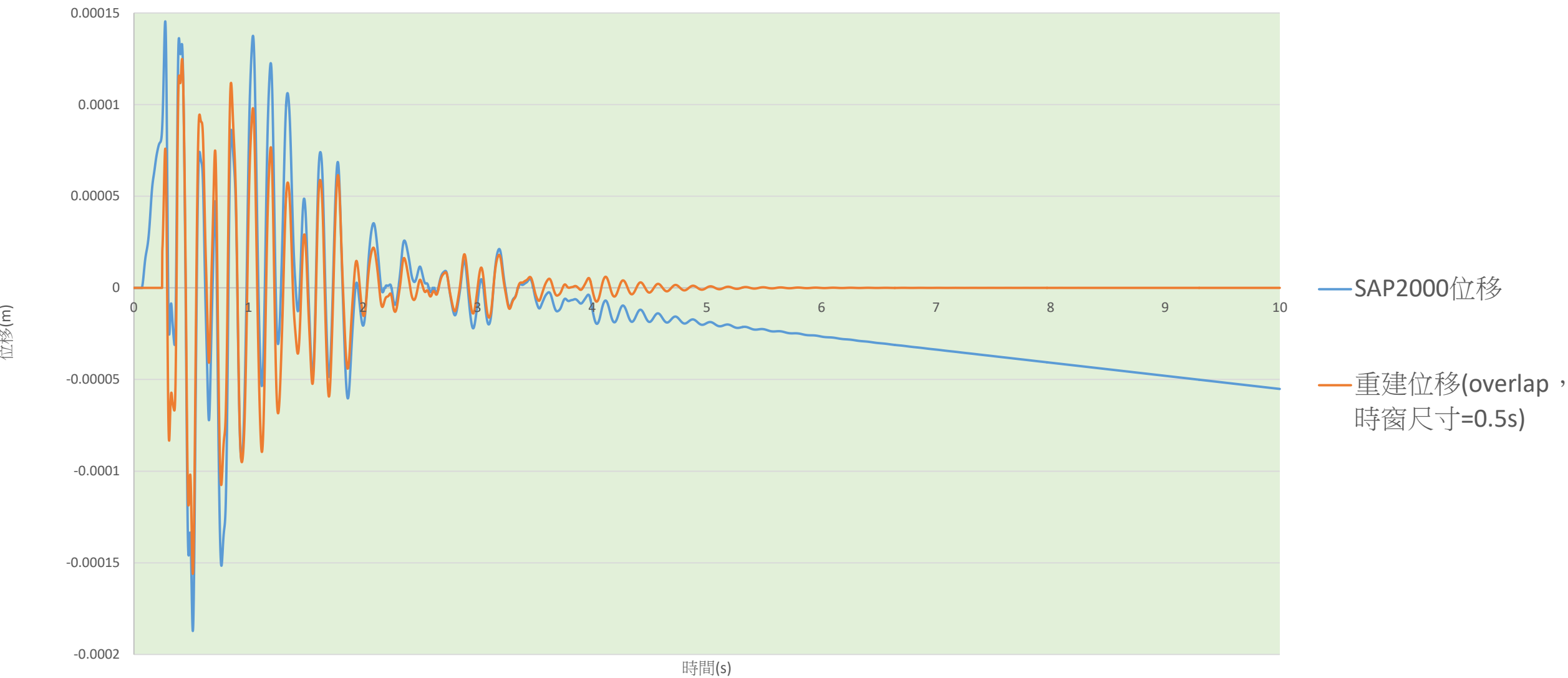
重建位移之驗證-數值分析

Non-overlapping time windows 結果(6.5Hz)



重建位移之驗證-數值分析

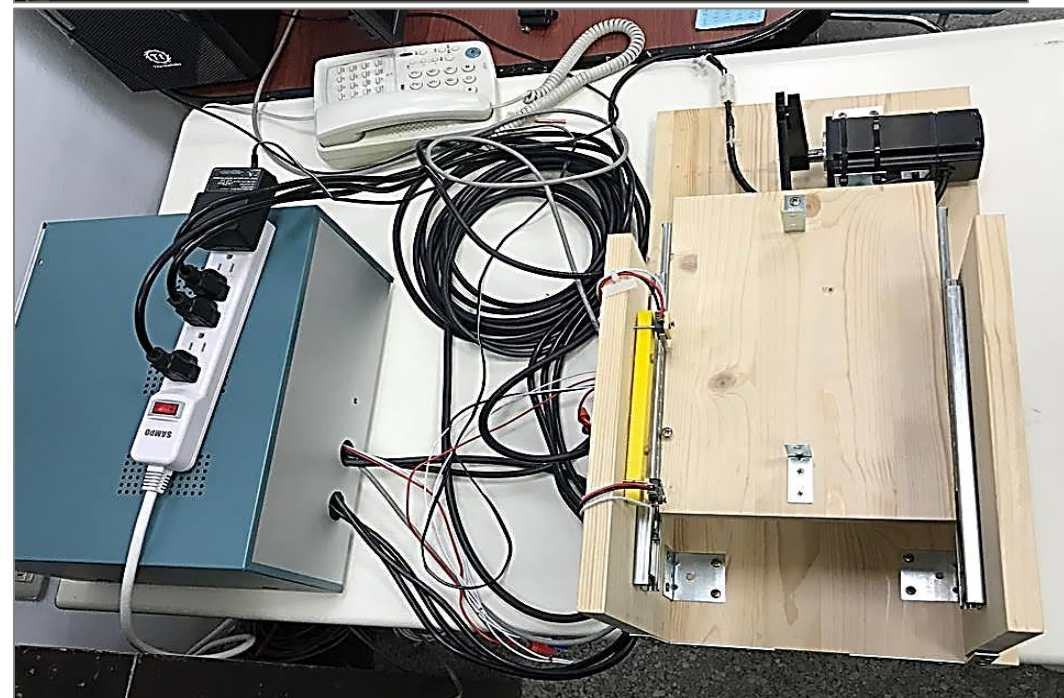
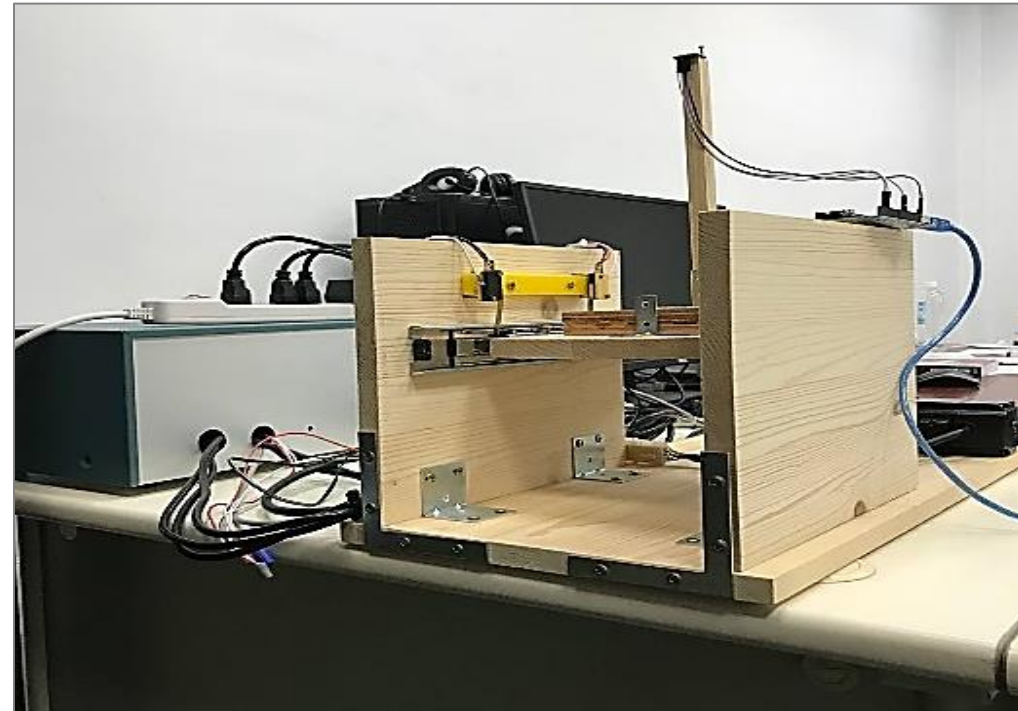
Overlapping time windows 結果(6.5Hz)



重建位移之驗證-室內縮尺度



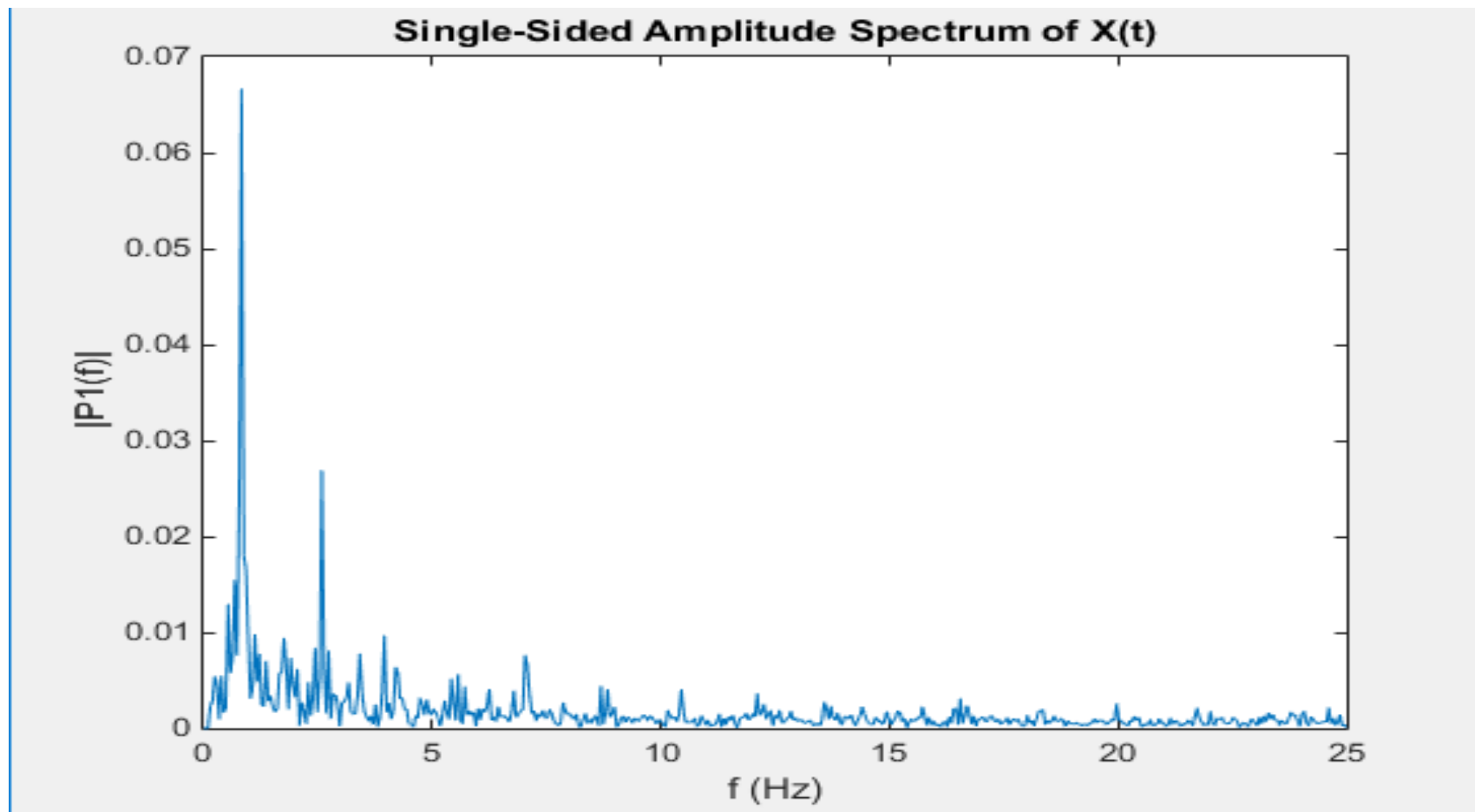
懸臂梁模型



振動臺

重建位移之驗證-室內縮尺度

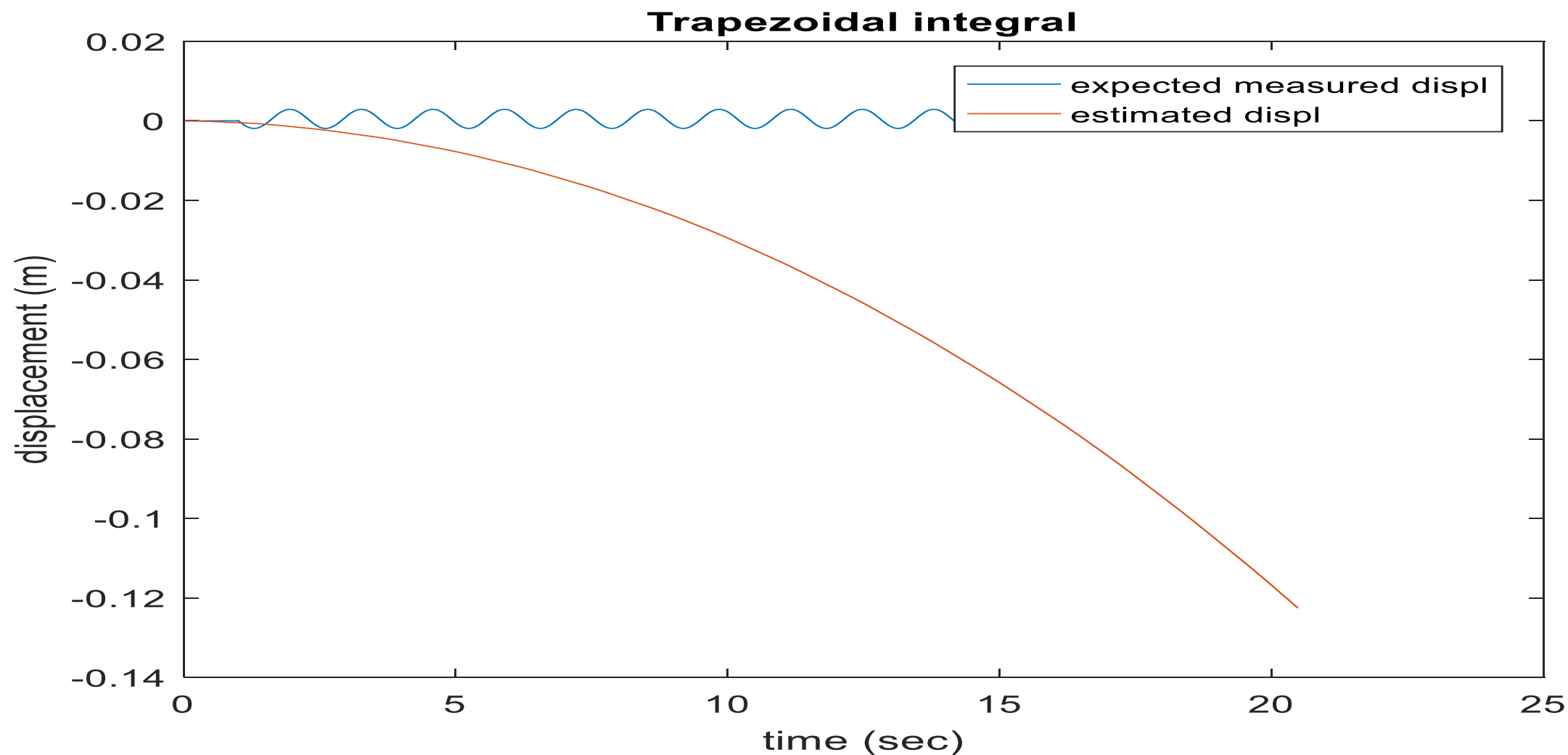
驗證加速度計之合理性(1Hz震盪下情況)



FFT運算輸出頻譜

重建位移之驗證-室內縮尺度

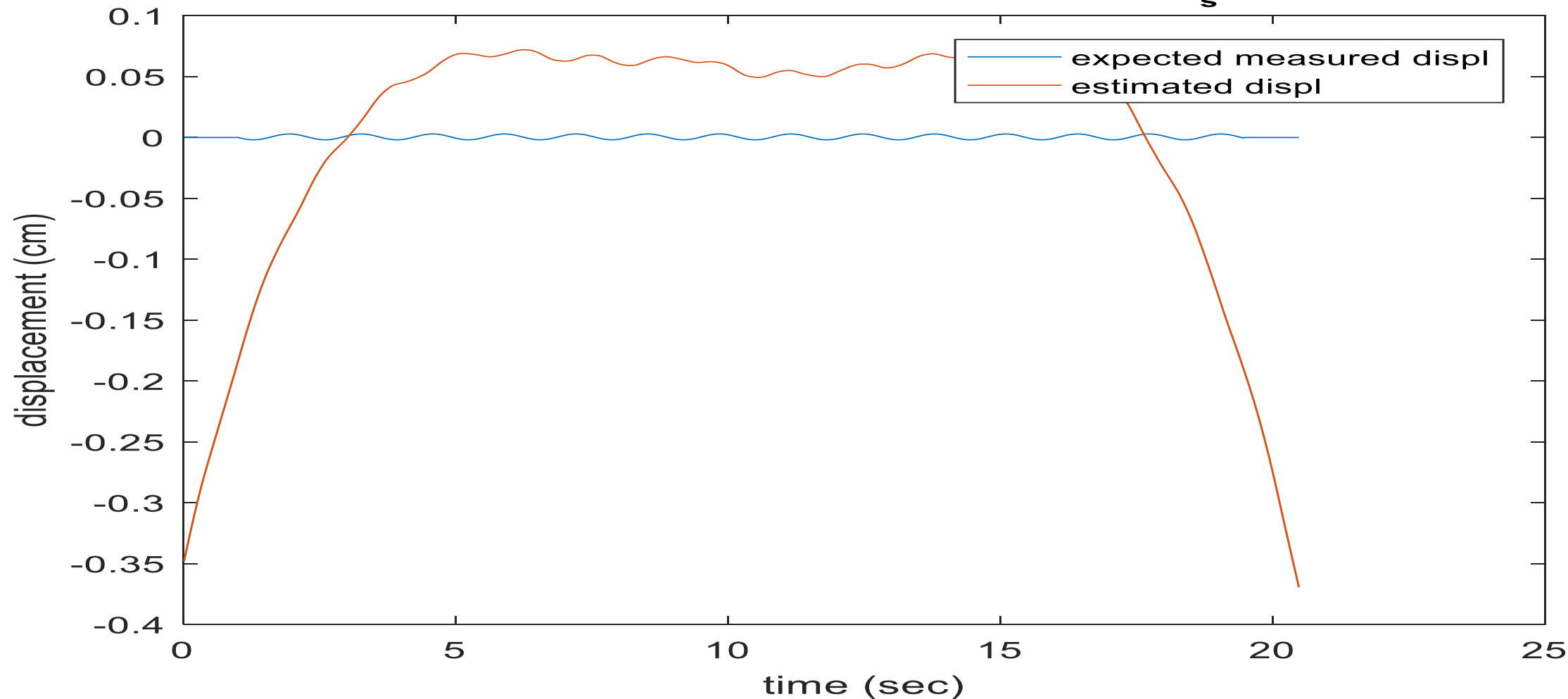
梯形積分法結果(1Hz)



重建位移之驗證-室內縮尺度

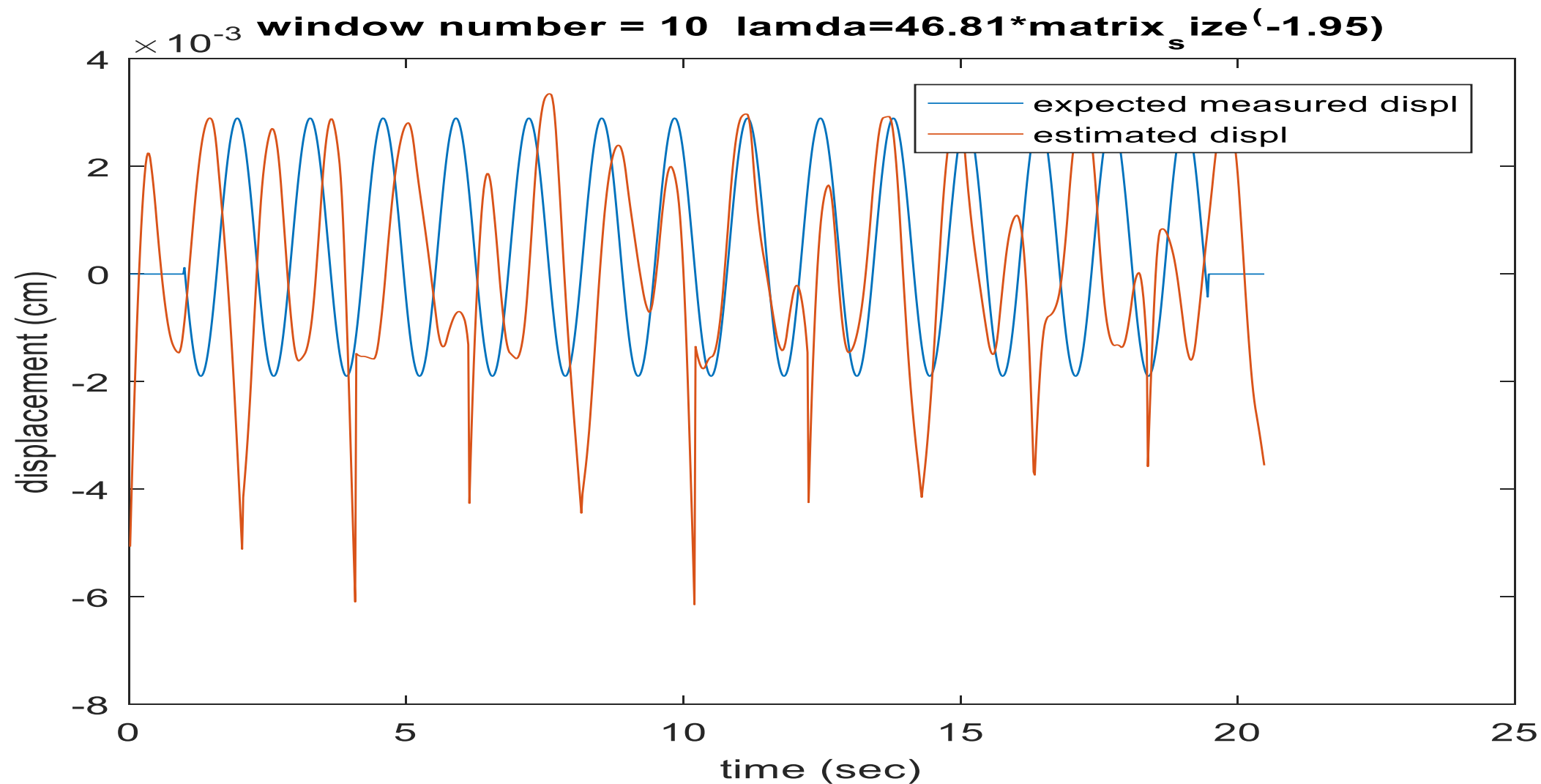
No time windows 結果(1Hz)

window number = 1 lamda= $46.81 \cdot \text{matrix_size}^{-1.95}$



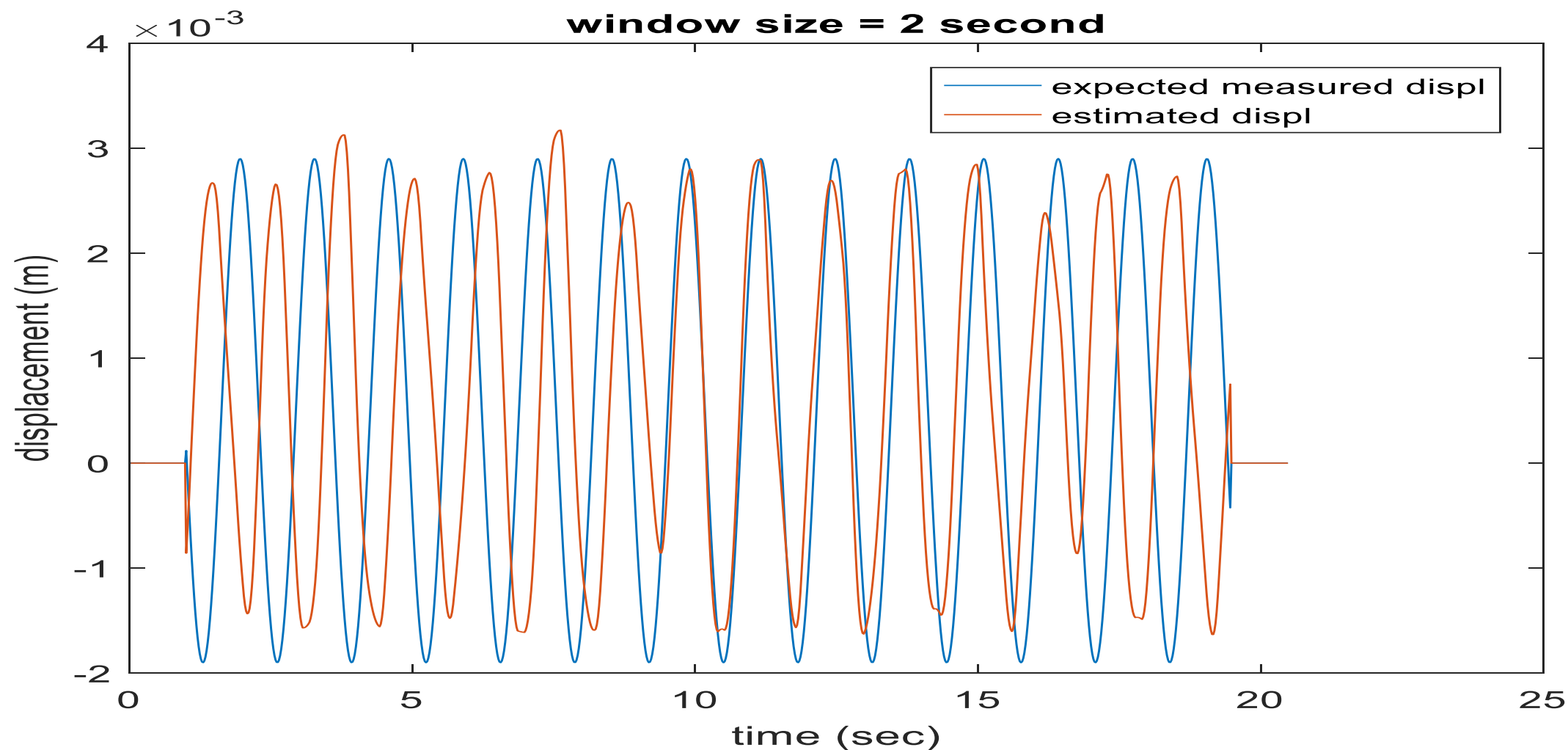
重建位移之驗證-室內縮尺度

Non-overlapping time windows 結果(1Hz)



重建位移之驗證-室內縮尺度

Overlapping time windows 結果(1Hz)



免控制點演算法之開發

粒子群演算法 **or** 生物共生演算法

$$\text{Min}(u) = 0.5 \left\| Lu - (\Delta t)^2 L_a \bar{a} \right\|_2^2 + \frac{\lambda^2}{2} \|u\|_2^2$$

$$u = \left(L^T L + \lambda^2 I \right)^{-1} L^T L_a \bar{a} (\Delta t)^2$$

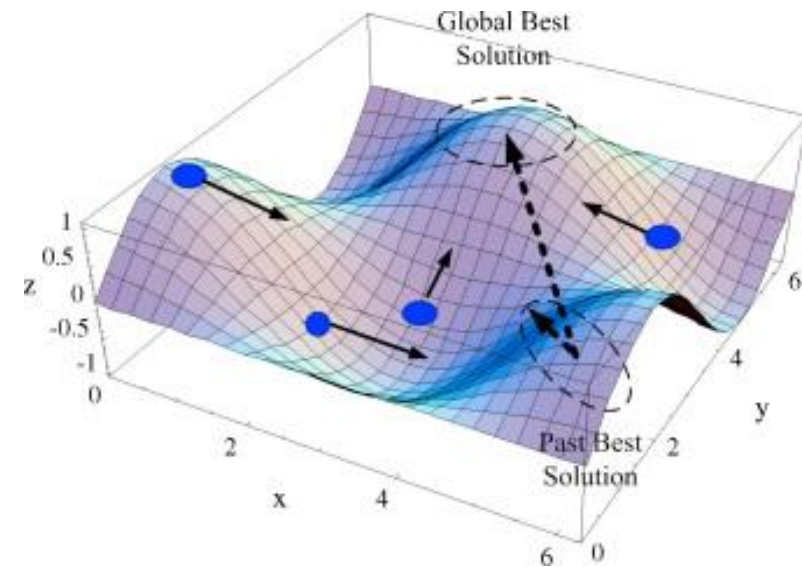
$$N_d = f_s \frac{N_w}{f_T}$$

$$\lambda = 46.81 N_d^{-1.95}$$

f_s : sampling rate



Source: TurningFinance



Source: Mathworks

免控制點演算法之開發

$$Min(u) = 0.5 \left\| Lu - (\Delta t)^2 L_a \bar{a} \right\|_2^2 + \frac{\lambda^2}{2} \|u\|_2^2$$

Interval Time	0.02								
Target frequency	PSO 1		PSO 2		Author		RMS from PSO 1	RMS from PSO 2	RMS Author
	N _d	λ	N _d	λ	N _d	λ			
1	95	0.005134	47	8.00E-08	150	2.67E-03	0.003896346	0.004174335	0.006890833
1.2	249	0.007925	37	8.00E-08	125	3.81E-03	0.00374907	0.003670724	0.005609722
1.4	511	0.011331	33	8.00E-08	107	5.16E-03	0.003179673	0.002939075	0.005069261
1.6	517	0.015753	27	8.00E-08	94	6.65E-03	0.002333968	0.002284302	0.00429843
1.8	239	0.019658	25	8.00E-08	83	8.47E-03	0.002035609	0.002080093	0.003737187
2	43	0.021029	21	8.00E-08	75	1.03E-02	0.001195922	0.001659135	0.003265947
2.2	475	0.029629	19	8.00E-08	68	1.25E-02	0.001352331	0.001536485	0.002811326
2.4	37	0.031795	17	8.00E-08	62	1.50E-02	0.000724727	0.0010604	0.002449311
2.6	65	0.043515	15	8.00E-08	58	1.70E-02	0.000832499	0.000960356	0.002216676
2.8	31	0.0408	15	8.00E-08	54	1.96E-02	0.000489519	0.000793724	0.001971061
3	29	0.04595	13	8.00E-08	50	2.28E-02	0.000444206	0.000685782	0.001722828
3.2	27	0.053721	13	8.00E-08	47	2.57E-02	0.000405694	0.000674166	0.001538395
9	5	0.41648	3	8.00E-08	17	1.87E-01	2.84E-05	8.46E-05	1.92E-04
9.2	5	0.438748	3	8.00E-08	16	2.10E-01	2.49E-05	7.47E-05	1.70E-04
9.4	5	0.459542	3	8.00E-08	16	2.10E-01	2.23E-05	6.62E-05	1.73E-04
9.6	5	0.485002	3	8.00E-08	16	2.10E-01	2.05E-05	5.88E-05	1.75E-04
9.8	5	0.50751	3	8.00E-08	15	2.38E-01	1.91E-05	5.23E-05	1.42E-04
10	5	0.520639	3	8.00E-08	15	2.38E-01	1.81E-05	4.64E-05	1.44E-04
Average RMS							0.000567333	0.000656677	0.001247122
Max RMS							0.003896346	0.004174335	0.006890833
Min RMS							1.80826E-05	4.64378E-05	0.000141867

免控制點演算法之開發

$$\text{Min}(u) = 0.5 \left\| Lu - (\Delta t)^2 L_a \bar{a} \right\|_2^2 + \frac{\lambda^2}{2} \|u\|_2^2$$

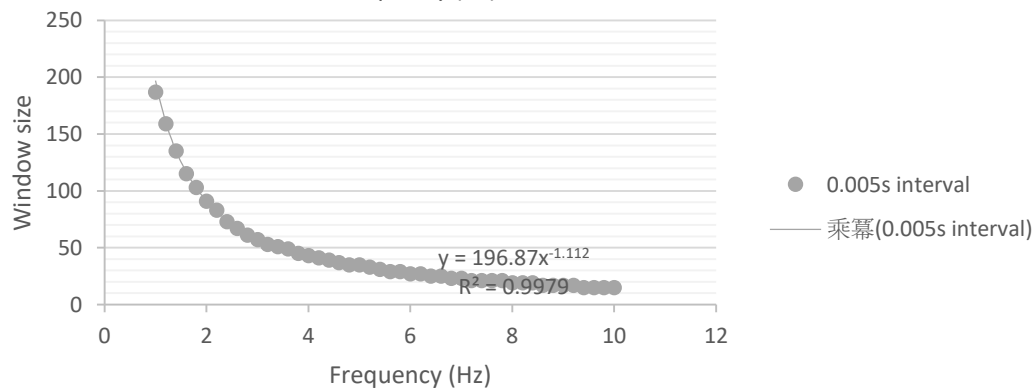
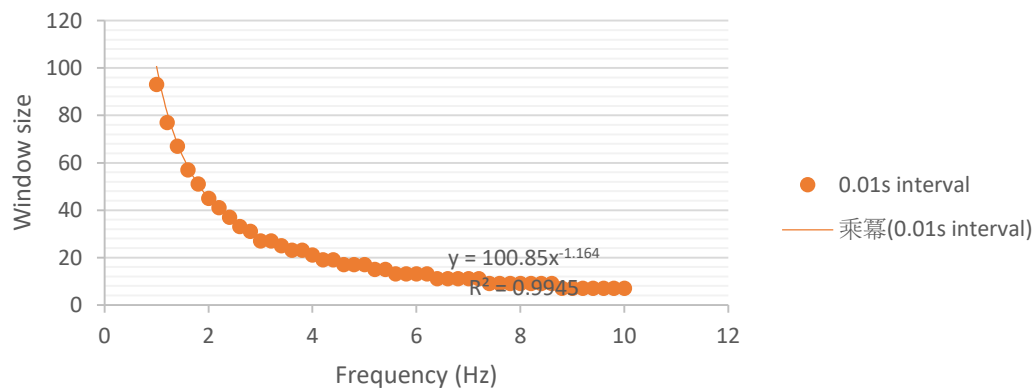
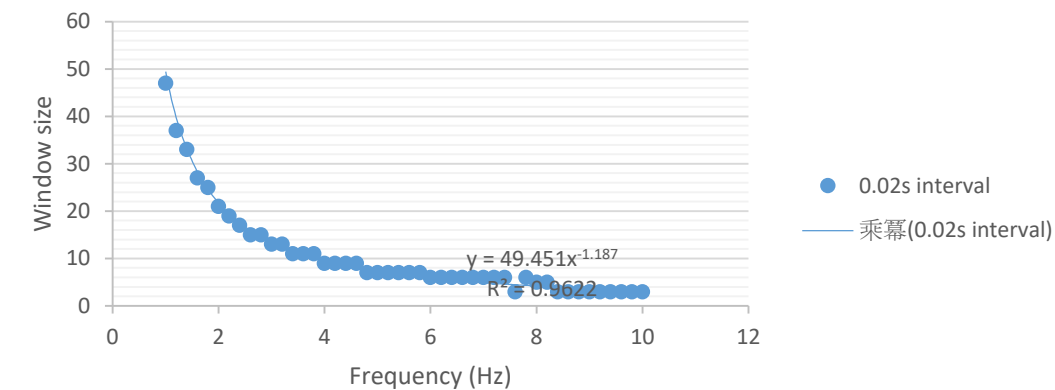
Interval Time	0.01								
Target frequency	PSO 1		PSO 2		Author		RMS from PSO 1	RMS from PSO 2	RMS Author
	N _d	λ	N _d	λ	N _d	λ			
1	93	8.00E-08	93	8.00E-08	300	6.92E-04	0.003988563	0.003988563	0.006770457
1.2	77	8.00E-08	77	8.00E-08	250	9.87E-04	0.00329277	0.00329277	0.005512807
1.4	67	8.00E-08	67	8.00E-08	214	1.34E-03	0.002654227	0.002654227	0.005007339
1.6	115	0.003261	57	8.00E-08	188	1.72E-03	0.001782679	0.002035172	0.004242507
1.8	100	0.003889	51	8.00E-08	167	2.17E-03	0.001527552	0.001820522	0.003715045
2	94	0.004609	45	8.00E-08	150	2.67E-03	0.001235527	0.001423093	0.003204909
2.2	85	0.006005	41	8.00E-08	136	3.24E-03	0.000995412	0.001309097	0.002759043
2.4	77	0.007137	37	8.00E-08	125	3.81E-03	0.000718396	0.000943854	0.002422299
2.6	374	0.011027	33	8.00E-08	115	4.49E-03	0.000840902	0.000785755	0.002114004
2.8	502	0.012659	31	8.00E-08	107	5.16E-03	0.000706766	0.000664588	0.001865678
3	61	0.011995	27	8.00E-08	100	5.89E-03	0.000436133	0.000598457	0.001654736
3.2	410	0.016256	27	8.00E-08	94	6.65E-03	0.000595004	0.000560867	0.00146848
9	17	0.102629	7	8.00E-08	33	5.12E-02	2.87E-05	6.11E-05	0.000157943
9.2	15	0.115794	7	8.00E-08	33	5.12E-02	2.69E-05	5.39E-05	0.000160957
9.4	15	0.123555	7	8.00E-08	32	5.44E-02	2.58E-05	4.86E-05	0.000150892
9.6	15	0.123515	7	8.00E-08	31	5.78E-02	2.40E-05	4.51E-05	0.000137175
9.8	15	0.124004	7	8.00E-08	31	5.78E-02	2.37E-05	4.26E-05	0.000139664
10	15	0.131026	7	8.00E-08	30	6.17E-02	2.21E-05	4.06E-05	0.000130083
Average RMS							0.000493533	0.000565491	0.001202931
Max RMS							0.003988563	0.003988563	0.006770457
Min RMS							2.20995E-05	4.06192E-05	0.000130083

免控制點演算法之開發

$$\text{Min}(u) = 0.5 \left\| Lu - (\Delta t)^2 L_a \bar{a} \right\|_2^2 + \frac{\lambda^2}{2} \|u\|_2^2$$

Interval Time	0.005								
Target frequency	PSO 1		PSO 2		Author		RMS from PSO 1	RMS from PSO 2	RMS from Author
	N _d	λ	N _d	λ	N _d	λ			
1	187	8.00E-08	187	8.00E-08	600	1.79E-04	0.003843501	0.003843501	0.006681562
1.2	159	8.00E-08	159	8.00E-08	500	2.55E-04	0.003153338	0.003153338	0.005434226
1.4	271	0.000638	135	8.00E-08	429	3.44E-04	0.002424345	0.002526188	0.004931764
1.6	115	8.00E-08	115	8.00E-08	375	4.48E-04	0.001935053	0.001935053	0.004143461
1.8	103	8.00E-08	103	8.00E-08	333	5.64E-04	0.001722011	0.001722011	0.00361553
2	169	0.001177	91	8.00E-08	300	6.92E-04	0.001252143	0.001338621	0.003131288
2.2	157	0.001728	83	8.00E-08	273	8.31E-04	0.001169931	0.001197543	0.002713367
2.4	152	0.001769	73	8.00E-08	250	9.87E-04	0.000717672	0.000863435	0.002363597
2.6	143	0.002284	67	8.00E-08	231	1.15E-03	0.000594549	0.000731321	0.002081507
2.8	126	0.002566	61	8.00E-08	214	1.34E-03	0.00048538	0.000599901	0.001818934
3	129	0.003183	57	8.00E-08	200	1.53E-03	0.000460008	0.000543369	0.00161461
3.2	55	0.000326	53	8.00E-08	188	1.72E-03	0.000511355	0.000516115	0.001432304
9	37	0.026139	17	8.00E-08	67	1.29E-02	2.60E-05	4.35E-05	0.000152225
9.2	36	0.027433	17	8.00E-08	65	1.37E-02	2.54E-05	4.28E-05	0.000140634
9.4	36	0.029758	15	8.00E-08	64	1.41E-02	2.74E-05	4.20E-05	0.000136916
9.6	33	0.029948	15	8.00E-08	63	1.45E-02	2.29E-05	3.84E-05	0.000132077
9.8	32	0.03151	15	8.00E-08	61	1.55E-02	2.22E-05	3.59E-05	0.00012086
10	31	0.032502	15	8.00E-08	60	1.60E-02	2.14E-05	3.42E-05	0.000117127
Average RMS							0.000481066	0.000523278	0.001171728
Max RMS							0.003843501	0.003843501	0.006681562
Min RMS							2.13632E-05	3.41962E-05	0.000117127

免控制點演算法之開發



$$\lambda = 8 \times 10^{-8}$$

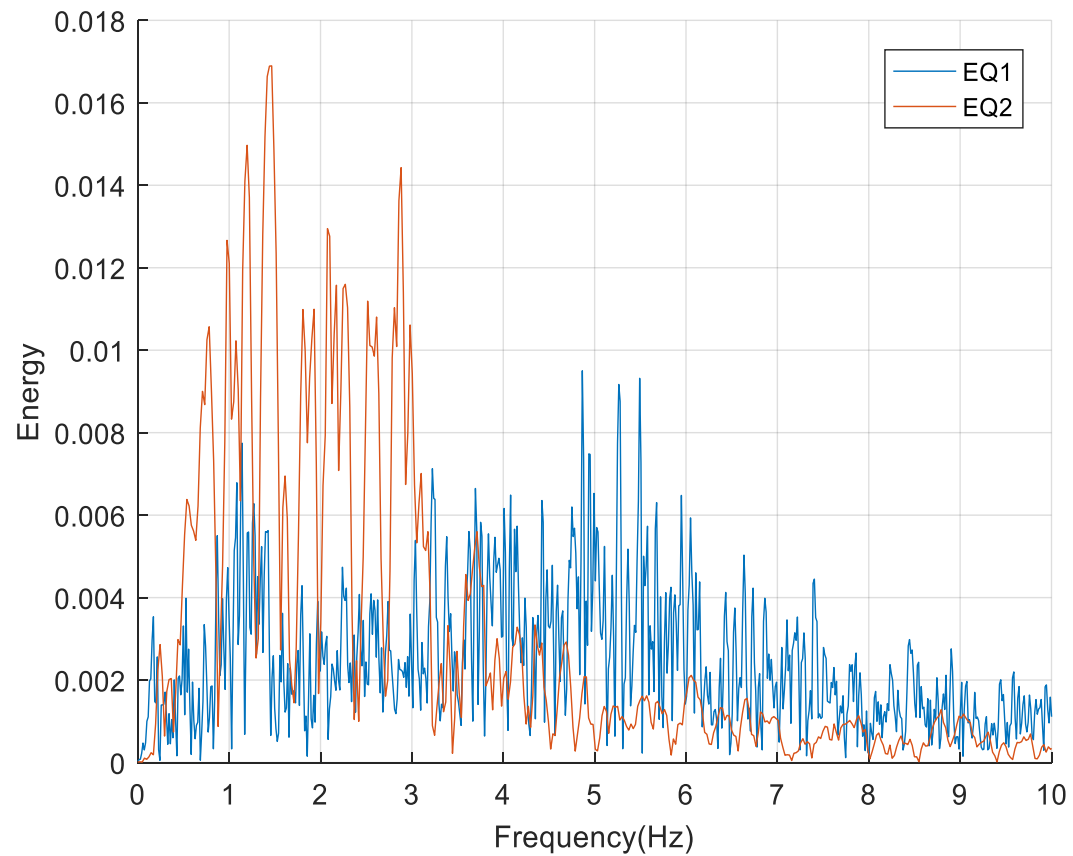
$$N_d = \frac{1}{\Delta t} f_T^{-1.433\Delta t^{0.0471}}$$

N_d 為視窗大小

Δt 為取樣時間間隔

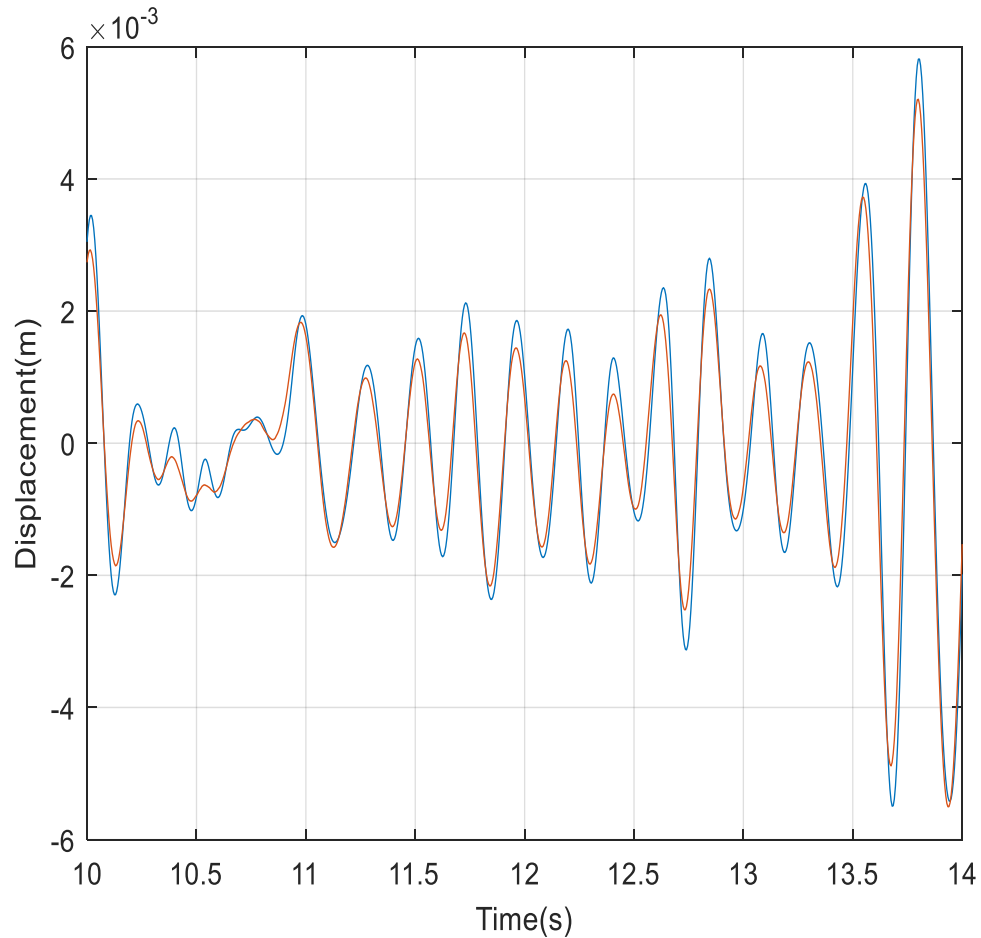
f_T 為水保設施基本振動頻率

免控制點演算法之開發

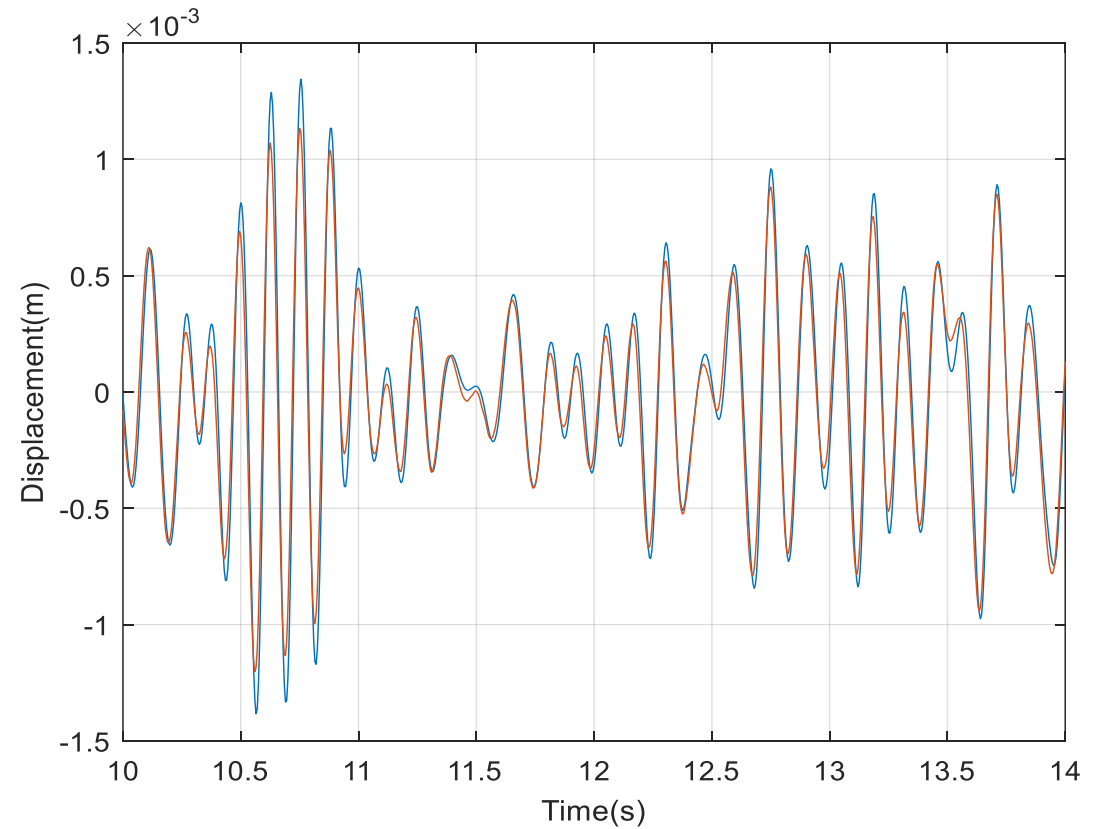


FFT of EQ1 and EQ2

免控制點演算法之開發

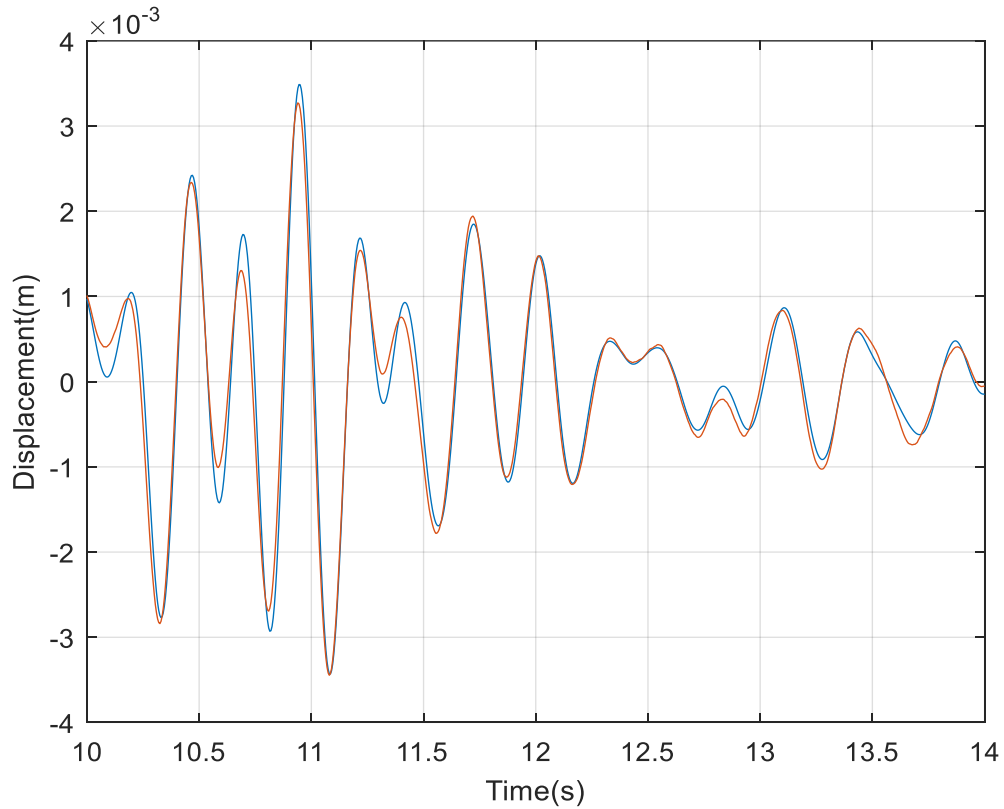


Predicted and Exact displacement of 4Hz
SDOF structure excited by EQ1

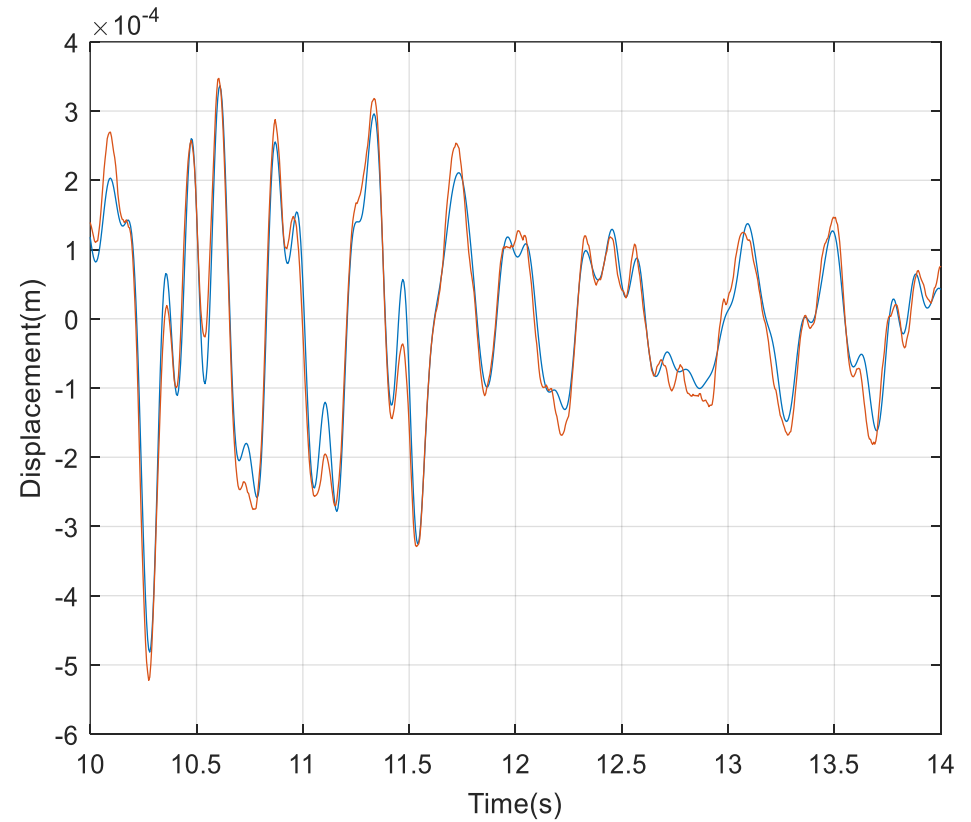


Predicted and Exact displacement of 8Hz
SDOF structure excited by EQ1

免控制點演算法之開發

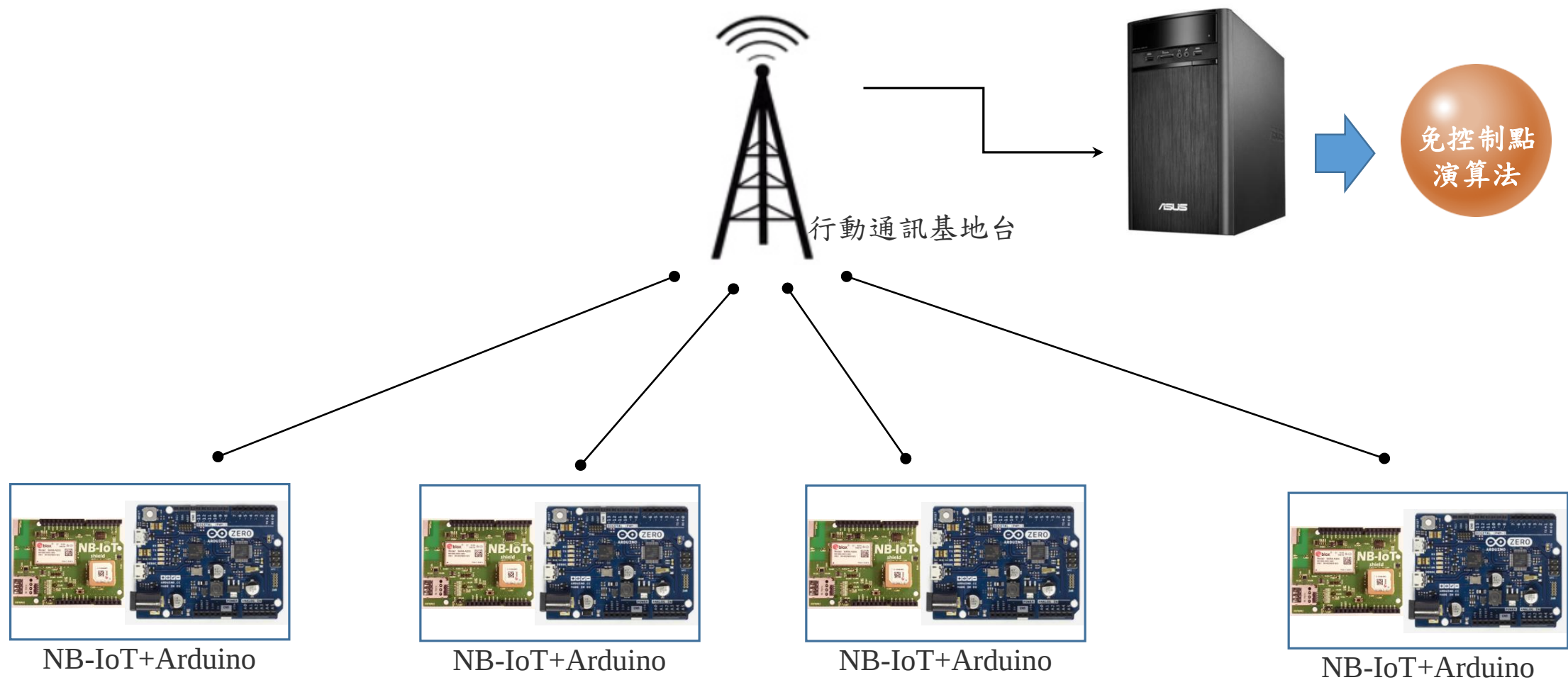


Predicted and Exact displacement of 4Hz
SDOF structure excited by EQ2

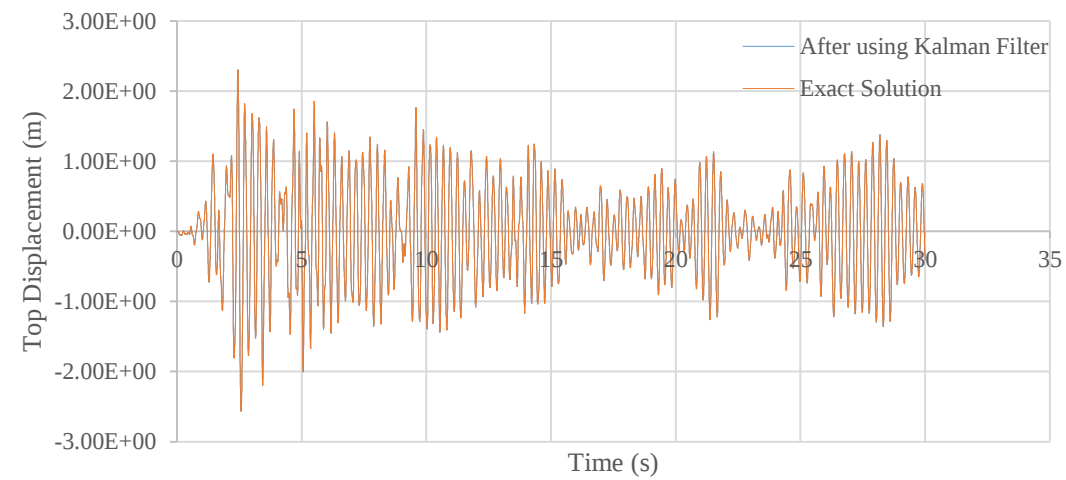
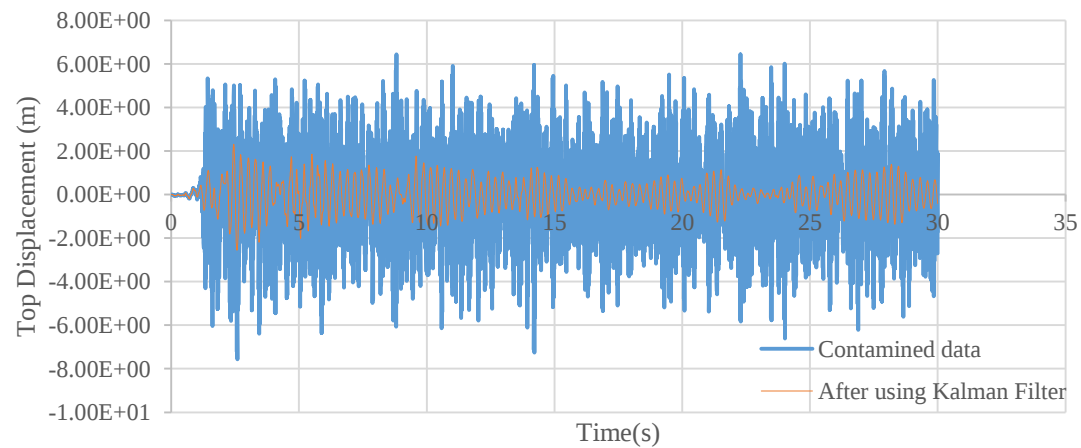
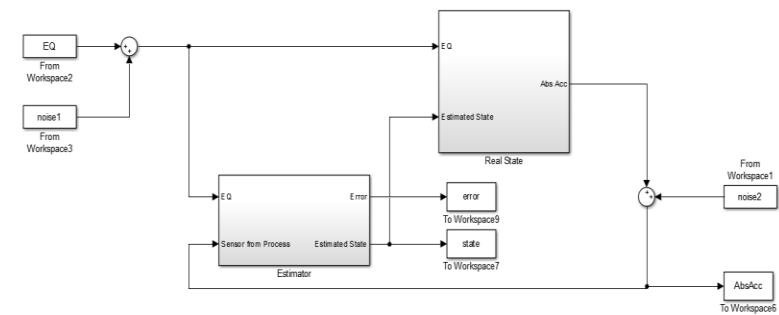
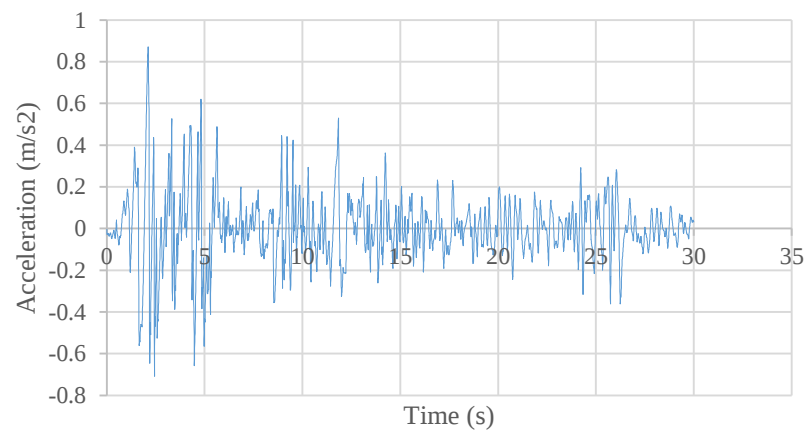
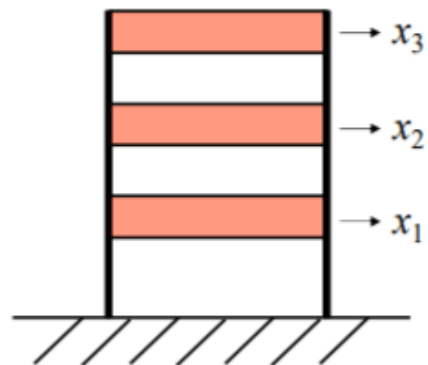


Predicted and Exact displacement of 8Hz
SDOF structure excited by EQ2

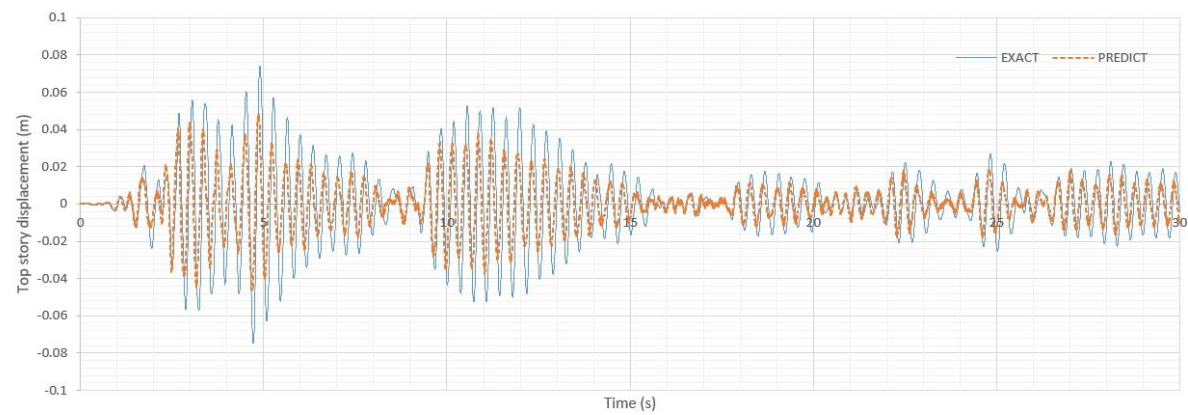
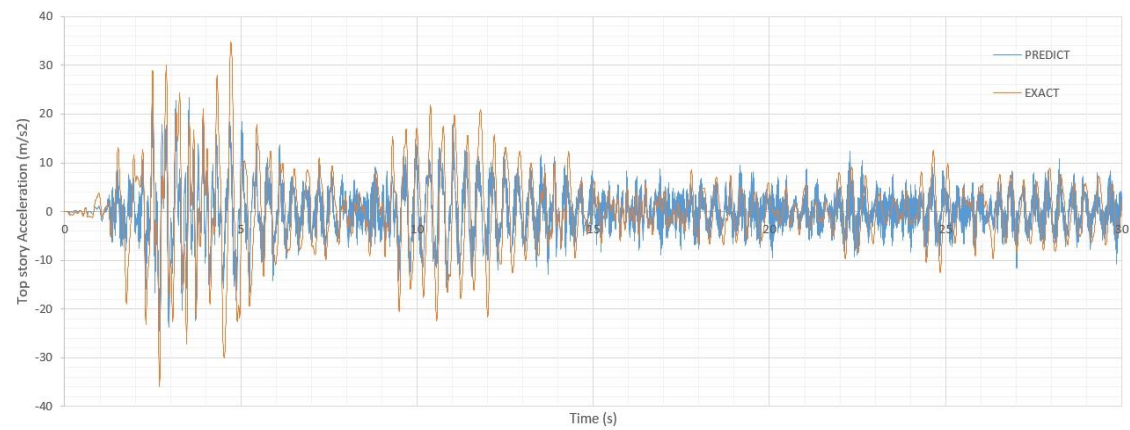
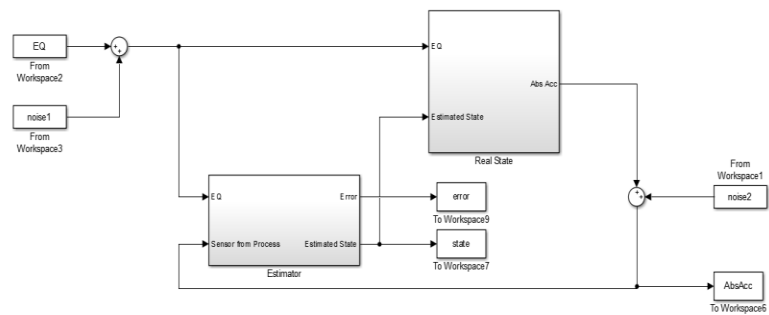
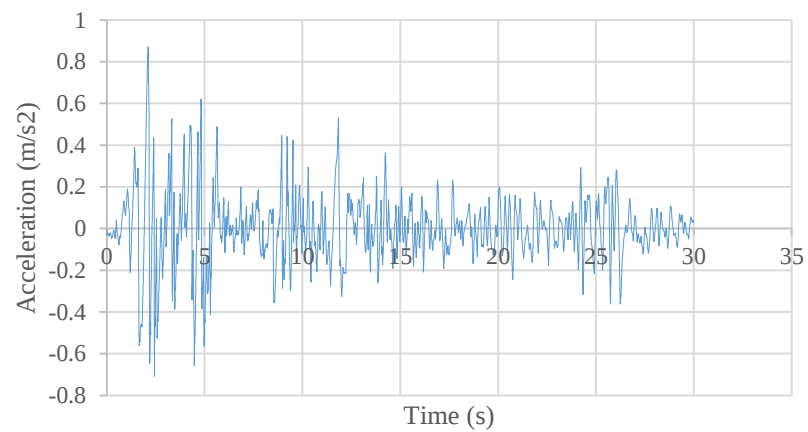
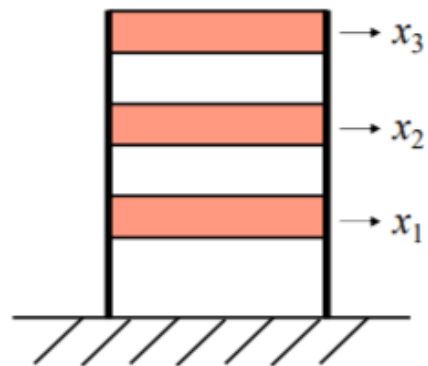
重建位移之驗證-室外試驗



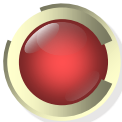
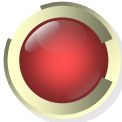
討論



討論



結論

-  利用數值模型、室內小型實體模型與室外無線通訊進行驗證
-  結合智慧感應器與NB-IoT技術提供水保設施的初步安全評估參考，包含：
 - (1)智慧感應器：Arduino板、加速度計
 - (2)NB-IoT環境的開發：IoT硬體(SIM7000E)
無線通訊協定(TCP、UDP)
 - (3)位移重建：加速度值轉換成位移演算法

結論

- 平時: 靜態反應如傾斜角度應可作為初步評估的指標
- 震時: 動態反映如位移可提供進一步的設施狀態
- 利用最佳化結果，提出更佳的位移重建公式

$$\lambda = 8 \times 10^{-8}$$

$$N_d = \frac{1}{\Delta t} f_T^{-1.433\Delta t^{0.0471}}$$

簡報完畢，謝謝聆聽！
Thanks for your attention