

動態交通資訊之技術開發
與應用研究（二）
— 車輛偵測器研發之功能擴充

— 微波式偵測器 —
期末報告

計畫主持人：韓復華 教授
莊晴光 教授

2008/12/10

1

簡報大綱

- 偵測器硬體
- 偵測器軟體
 - 交通參數演算法
 - 使用者介面
- 軟體實測分析
- 結論與建議

2

偵測器硬體

3

本期改善項目

- 偵測器硬體
 - 微波RF系統信號處理之CMOS單晶片整合
 - 偵測器各組成模組件之銜接與整合
 - 偵測器輕量化、省電化、微小化設計與發展

4

偵測器硬體

- 雙陣列天線
- CMOS 單晶RF 信號處理晶片
- 波形產生器
- 中頻濾波、放大器
- 穩壓電源供應器
- 數位信號處理器

5

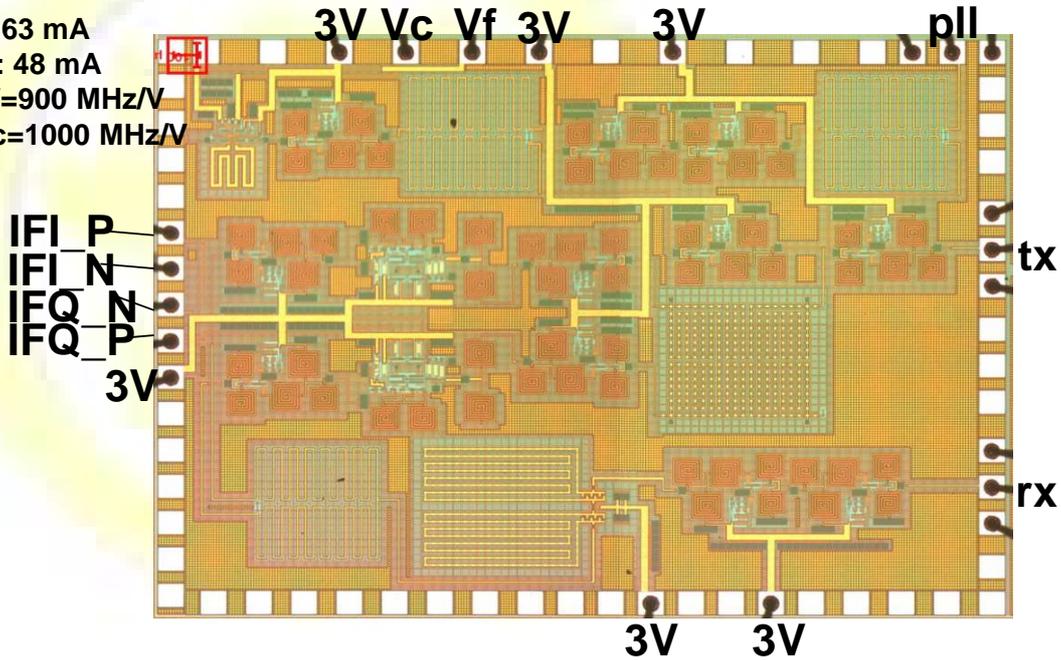
本期偵測器硬體發展重要里程碑

- 四月下旬-CMOS RF信號模組確認
 - 移入CMOS RF於雷達實體中並確認80 公尺偵測距離
- 九月中旬-所有偵測器模組(數位信號處理器除外)初步組裝完成
- 十一月底-調校偵測器達成需要的感度
 - 原始版偵測器:實體路測中
 - 輕量版偵測器:只俱原始數位信號處理能力

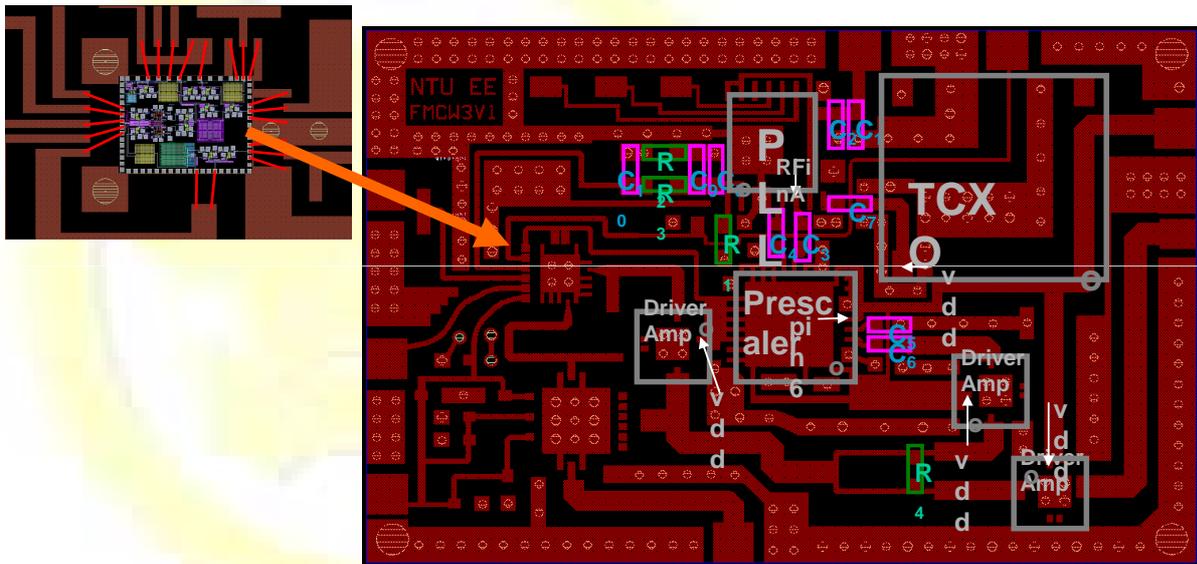
6

CMOS RF Sensor Chip: including all RF signal processing blocks

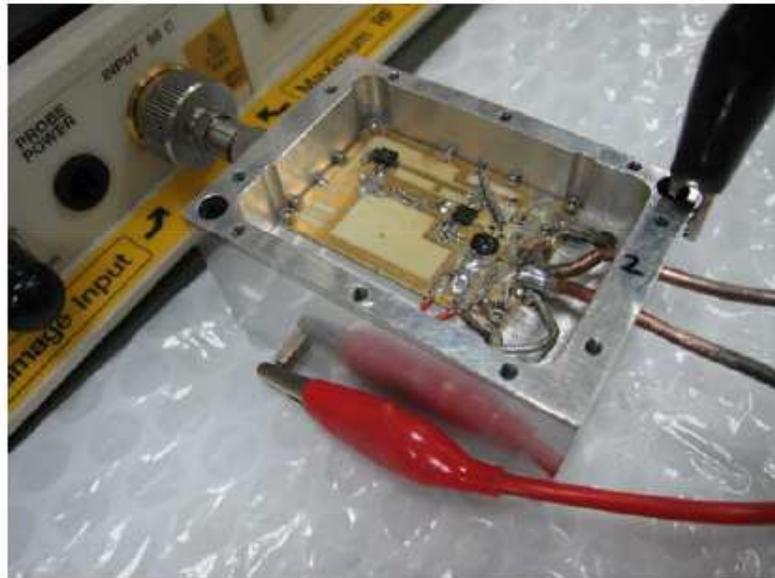
VDD: 3 V
 TX_IDD: 63 mA
 RX_IDD: 48 mA
 Kvco_vf = 900 MHz/V
 Kvco_vc = 1000 MHz/V



CMOS RF Sensor Module



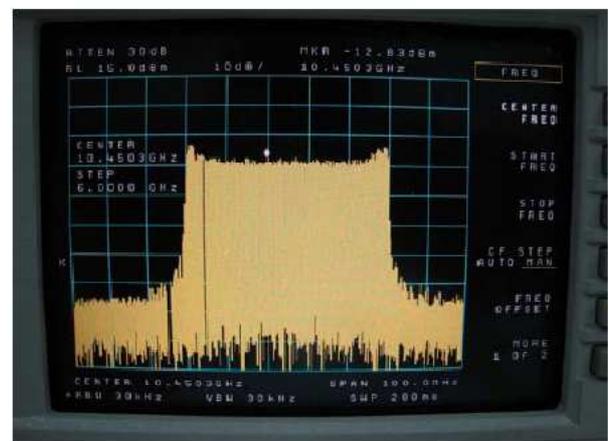
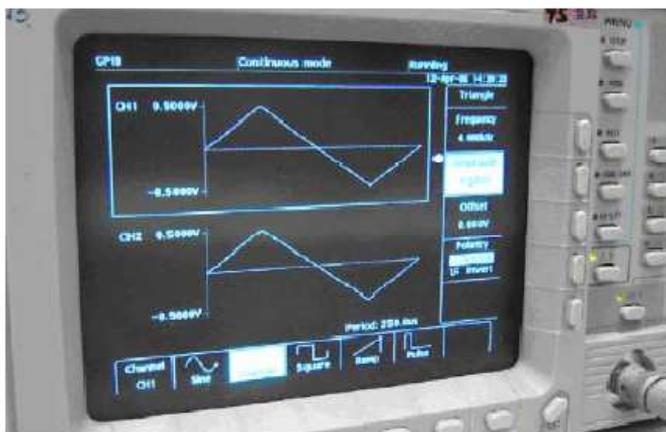
Laboratory Test of CMOS RF Sensor Module



Module 2

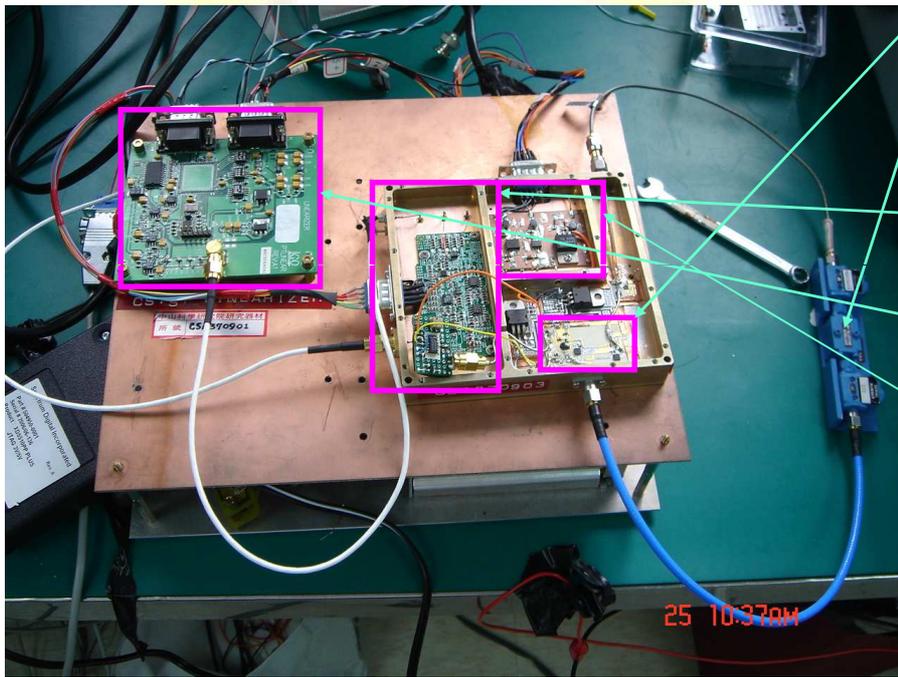
9

偵測器輸出信號頻譜



10

CMOS RF信號模組確認



cmos RF sensor module

delay line test: distance measurement

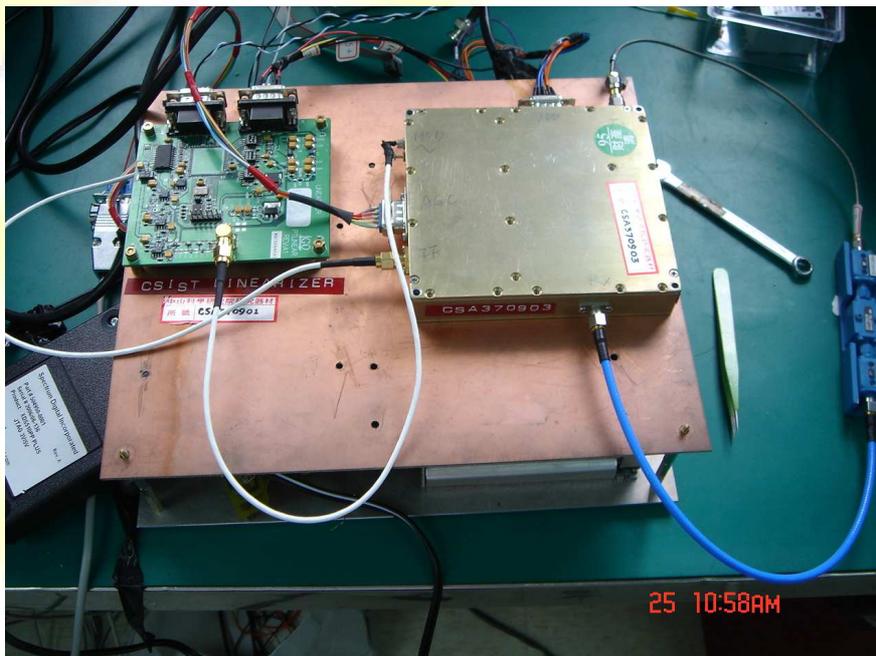
IF filtering and AGC amplifier

DSP board

regulated DC sources

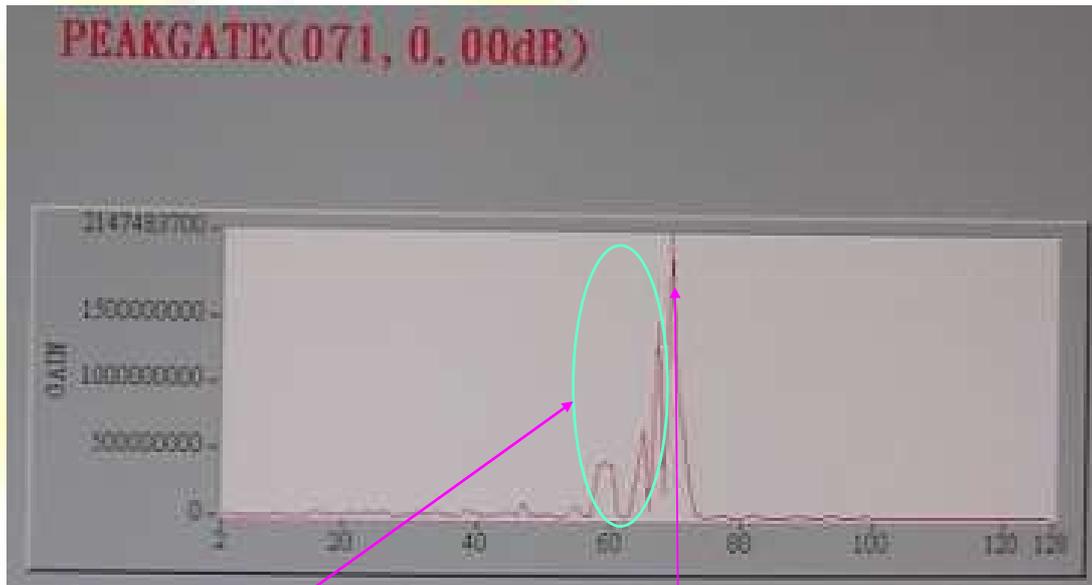
11

完整之偵測器雷達波測試



12

工作桌偵測器實體測試結果



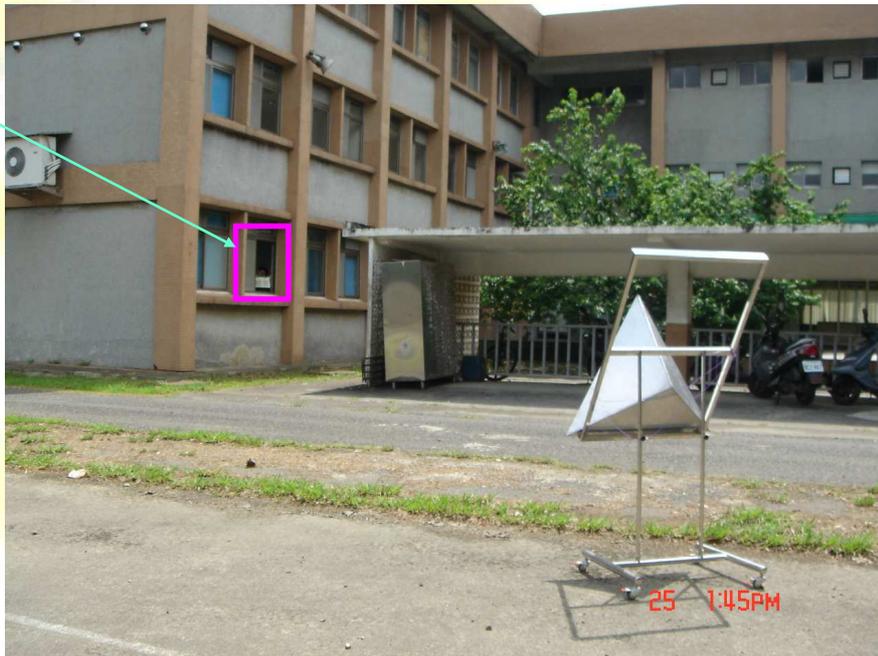
典型的雜波-因延遲線而生

校正後為80公尺

13

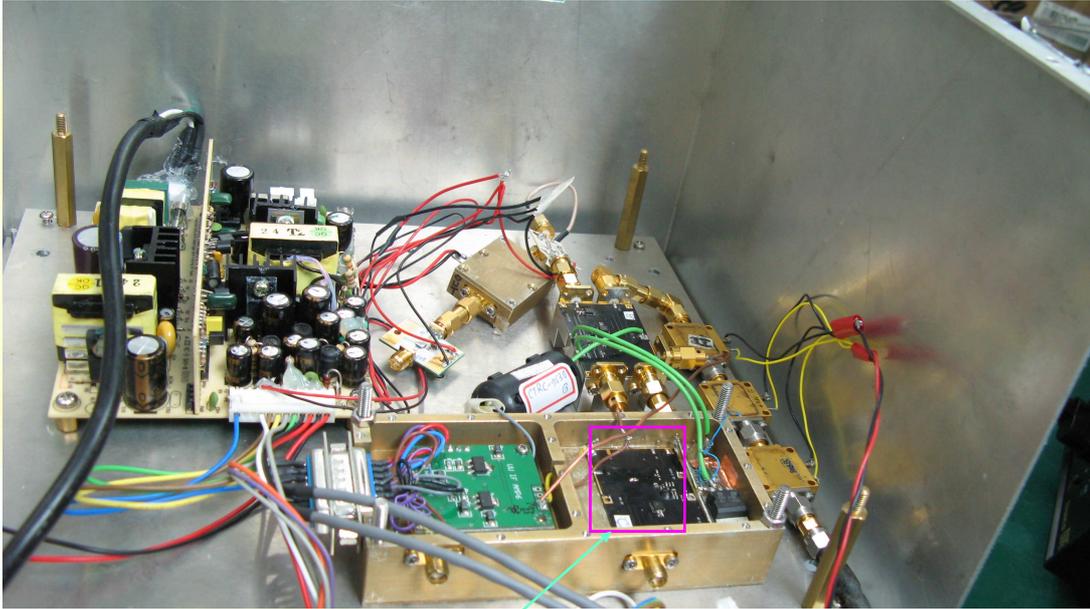
戶外實體測試

偵測器



14

原始版偵測器組裝圖

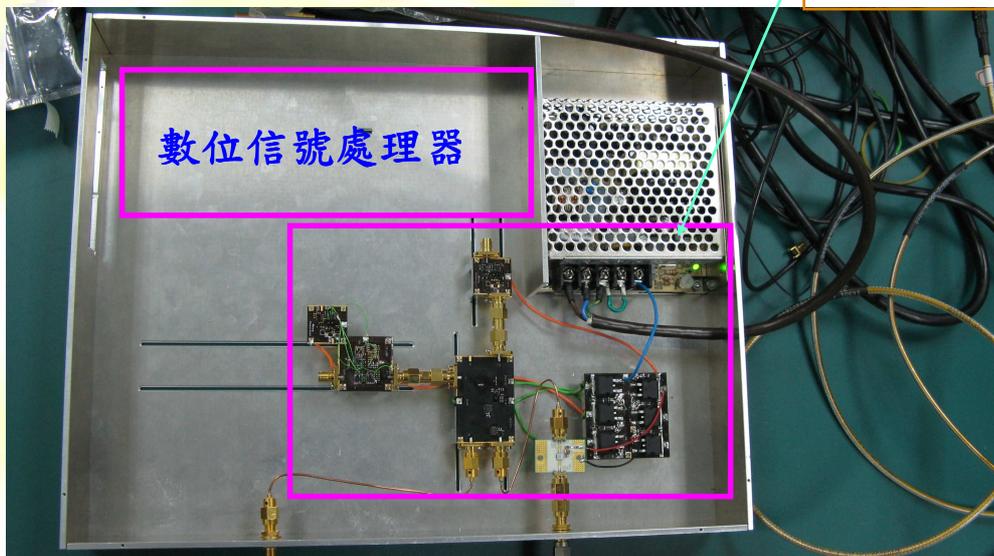


cmos RF sensor module

15

輕量版偵測器組裝圖

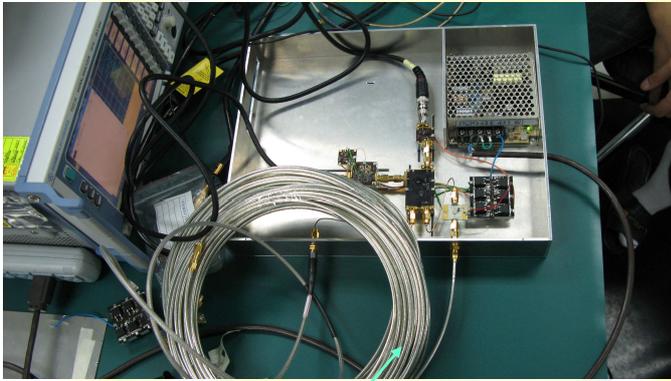
偵測器輕量化、省電化、微小化設計



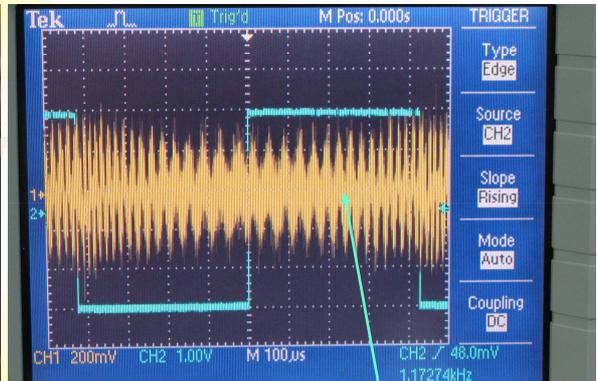
數位信號處理器

16

輕量版偵測器測試



40公尺同軸線 66 dB 損耗測試

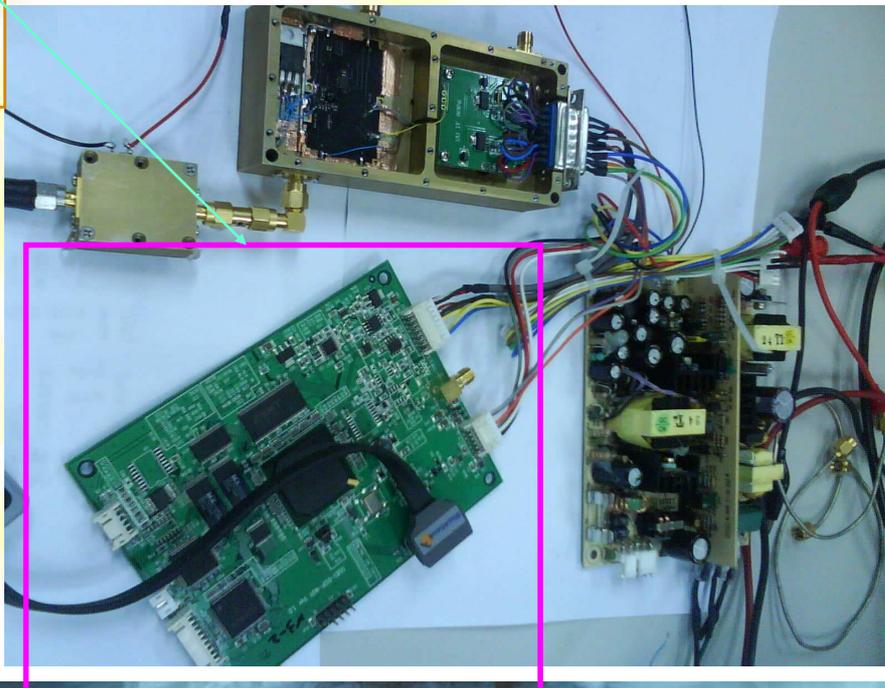


解調信號成功駕馭雜訊之上

17

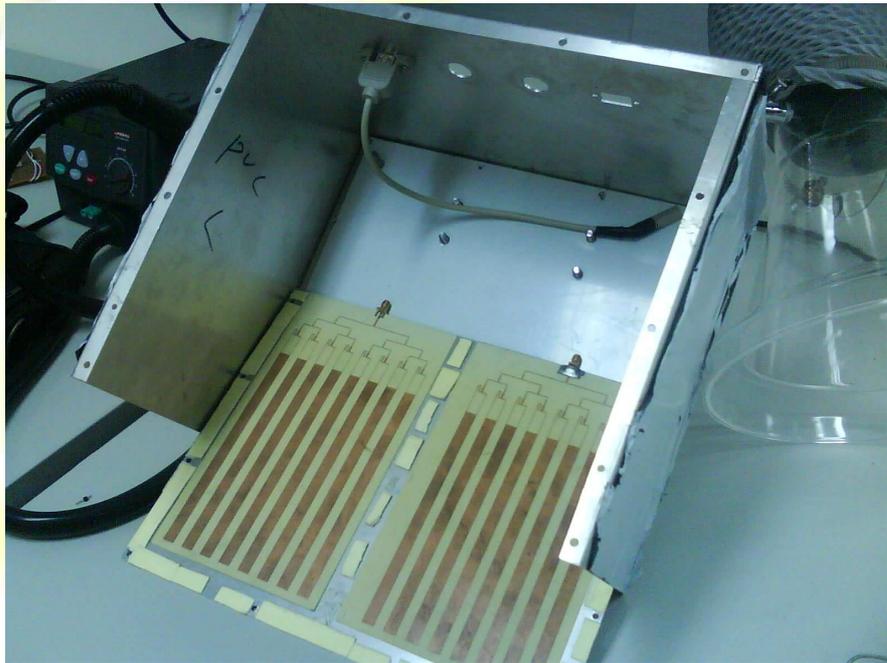
原始版偵測器拆解

交大研發團隊-數位信號處理器



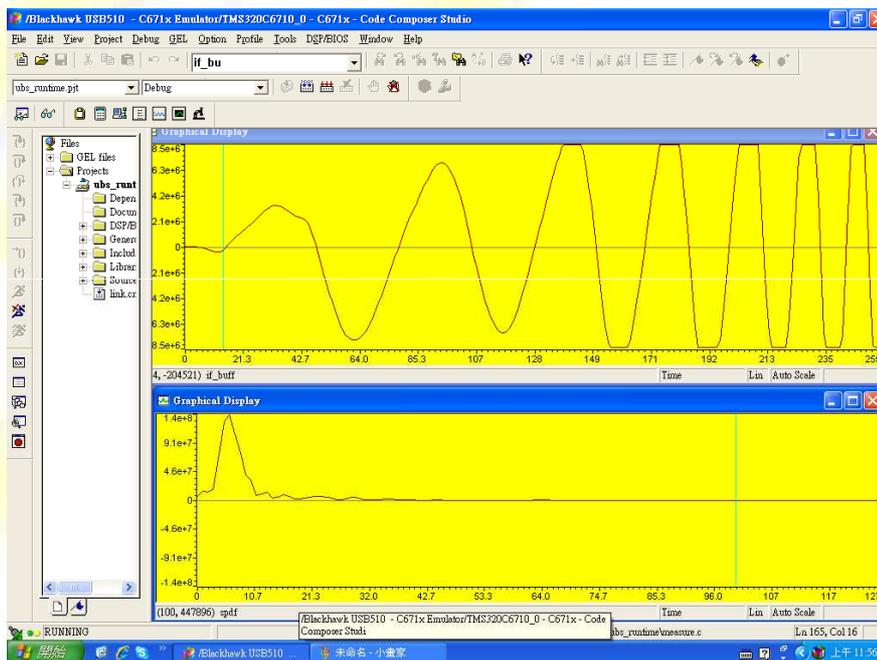
18

原始版偵測器雙天線陣列



19

交大信號處理器信號-短距偵測

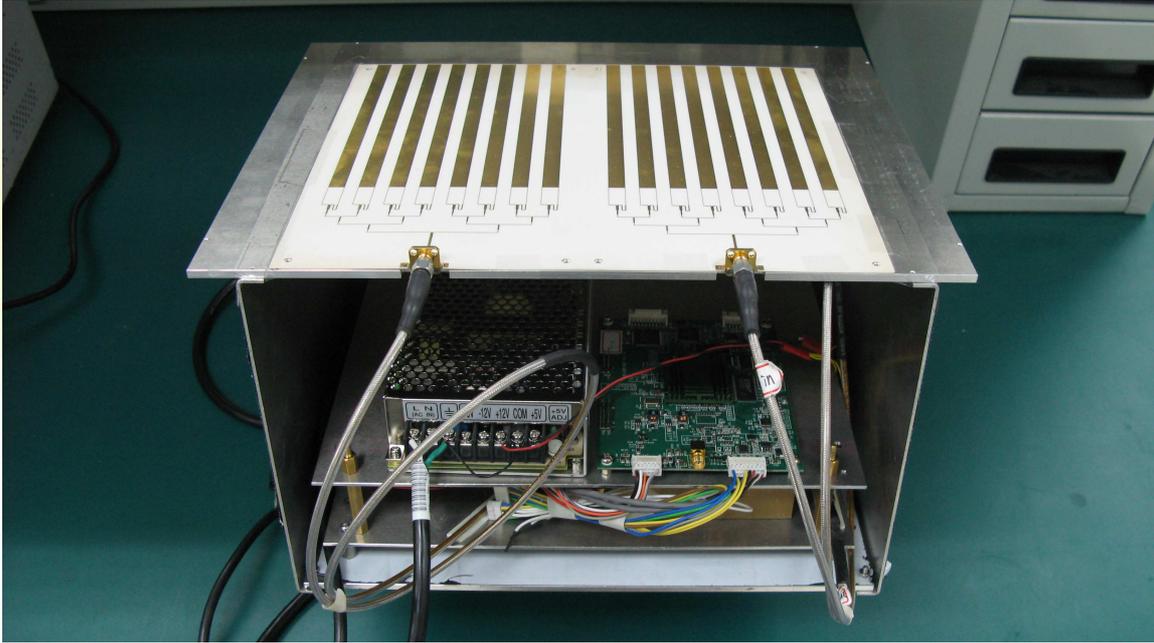


時域

頻域

20

完整原始版偵測器



21

完整原始版偵測器測試



解調信號成功駕馭雜訊之上

40公尺同軸線 66 dB 損耗測試

22

偵測器路測



23

偵測器軟體

24

偵測器軟體

- 偵測器軟體
 - 交通參數演算法
 - 車道數判斷
 - 車道範圍
 - 車道有無車判斷
 - 車種辨識
 - 車速計算
 - 使用者介面

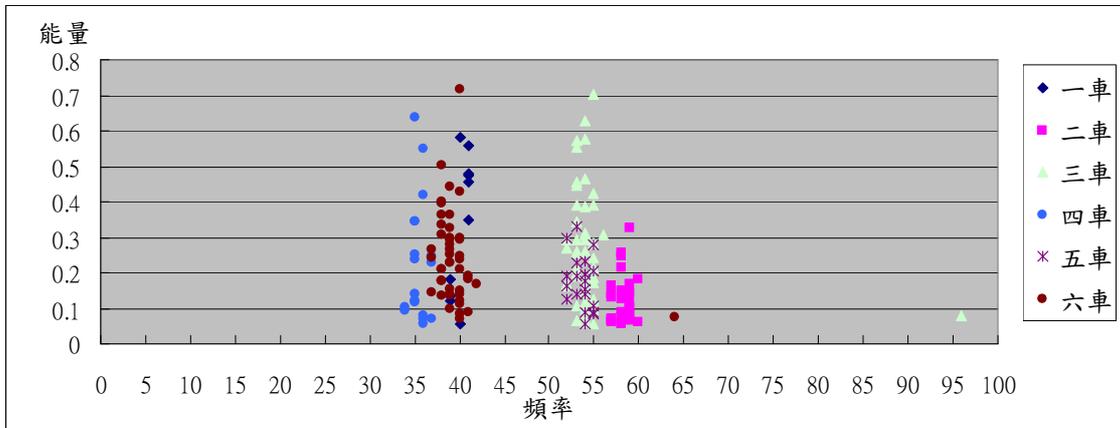
25

車道數判斷(1/2)

- 車道數判斷
 - 偵測器在上線使用前，須先架設於路旁並蒐集足量的樣本，以判斷車道數。
 - 演算法在車輛進出偵測迴圈時，累計能量最大值落點，並以此為特徵值作為計算車道數依據。

26

車道數判斷(2/2) - 離線資料分析



- 以四車道，六台車輛為例。圖中可看出車輛最大值均坐落於相對應之車道範圍內，以此可作為分辨車道數之依據。

27

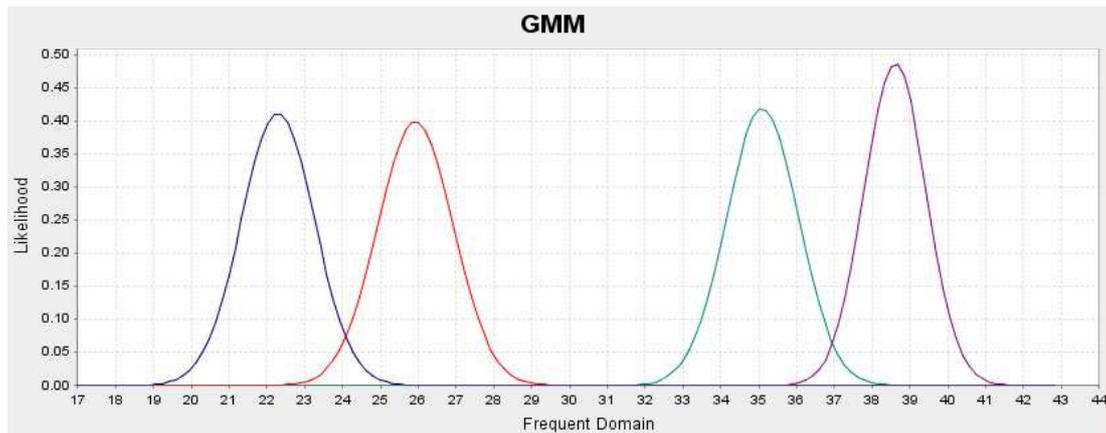
偵測器軟體

- 偵測器軟體
 - 交通參數演算法
 - 車道數判斷
 - 車道範圍
 - 車道有無車判斷
 - 車種辨識
 - 車速計算
 - 使用者介面

28

車道範圍

- 結合GMM與EM演算法，學習車道分群之間的邊界參數值。



29

偵測器軟體

- 偵測器軟體
 - 交通參數演算法
 - 車道數判斷
 - 車道範圍
 - 車道有無車判斷
 - 車種辨識
 - 車速計算
 - 使用者介面

30

車道有無車(1/2)

- 前期研究單純以設定訊號強度門檻，判斷有無車輛進入。
 - 缺點：1. 機車訊號較為微弱，導致與雜訊難以區分。
 - 2. 難以設定有無車訊號強度門檻。
- 本期研究利用車輛訊號的振動情形，改以在固定時間窗之下，檢查波形訊號之變化總和，作為判斷有無車輛進入之機制。
 - 加強機車之訊號抓取能力。

31

車道有無車(2/2) - 離線資料測試

- 第五車道(含機車車流)之車輛數抓取能力，較前期改善。

車輛數抓取準確率結果(前期方法)

| 車道 | 實際車輛總數 | 實測車輛總數 | 車輛總數正確率(%) |
|----|--------|--------|------------|
| 三 | 102 | 109 | 93.14% |
| 四 | 145 | 134 | 92.41% |
| 五 | 181 | 237 | 69.06% |

車輛數抓取準確率結果(本期方法)

| 車道 | 實際車輛總數 | 實測車輛總數 | 車輛總數正確率(%) |
|----|--------|--------|------------|
| 三 | 102 | 105 | 97.06% |
| 四 | 145 | 142 | 97.93% |
| 五 | 181 | 203 | 87.85% |

32

偵測器軟體

- 偵測器軟體
 - 交通參數演算法
 - 車道數判斷
 - 車道範圍
 - 車道有無車判斷
 - 車種辨識
 - 車速計算
 - 使用者介面

33

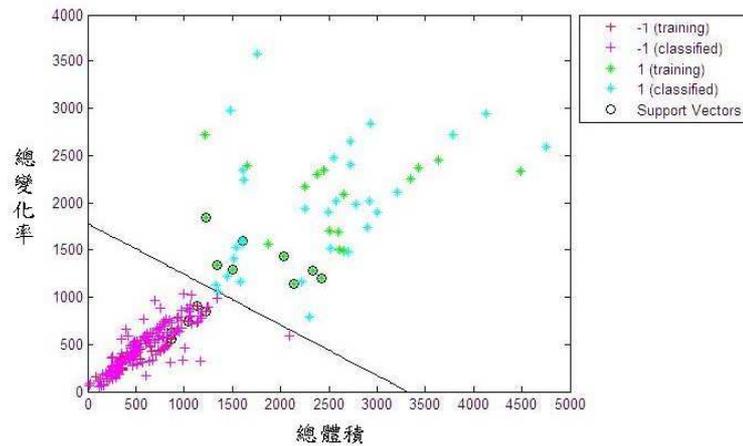
車種辨識(1/2)

- 前期研究以車輛波形平均截面積、總體積與總能量變化，作為車種辨別特徵。
 - 採取二階段式流程：
 - Step 1.** 以平均截面積判斷進入車輛是為機車或小型車，若非機車，進行 Step 2。
 - Step 2.** 以總體積與總能量變化率，判斷是為小型車或大型車。
 - 缺點：波形之特徵邊界為人工調整。
- 本期研究以SVM方法，改善自動學習車種特徵邊界之功能。

34

車種辨識(2/2) - 離線資料測試

- 以大、小型車各25輛之特徵資料所學習出之特徵邊界，測試150筆車輛波形樣本之車種辨識結果，準確率可達95%。



35

偵測器軟體

- 偵測器軟體
 - 交通參數演算法
 - 車道數判斷
 - 車道範圍
 - 車道有無車判斷
 - 車種辨識
 - 車速計算
 - 使用者介面

36

車速計算(1/3)

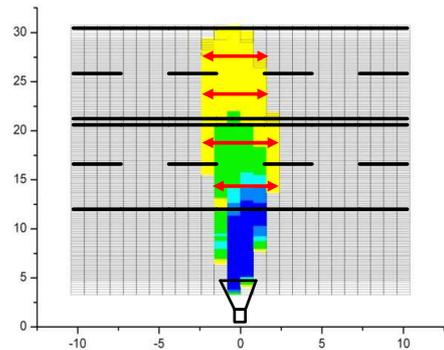
• 前期演算法

– 虛擬迴圈長度計算

- 基於天線場形與雷達公式

$$P_{\theta_i} \propto \frac{G_{\theta_i}^2}{R_{\theta_i}^4}$$

- 給定高度、角度、相對強度門檻值
- 可以得到相對應的偵測範圍



37

車速計算(2/3)

• 本期改善

- 由於前期演算法中假設雷達截面積(RCS)為常數值，與真實狀況不符
- 故本期將針對RCS對虛擬迴圈長度之影響加以改善
- 考慮訊號強度最大值
 - 虛擬迴圈長度 \propto 雷達截面積(RCS)
 - 而RCS與訊號強度最大值相關
 - 故虛擬迴圈長度與訊號強度最大值相關

38

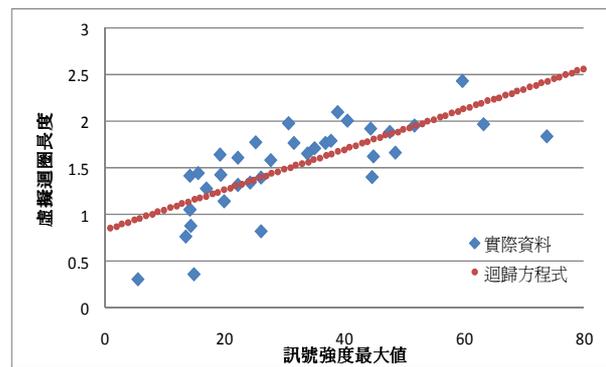
車速計算(3/3) - 離線資料測試

• 迴歸方程式

- 實際收集速度資料反推所需虛擬迴圈長度
- 再與訊號強度最大值產生迴歸方程式

$$\hat{D} = 0.0216 \cdot v_{MAX} + 0.8345$$

- 測試資料顯示，
準確率由83.31%
提升至88.29%



39

偵測器軟體

• 偵測器軟體

- 交通參數演算法
 - 車道數判斷
 - 車道範圍
 - 車道有無車判斷
 - 車種辨識
 - 車速計算

- 使用者介面

40

使用者介面(1/4)

- 使用者介面

沿用上期之使用者介面，修正與更新目標如下：

- 加強使用者介面參數調校功能
- 增加偵測器狀態監控功能

41

使用者介面(2/4)

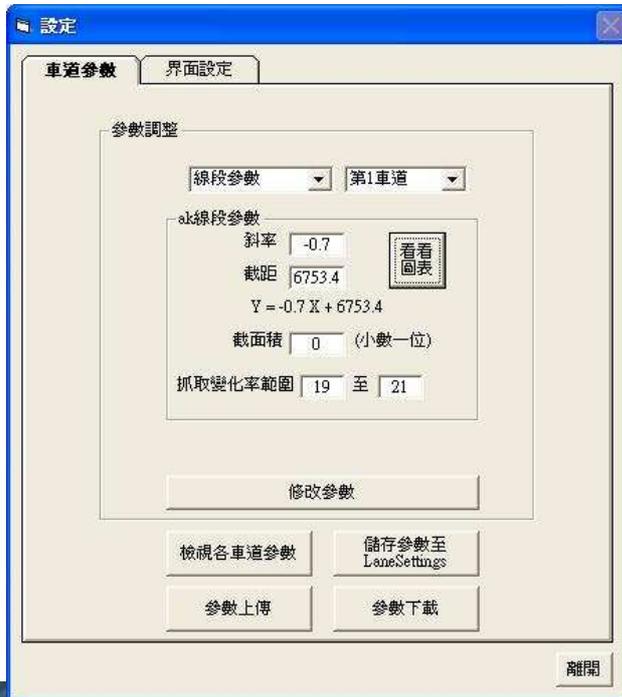
功能列表



即時資訊介面

42

使用者介面(3/4)

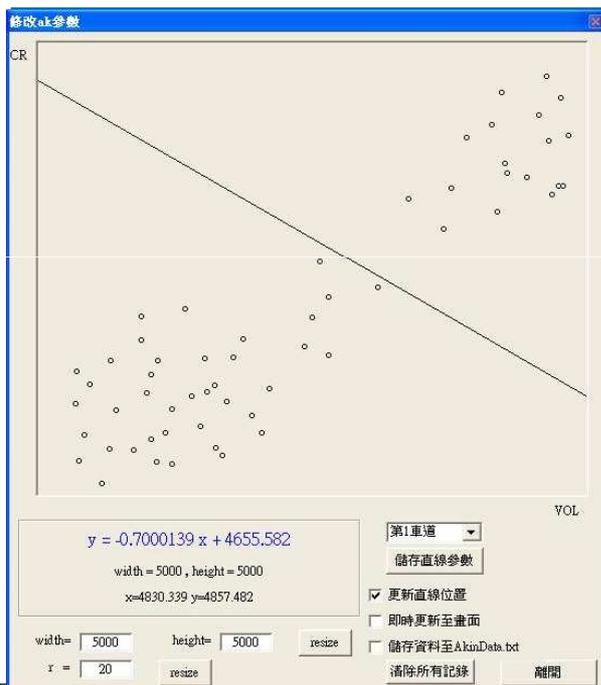


各車道參數的修改介面

參數的儲存、上傳、下載與儲存等功能

43

使用者介面(4/4)



車種分群介面，使用者可依循所記錄的車種特徵資料來調整直線參數

44

軟體實測分析

車輛數&車道判斷實測分析(1/2) - 市區道路

- 實測的車輛總數會略少於實際的車輛總數
 - 因某些車輛速度較快
 - 或車身之訊號反射長度較短。
- 車道判斷錯誤
 - 因車輛行駛於兩車道中間。
 - 或車輛於行進間變換車道。

市區道路車輛數與車道判斷實測結果

| 車道 | 實際車輛總數 | 實測車輛總數 | 車道判斷錯誤 | 車輛總數正確率 | 車道判斷正確率 |
|----|--------|--------|--------|---------|---------|
| 一 | 105 | 88 | 21 | 83.81% | 76.14% |
| 二 | 128 | 105 | 19 | 82.03% | 81.90% |
| 三 | 142 | 114 | 8 | 80.28% | 92.98% |
| 四 | 96 | 73 | 17 | 76.04% | 76.71% |

車輛數&車道判斷實測分析(2/2) - 快速公路

- 在快速道路車輛數抓取的部份，顯示本研究之車道有無車判斷方法，可處理車輛於高速行駛之情形。

快速道路車輛數與車道判斷實測結果

| 車道 | 實際車輛 總數 | 實測車輛 總數 | 車道判斷 錯誤 | 車輛總數 正確率 | 車道判斷 正確率 |
|----|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 一 | 436 | 391 | 2 | 89.68% | 99.49% |
| 二 | 988 | 1136 | 46 | 85.02% | 95.34% |
| 三 | 571 | 513 | 5 | 89.84% | 99.03% |



車種辨識實測分析(1/3) - 機車

- 本研究於有機車車流之車道上，實測通過偵測器之機車共55輛，測試結果
 - 抓取到53輛機車。
 - 其中有52輛車種辨識正確。
 - [測試影片](#)

車種辨識實測分析(2/3) - 市區道路

市區道路車種辨識實測結果

| 車種 | 車道 | 車輛數 | 車種辨識正確 | 正確率 |
|-----|----|-----|--------|---------|
| 小型車 | 一 | 79 | 63 | 79.75% |
| | 二 | 94 | 77 | 81.91% |
| | 三 | 107 | 92 | 85.98% |
| | 四 | 64 | 62 | 96.88% |
| 大型車 | 一 | 9 | 9 | 100.00% |
| | 二 | 11 | 8 | 72.73% |
| | 三 | 7 | 5 | 71.43% |
| | 四 | 9 | 7 | 77.78% |

[測試影片](#)

車種辨識實測分析(3/3) - 快速道路

快速道路車種辨識實測結果

| 車種 | 車道 | 車輛數 | 車種辨識正確 | 正確率 |
|-----|----|------|--------|---------|
| 小型車 | 一 | 248 | 214 | 86.29% |
| | 二 | 1052 | 929 | 88.31% |
| | 三 | 513 | 513 | 100.00% |
| 大型車 | 一 | 143 | 122 | 85.31% |
| | 二 | 84 | 61 | 72.62% |
| | 三 | N/A | N/A | N/A |

[測試影片](#)

車速實測分析-市區道路

| 第一車道 | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 | 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 |
| 1 | 54 | 50 | 93.24% | 16 | 63 | 51 | 80.15% |
| 2 | 78 | 55 | 71.25% | 17 | 49 | 63 | 71.60% |
| 3 | 64 | 39 | 61.25% | 18 | 90 | 109 | 78.12% |
| 4 | 53 | 75 | 59.35% | 19 | 56 | 40 | 71.35% |
| 5 | 64 | 44 | 68.01% | 20 | 47 | 45 | 95.44% |
| 6 | 54 | 49 | 91.28% | 21 | 78 | 83 | 92.64% |
| 7 | 70 | 61 | 87.03% | 22 | 80 | 57 | 70.62% |
| 8 | 81 | 98 | 79.09% | 23 | 79 | 78 | 98.40% |
| 9 | 62 | 40 | 65.48% | 24 | 80 | 102 | 72.22% |
| 10 | 71 | 70 | 98.12% | 25 | 55 | 33 | 60.25% |
| 11 | 47 | 29 | 61.23% | 26 | 61 | 47 | 77.90% |
| 12 | 67 | 64 | 96.03% | 27 | 65 | 59 | 90.77% |
| 13 | 75 | 66 | 88.61% | 28 | 64 | 42 | 65.71% |
| 14 | 66 | 46 | 69.28% | 29 | 92 | 75 | 81.65% |
| 15 | 53 | 77 | 54.65% | 30 | 58 | 46 | 79.26% |

平均準確率：77.67%

| 第二車道 | | | | | | | |
|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 | 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 |
| 1 | 54 | 71 | 67.16% | 16 | 57 | 48 | 85.52% |
| 2 | 72 | 85 | 82.48% | 17 | 48 | 31 | 63.33% |
| 3 | 66 | 58 | 88.52% | 18 | 86 | 101 | 82.66% |
| 4 | 62 | 79 | 72.04% | 19 | 63 | 60 | 91.34% |
| 5 | 59 | 58 | 98.93% | 20 | 48 | 33 | 69.76% |
| 6 | 53 | 41 | 77.45% | 21 | 76 | 91 | 78.99% |
| 7 | 70 | 46 | 65.33% | 22 | 85 | 104 | 77.22% |
| 8 | 77 | 64 | 82.14% | 23 | 78 | 59 | 74.89% |
| 9 | 58 | 57 | 97.85% | 24 | 75 | 77 | 96.96% |
| 10 | 76 | 94 | 76.69% | 25 | 47 | 35 | 74.43% |
| 11 | 49 | 52 | 92.56% | 26 | 62 | 52 | 84.13% |
| 12 | 69 | 48 | 70.20% | 27 | 63 | 42 | 66.12% |
| 13 | 66 | 43 | 65.54% | 28 | 65 | 56 | 85.80% |
| 14 | 68 | 89 | 68.33% | 29 | 84 | 60 | 71.18% |
| 15 | 58 | 37 | 63.05% | 30 | 64 | 46 | 71.68% |

平均準確率：78.08%

車速實測分析-高速公路

| 第一車道 | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 | 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 |
| 1 | 92 | 109 | 81.98% | 16 | 113 | 133 | 82.23% |
| 2 | 101 | 134 | 67.81% | 17 | 98 | 128 | 68.25% |
| 3 | 100 | 111 | 89.34% | 18 | 103 | 85 | 82.41% |
| 4 | 106 | 110 | 96.88% | 19 | 105 | 93 | 88.85% |
| 5 | 101 | 92 | 91.00% | 20 | 109 | 85 | 77.36% |
| 6 | 93 | 83 | 89.09% | 21 | 110 | 94 | 85.34% |
| 7 | 105 | 128 | 78.43% | 22 | 114 | 106 | 93.05% |
| 8 | 103 | 128 | 75.78% | 23 | 92 | 105 | 85.24% |
| 9 | 100 | 114 | 85.97% | 24 | 98 | 113 | 84.34% |
| 10 | 99 | 83 | 83.46% | 25 | 95 | 130 | 63.61% |
| 11 | 97 | 97 | 99.91% | 26 | 109 | 118 | 92.02% |
| 12 | 106 | 126 | 81.61% | 27 | 105 | 94 | 89.52% |
| 13 | 105 | 126 | 79.99% | 28 | 101 | 120 | 80.25% |
| 14 | 110 | 91 | 82.81% | 29 | 104 | 127 | 77.11% |
| 15 | 95 | 112 | 81.96% | 30 | 101 | 106 | 95.49% |
| 平均準確率：83.70% | | | | | | | |

| 第二車道 | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 | 有效樣本序 | 測速槍車速 | 偵測器車速 | 準確率 |
| 1 | 114 | 100 | 87.33% | 16 | 106 | 109 | 96.59% |
| 2 | 105 | 107 | 97.85% | 17 | 106 | 78 | 73.78% |
| 3 | 101 | 74 | 73.08% | 18 | 107 | 83 | 77.33% |
| 4 | 98 | 106 | 92.33% | 19 | 98 | 110 | 87.52% |
| 5 | 103 | 85 | 82.49% | 20 | 96 | 110 | 85.65% |
| 6 | 93 | 101 | 91.48% | 21 | 98 | 112 | 86.56% |
| 7 | 102 | 116 | 85.97% | 22 | 109 | 86 | 79.31% |
| 8 | 107 | 112 | 95.41% | 23 | 105 | 88 | 83.98% |
| 9 | 105 | 84 | 79.70% | 24 | 103 | 113 | 89.82% |
| 10 | 97 | 85 | 87.29% | 25 | 101 | 126 | 75.61% |
| 11 | 95 | 70 | 73.72% | 26 | 93 | 85 | 91.45% |
| 12 | 104 | 90 | 86.14% | 27 | 100 | 95 | 95.27% |
| 13 | 107 | 119 | 88.77% | 28 | 112 | 95 | 84.63% |
| 14 | 118 | 83 | 70.55% | 29 | 99 | 112 | 87.56% |
| 15 | 97 | 134 | 61.20% | 30 | 110 | 108 | 98.05% |
| 平均準確率：84.88% | | | | | | | |

結論與建議

結論

- 本研究開發第一個全由國人自製之雷達微波車輛偵測器
 - 硬體
 - 世界第一個RFIC
 - 國內自行開發之平面天線

結論

- 軟體
 - 國內自行開發之訊號處理軟體
 - 改善各項交通參數自動學習功能
 - 自動學習判斷車道數及各車道之頻率範圍
 - 加強機車訊號之抓取能力
 - 利用SVM方法自動學習車種特徵邊界
 - 使用者操作介面
 - 系統參數微調功能
 - 整合置於DSP中成為一獨立運作之embedded system

建議

- 未來硬體研究方向
 - 中頻、RF模組、DSP及天線整體整合最佳化
- 未來軟體研究方向
 - 低速的車種及車速偵測
 - 塞車的偵測
 - 多台並行車訊號交互干擾時車速及車種偵測

簡報結束
敬請指教!