

第七章 系統量測

為了瞭解本論文所提出的雷達系統的實際應用效能，做的實際測試可分為兩大類，第一類選用理想的目標物，如平面金屬板，圓形金屬柱…，第二類則實際到道路中模擬道路的狀況做靜態測試。

雷達系統可分兩種模式操作，一種為連續波模式 (CW mode)，另外一種為調變頻率連續波 (FMCW mode)。對於此兩種操作模式做功能上的驗證，而 FMCW 模式為其主要使用的功能，故針對此功能做較多的量測。

7-1 連續波模式測試

如圖 7-1-1 所示，連續波的雷達操作設定，調變電壓固定為一電壓值。在此使用 0V 的地。目標物為一移動之金屬平面，將中頻訊號接到示波器上觀測。將目標物在雷達前方來回揮動，觀察中頻訊號。

圖 7-1-3 為示波器上觀測到的結果，可分成三個部分，金屬物體接近時，雷達與目標物有相對速度，故可以解得一相對頻率。第二個部分為目標物停在雷達前方，因為雷達與目標物沒有相對速度，故解得的頻率直流訊號。第三個部分為目標物遠離雷達，一樣可以解得一個相對速度。

由都普勒原理可以知道，物體間的相對速度越快，所得到的頻率差距會越大，由於目標物在雷達前方來回揮動的速度差不多，故可以由示波器上看到，目標物前進與遠離時所偵測到的頻率差是差不多的。

下一個量測結果為目標物由靜止然後加速接近雷達，由圖 7-1-4 可以比較明顯的看到雷達偵測的頻率有變高的趨勢。速度越高時，雷達解得的頻率越高，但距離越遠時訊號強度越小，為此連續波模式操作的主要限制。

由於在實驗室中可以量測的目標物速度並無法準確計算，而相對速度較高的移動目標物量測並無實際量測，但就理論上而言相對速度較高的情況下亦可正常操作。在此僅作功能性的驗證。

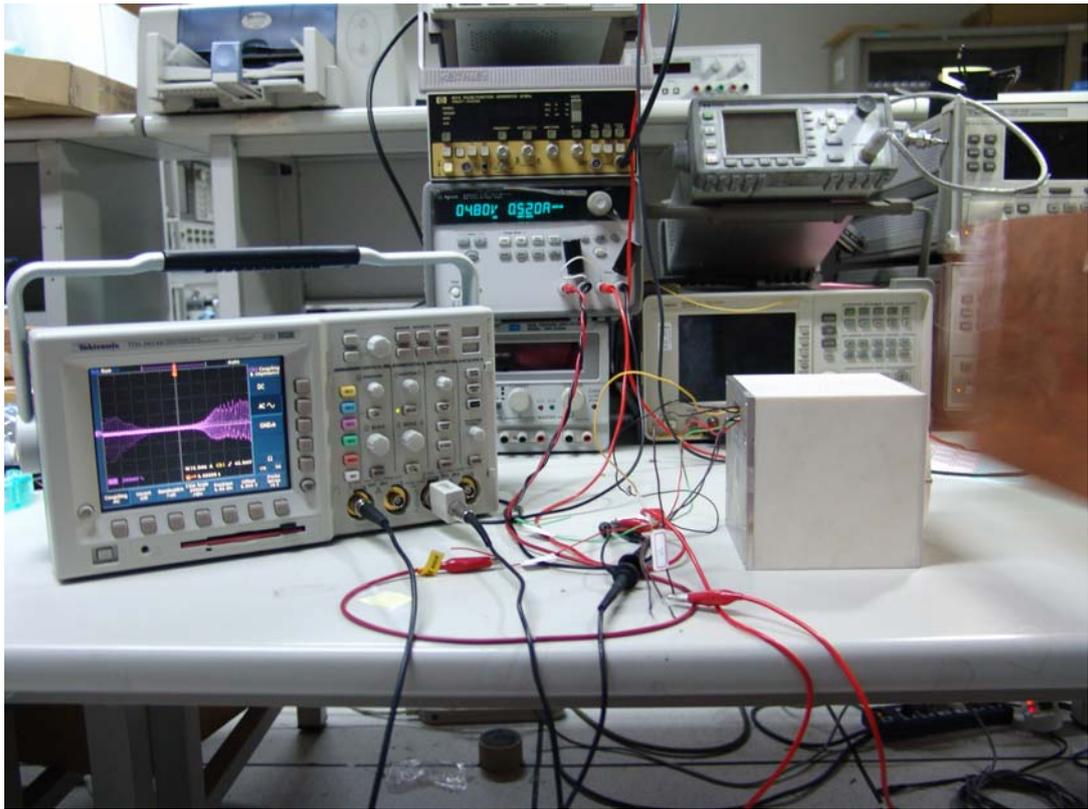


圖 7-1-1 CW 模式量測圖(a)

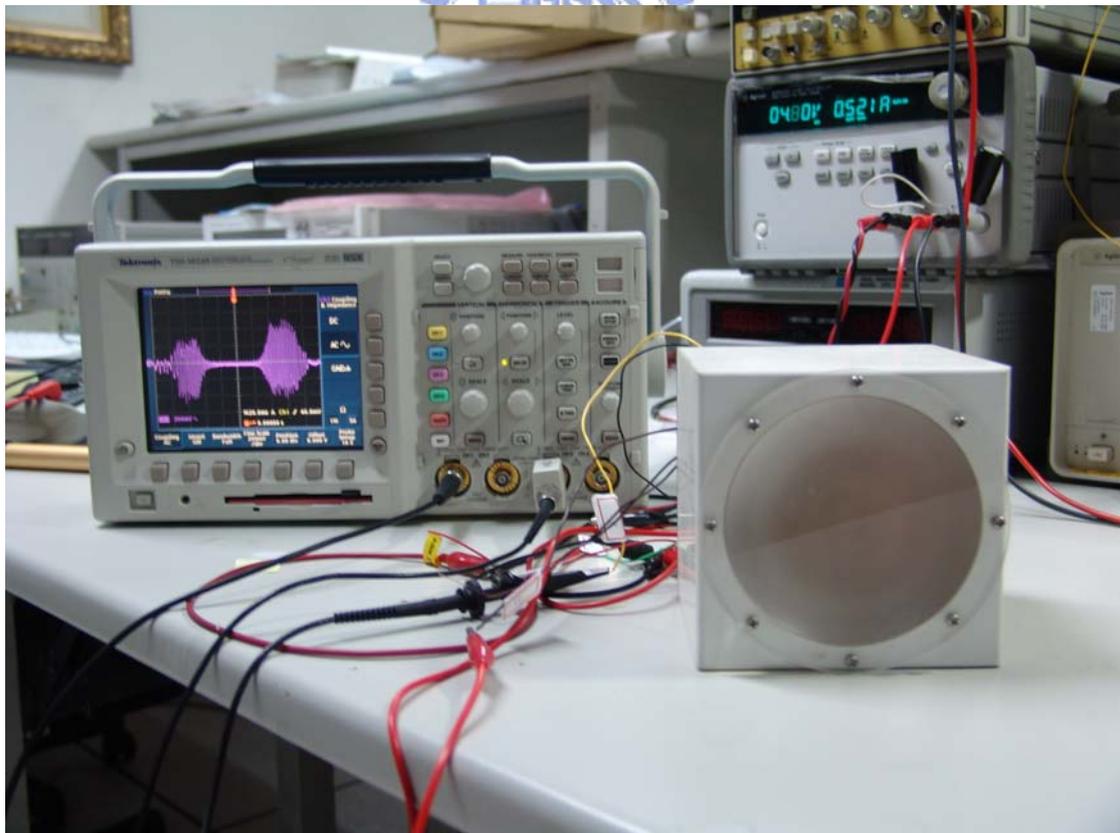


圖 7-1-2 CW 模式量測圖(b)

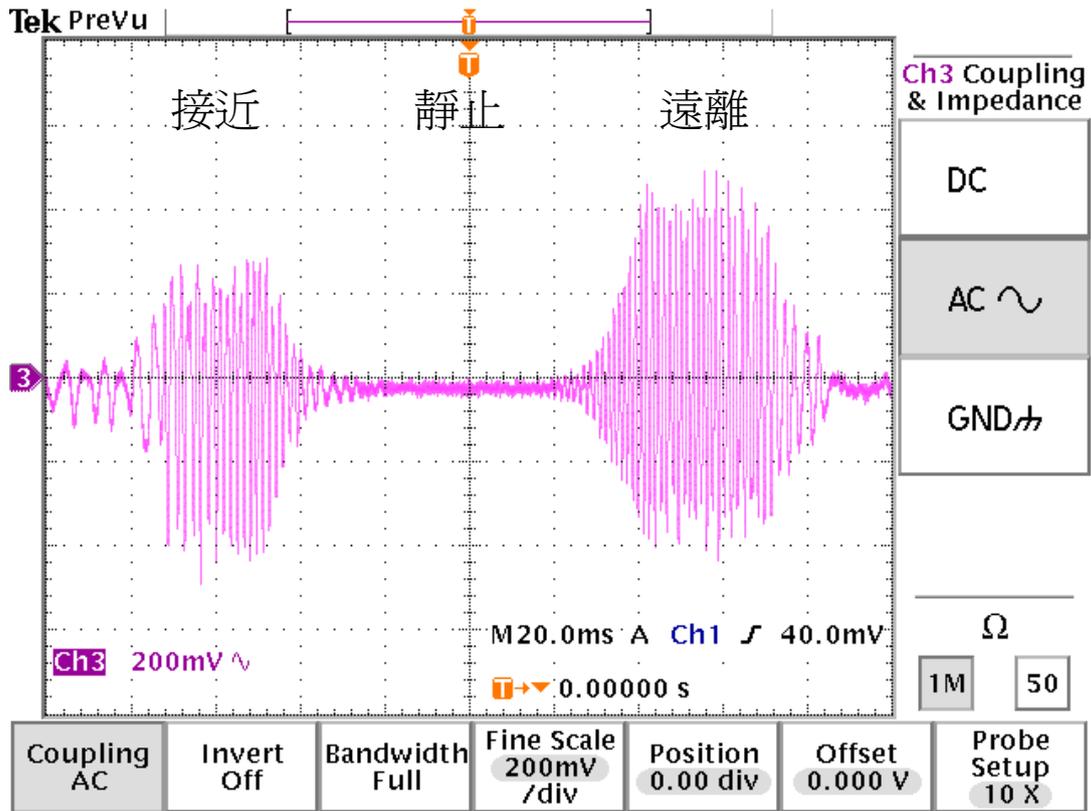


圖 7-1-3 CW 模式量測結果(a)

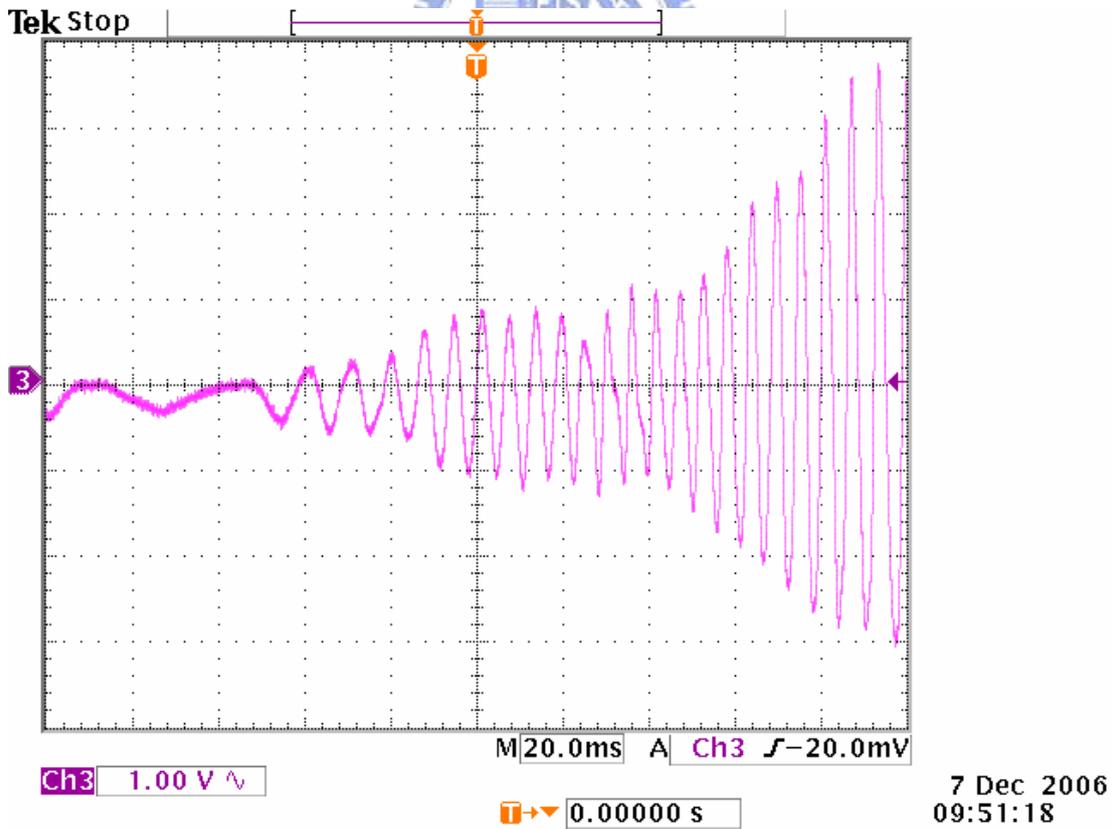


圖 7-1-4 CW 模式量測結果(b)

7-2 頻率調變連續波模式測試

圖 7-2-1 為實車靜態量測環境，目標車輛距離雷達約 25 公尺的距離，雷達操作頻寬 200MHz，調變頻率 200Hz，所量測到的中頻訊號為 14KHz，理論推算結果距離為 26.3 公尺，相當接近實際量測的距離。

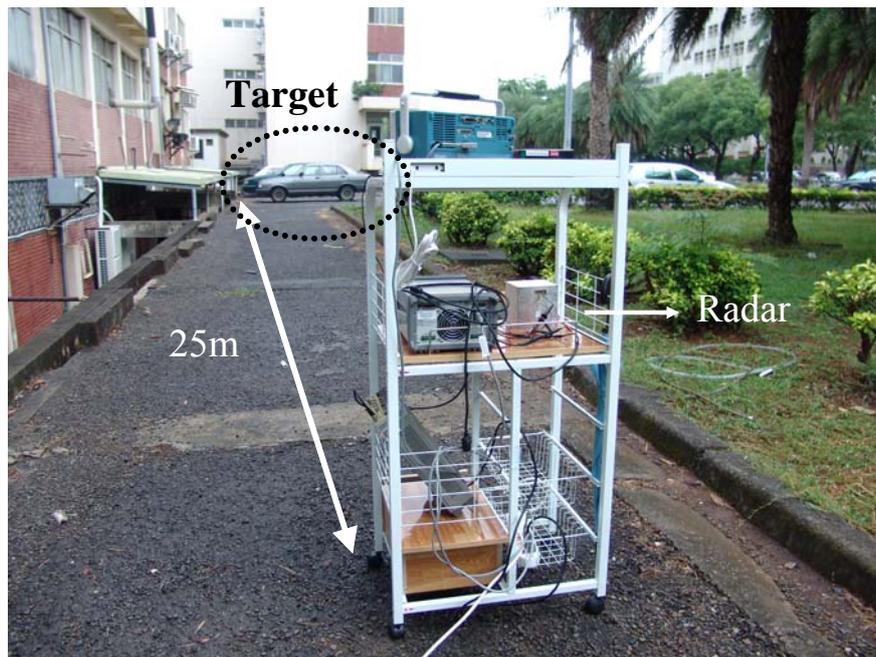


圖 7-2-1 量測環境

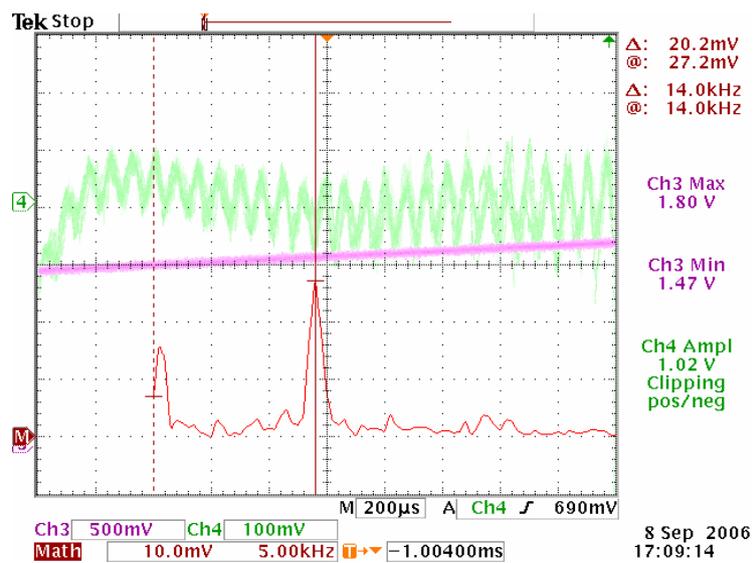


圖 7-2-2 25 公尺目標物量測結果量測結果



圖 7-2-3 長距離量測

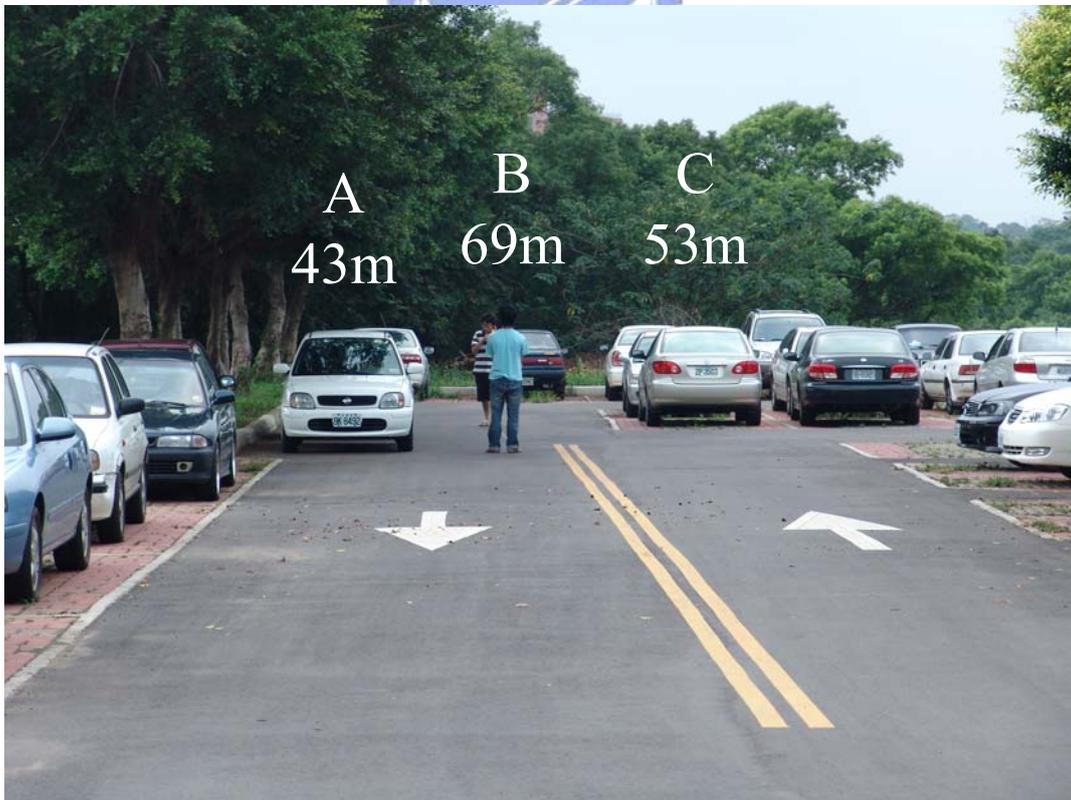


圖 7-2-4 長距離量測局部放大圖

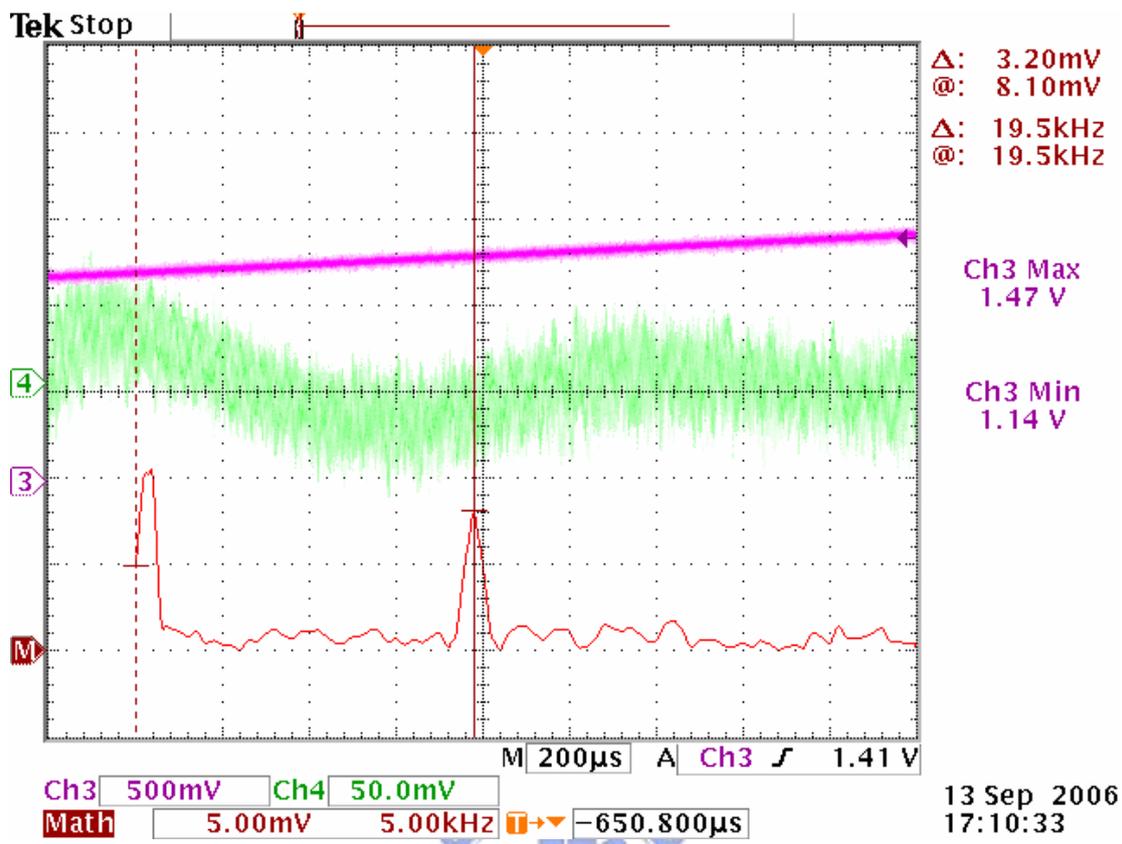


圖 7-2-5 43m 車輛量測結果

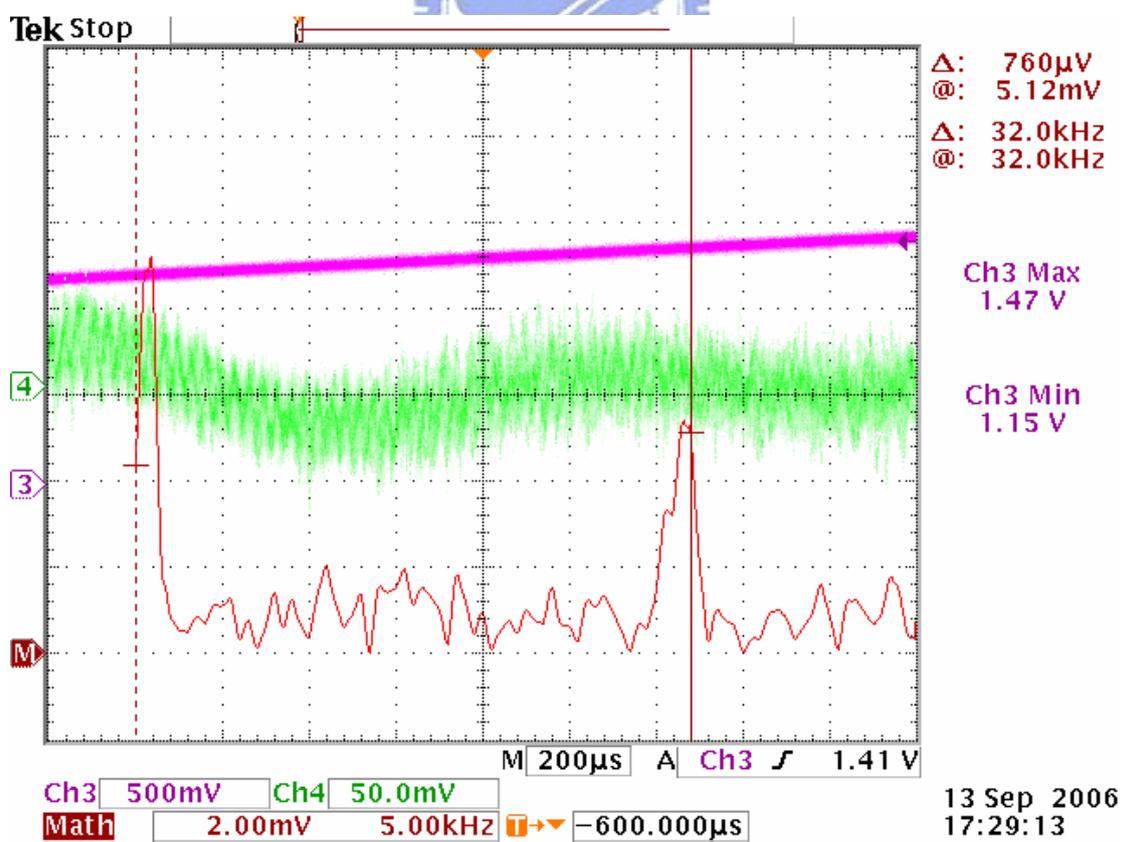


圖 7-2-6 69m 車輛量測結果

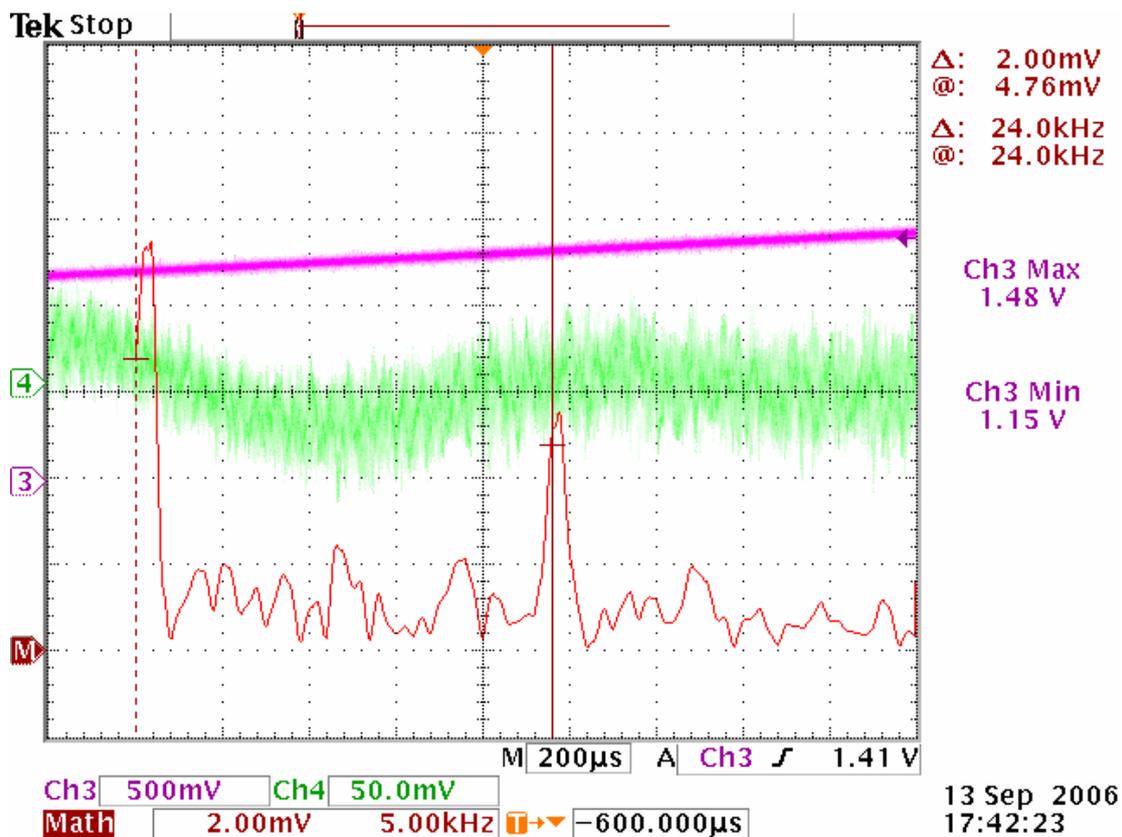


圖 7-2-7 53m 車輛量測結果

圖 7-2-3 與圖 7-2-4 為靜態遠距量測環境圖，圖 7-2-3 為實際量測目標與雷達的相對距離圖，圖 7-2-4 則為三目標物 A、B、C 之相對位置放大圖。

A 目標物距離雷達約 43 公尺。圖 7-2-5 為量測結果圖，所偵測之中頻訊號為 19kHz，雷達使用頻寬為 200MHz，調變電壓掃瞄頻率為 200Hz，理論推算結果為 40 公尺。

B 目標物距離雷達約 69 公尺。圖 7-2-6 為量測結果圖，所偵測之中頻訊號為 32kHz，雷達使用頻寬為 200MHz，調變電壓掃瞄頻率為 200Hz，理論推算結果為 67 公尺。

C 目標物距離雷達約 53 公尺。圖 7-2-7 為量測結果圖，所偵測之中頻訊號為 24kHz，雷達使用頻寬為 200MHz，調變電壓掃瞄頻率為 200Hz，理論推算結果為 50 公尺。

A, B, C 三目標物之中，A 目標車輛，雷達所偵測的為車輛正面，B、C 車輛，雷達所偵測的為車輛背面。一般而言，車輛正面的金屬面較小，偵測較不容易，

而背面的金屬面較大，等效的雷達截面積較大，相對來說為比較好量測到的物體。從量測結果來看，不論車輛的正面或者是背面，皆可以量到物體訊號，並且訊號強度相當大。

在實際量測中，B 之目標物最遠，所量得訊號之訊雜比(SNR)有 16dB，根據雷達方程式所推算的結果，相同物體在 135 公尺的情況下，可偵測訊號的訊雜比仍舊有 4dB。若後端數位訊號處理電路的偵測能力達到 1dB 以上，則理論推算可偵測距離可達到 150 公尺以上。此外 A、B、C 三目標物之距離約為三個車道，相當接近實際道路環境，從圖 7-2-5、圖 7-2-6、圖 7-2-7 可看到，在偵測單一車輛的時候，並無左右車輛之訊號，故此雷達之偵測能力可達到辨識車道之要求。

雷達方程式如下



$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

其中 P_r 為雷達所接收到的功率

P_t 為雷達所發射的功率

G 為天線的增益

λ 為天線操作頻率的波長

σ 為雷達截面積

R 為雷達與目標物的距離

對於雷達收發機而言，一個雷達的天線增益 G 、發射功率 P_t 、操作的頻率 λ 、為一固定值，本架構使用的發射天線與接收天線都為同一支天線故在雷達方程式的發射天線與接收天線的增益值相同，都為 G 。

一般而言，一物體的雷達截面積 σ 固定，所以可以得到雷達所接收到的功率 P_r 與雷達與目標物的距離 R 的關係為

$$P_r \propto R^{-4}$$

但在實際的道路量測中，並沒有發現此關係。由最早的 25 公尺車輛的量測，若以此關係推測，可以得到當距離由原本的 25 公尺增加一倍到 50 公尺，則接收

的功率會比 25 公尺的量測到的功率降低 12dB。如此推算的結果此雷達的最遠可偵測的距離非常難達到 100 公尺。因此我們也做了長距離目標物的量測，40 公尺到 70 公尺的實車量測中，雷達所量測的的訊號強度也相當大。因此可以推測實際量測中目標物的雷達截面積 σ ，並不是一個定值。接著我們選用三種物體當作目標物，分別為一金屬圓柱，高度為 120 公分，直徑 30 公分，另外一物體為 34x28 平方公分的金屬面，最後一物體選用一大金屬門，在偵測距離內，金屬門的面積範圍超過雷達天線偵測範圍。觀察當目標物的距離改變時，雷達所接收到的訊號強度關係。量測結果如圖 7-2-8，橫軸為目標物與雷達的距離，縱軸為由雷達的中頻訊號接上示波器觀察到的訊號強度。可以觀察到三個目標物所量到的訊號強度對於目標物的距離的都是線性的關係，但是斜率有所不同，金屬圓柱與金屬門的斜率相當，而 34x28 平方公分的金屬面所量的訊號衰減的較快。主要原因為本論文的雷達其天線輻射角度很小，故當近距離量測的時候，天線輻射面所涵蓋的範圍有限，因此物體等效的雷達截面積也會較小，隨著距離增加，天線輻射所涵蓋的面積增加，因此物體等效的雷達截面積也會跟著增加。而 34x28 平方公分的金屬面從 10 公尺的距離量到 30 公尺。此範圍間，雷達天線輻射的範圍可以涵蓋整個金屬面。故可以將此物體的雷達截面積視為一個定值。而金屬圓柱與金屬門的尺寸大於雷達天線輻射涵蓋範圍，故當距離增加時，物體落於天線輻射涵蓋的範圍範圍也增加，故有效的雷達截面積也隨之增加。因為增加的面積與距離的關係為可以大略的推估成正比於 R^2 的關係，並可以用下式表示：



再由雷達方程式可以知道

$$P_t \propto R^{-n}$$

其中 n 與物體的特性有關係，一般而言介於 2 到 4 之間。

由上面幾個量測，可以推測小客車的可偵測距離應可達到 100 公尺以上，中型的箱型車和更大的遊覽車，由於雷達截面積的增加應可有更好的效果。

另外在近距離與遠距離量測時，一物體的雷達截面積並非定值。以前面量測結果可以得到，目標物尺寸若大於天線輻射範圍時，目標物的雷達截面積會隨著距離改變，直到目標物完全落在雷達的天線照射範圍內，其雷達截面積才會接近一固定值。而此情況會根據目標物有所不同，當目標物為一小型客車的話，橫向長度約為 1.5 公尺左右，其目標距離雷達超過 50 公尺之後才會完全落於天線的半功率主波束寬度內，若大行車的寬度則會更長。

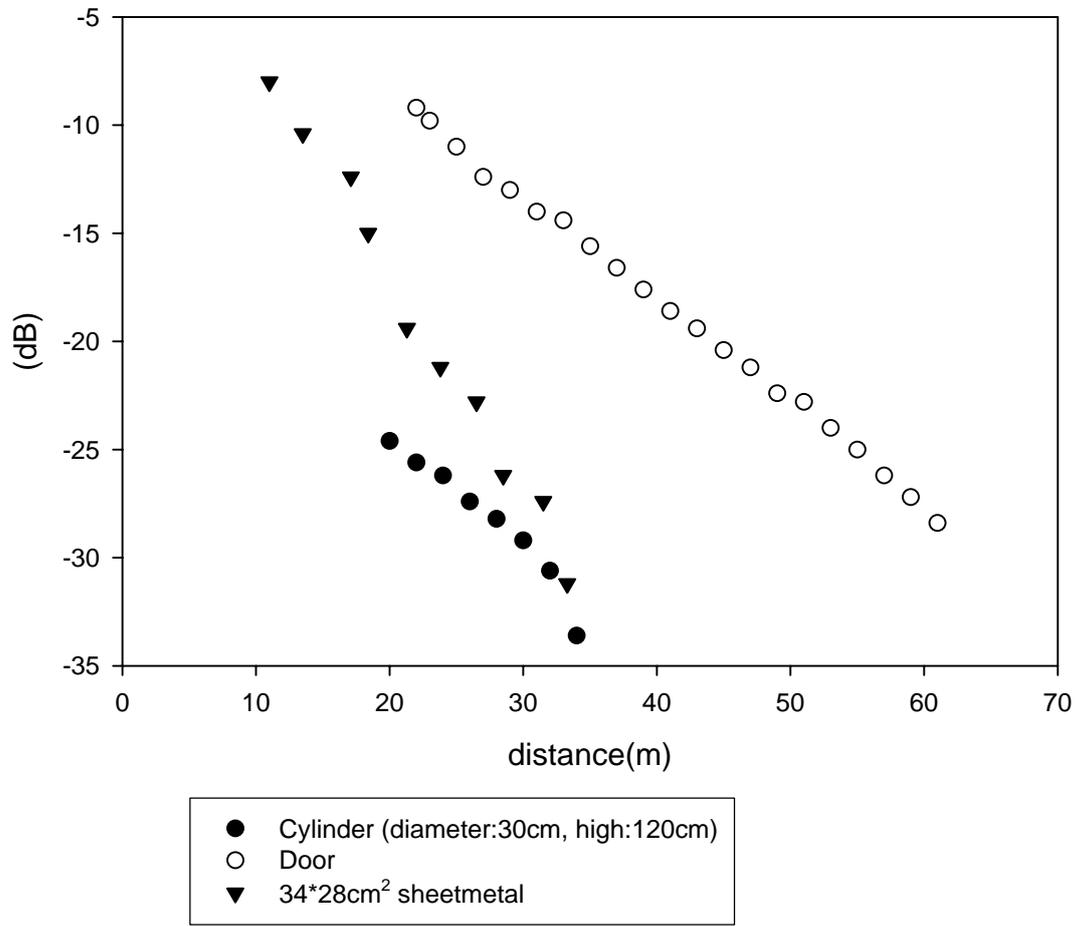


圖 7-2-8 三物體量測結果

第八章 結論

本論文所開發之雷達模組，包括射頻收發電路、天線、基頻電路與電源系統皆研發完成並整合測試。量測之結果與理論推算非常接近，誤差小於百分之三。證明本研究開發之雷達模組能成功操作符合功能需求，為國內第一組具有高精密度，長距離偵測功能之雷達系統。雷達模組之大小為 $10 \times 10 \times 12.5 \text{ cm}^3$ ，操作頻率介於 74.4GHz 到 78GHz，可用頻寬 3.5GHz。寬頻之設計在開發階段能夠更便於研究上之驗證與實際應用，實際之量測準確度也相當高。雷達系統的峰值輸出功率為 8 dBm，此外天線系統增益為 28.4dBi。量測距離在距離目標物 70 公尺時，經由量測可知依舊可以偵測到相當強的訊號強度，訊雜比 (SNR) 約為 16dB，最遠偵測能力則要視後端數位訊號處理之可辨識訊號強度而決定。若後端數位訊號處理 (DSP) 為一維傅立葉轉換，以 4dB 為規格的情況下，理論可測距離為 135 公尺；若以 1dB 為規格，則理論可偵測距離可高達 150 公尺，若數位訊號處理使用二維傅立葉轉換，則可比一維傅力葉轉換再提高 10dB 的訊雜比。為相當理想之遠距離雷達偵測模組，相較於國外其他系統，更具有低成本，高效能的特性，其射頻電路解得的訊號對於雜訊抑制相當良好，對於數位訊號處理電路能有效降低負擔並提高運算能力。

本論文之部分成果，已經在 2006 年的海峽兩岸三地無線科技研討會中發表一篇會議論文，” 77GHz 車用前視防撞雷達”。

參考文獻

1. Y. Zhao, Vehicle Location and Navigation System. London: Artech House, 1997.
2. Alexander E. Braun, “Intelligent transportation system: mirage or reality?” Microwave Journal, pp.22-38, Aug. 1997.
3. Pravin Varaiya, “Smart car on smart roads: problem of control,” IEEE Trans. Automatic Control, vol.38, no.2, Feb. 1993.
4. P. L. Lowbridge, “Low cost millimeter-wave radar systems for intelligent vehicle cruise control applications,” Microwave Journal, pp.20-33, Oct. 1995.
5. Holger H. Meinel, “Commercial applications of millimeterwaves history, present status, and future trends,” IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.43, pp.1639-1653, July 1995.
6. Holger H. Meinel, “Automotive radar and related traffic applications of millimeterwaves,” 1997 Topical Symp. On Millimeter Waves, pp. 151 - 154, 1998.
7. P. L. Lowbridge, P. Briggins, and B. Kumar, “ A low cost mm-wave cruise control system for automotive applications,” Microwave Journal, pp.24-36, Oct. 1993.
8. K. W. Chang, etc., “Forward-looking automotive radar using a W-band single-chip transceiver,” IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol.43, pp.1659-1668, July 1995.
9. D. A. Williams, “Millimeter wave radars for automotive applications,” in 1992 IEEE MTT-s Int. Microwave Symp. Dig., vol.2, pp.721-724, New Mexico, June 1992.

10. S. A. Zelubowski, "Low cost antenna alternatives for automotive radars," *Microwave Journal*, pp.54-63, July 1994.
11. L. H. Eriksson and B.-O. As, "A high performance automotive radar for automatic AICC," *IEEE International Radar Conf.*, pp.380-385, 1995.
12. Millitech Corporation, "Crash avoidance FLR sensors," *Microwave Journal*, pp.122-126, July 1994.
13. S. Tokoro, "Automotive application systems of a millimeter-wave radar," *IEEE Proc. Of Intelligent Vehicles Symp.*, pp. 260-265, 1996.
14. S.W.Alland, "Antenna requirements and architecture tradeoffs for an automotive forward looking radar," *IEEE Nat' l Radar Conf.*, pp. 367-372, May 1998. Dallas, USA.
15. David Richardson, "An FMCW radar sensor for collision avoidance," *IEEE Conf. On Intelligent Transportation System*, pp.427-432, 1997.
16. H. H. Meinel, "Automotive millimeterwave radar," in *Digest of 2000 Topical Symposium on Millimeter Waves*, Yokosuka, Japan, March, 2000.
17. E. J. Wilkinson, "An n-way hybrid power divider," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-8, pp116-118, Jan 1960
18. N. Nagai, E. Mackawa, K. Ono, "New N-way hybrid power dividers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-25, pp1008-1012, Dec.1977

19. A. A. M. Saleh, "Planar Electrically Symmetric n-Way. Hybrid Power Dividers/Combiners," *IEEE Trans Microwave Theory Tech.* , Vol. MTT-28, June 1980, pp.555-563.
20. A. A. A. Saleh, "Computation of the Frequency Response of a Class of Symmetric N-Way Power Dividers," *The Bell System Technical Journal*, Vol.59, No8, Oct. 1980, pp.1493-1512.
21. Chun-Yi Wu, "Subharmonic Mixers and Frequency Doublers for 77GHz Application," 應用於 77GHz 之次諧波混頻頻器與倍頻器, 交通大學電信研究所 2004.
22. Hsiu-Chin Chang, "W-band Switch and Ka-band Power Divider," W 頻段倍開關與 Ka 頻段功率分配器研製, 交通大學電信研究所 2005.
23. Chung-Hung Wu, "W Band Front-End System for Collision Avoidance Vehicle Radar and Ku Band Analog Phase Shifter" W 頻段防撞雷達前端系統與 Ku 頻段類比移相器, 交通大學電信研究所 2006