



RRPB89050500 (S.P)

994)

PD8905-0500

行政院國家科學委員會補助專題研究計劃報告書

適應性追蹤技術之研發與設計
Research and Design for Adaptive Tracking Technology

計劃類別： 個別型計劃 整合型計劃

計劃編號：NSC 89-2612-E212-001

執行期限：88/08/01~89/07/31

計劃主持人：鍾翼能

執行單位：大葉大學電機工程研究所

中華民國 89 年 10 月 20 日

適應性追蹤技術之研發與設計

Research and Design for Adaptive Tracking Technology

計劃編號：NSC 89-2612-E212-001

執行期限：88/08/01~89/07/31

執行機關：私立大葉大學電機工程學系

主持人：鍾翼能 副教授

中文摘要

在雷達追蹤系統中，偵測、適應性臨界值、correlation 之分配問題、Track Splitting 與追蹤都是極其重要的一環，然而由於複雜的外在環境及雜訊的干擾，雷達系統所得的訊號中，除正確的目標軌跡外，往往會有其他的量測訊號出現，因此資料相關結合的技術，就變的重要了。在實際的追蹤系統中，目標物常會突然間作變速度運動，那接收的觀測量資料將逐漸誤差變大，最後所估測的運動量資訊，也會產生鉅大誤差。

因此本計劃旨在因應目標的變速度運動，去改善變速度所產生的誤差。本系統也將結合適應性追蹤演算技術及適應性之資料相關結合技術，協助雷達多目標追蹤系統，迅速計算各目標之位置及速度，以得到可靠之追蹤結果。

關鍵詞：雷達追蹤系統、資料相關結合技術、適應性追蹤演算技術。

Abstract

Both detection and tracking techniques play important roles in a radar tracking system. It usually has more measurement plots than the number of target tracks because of the complicated tracking environment and noise outside.

Therefore, the data association technique and maneuvering detection criterion for the receiving signal in a tracking system are very important. We will develop an adaptive technique to solve such problems.

Keyword: Radar Tracking System, Data Association, Adaptive tracking Algorithm

一、計劃緣由與目的

在日新月異的航空及國防技術中，雷達佔

有極重要的地位，為國防偵測及監視敵我環境變化之最重要的配備，缺少了他或技術層次低於敵方，則我方必處於劣勢，處處受制於人，因此如何提升雷達系統之技術層次，極為重要且迫切需要。多年來國內外之專家學者對此方面之研究投入相當多的努力，成果斐然，吾等為其中一份子，亦應盡棉薄之力，以期有些許貢獻。

在追蹤系統的研究方面，自卡門博士發表其最佳估測之卡門濾波器後，許多的專家學者皆以其推導理論或程序為依據，研究各種追蹤技術，如【1-26】所示，其中 Bar-Shalom 教授更進一步研發 Joint Probabilistic Data Association 之技術【1-4】，將之應用於多目標追蹤系統，使之能在複雜且高雜訊環境中依然可成功地完成追蹤程序，至今此法已廣泛應用。吾人在此亦多方研究，與 Emre 教授、Seo 教授及 Gustafson 教授共同研發另外之 Data Association 技術，詳如【12-15】所述。此外 Prof. Bar-Shalom 及 Prof. Blackman 並將整體之追蹤技術及各種理論整理成專業科技書籍公諸於世【4, 11】，以供後進學者得以參酌，期有更精進或不同方式之研究，以提昇雷達系統之效益。

在雷達追蹤系統中，偵測、適應性臨界值、correlation 之分配問題、Track Splitting 與追蹤都是極其重要的一環，然而由於複雜的外在環境及雜訊的干擾，雷達系統所得的訊號中，除正確的目標量測值外，往往會有其他的訊號出現，因此適當的取樣間隔時間及運用適當的資料結合技術是必要的。

當雷達再獲取得量測資料時，為確認目標物的變化，因此利用適應性時間間隔取樣方法，增加追蹤系統在分析時的相關資料，因此適應性取樣間隔演算方法將被應用之。此外吾人根據最佳濾波器的原理及數學公式，可取得目標的軌跡資料及預估位置，再應用其他相關資料定出適應性的 Gate size，根據此技術可將與目標相關性甚低之量測資料排除，以減輕系統運算負擔，進而應用資料相關結合技術，設計一完整的多目標追蹤系統。

在兩岸情勢不明的今日，中共已積極提昇其

導彈之準確性，因此國防戰備之研究更形迫切，相信此研究對我國防戰力有提昇之效，對民用航空亦有所助益，由此可見其重要性。

二、研究方法

本研究計畫主要根據外在的追蹤環境及目標運動的狀態，設計一適應性之偵測及追蹤技術，藉以提高目標偵測機率及提昇追蹤效果；其主要結構包含

(一) 軌跡形成及終結程序；目標經確認後利用資料相關結合技術判斷是否屬於現有之軌跡，若將之視為軌跡，則持續追蹤。若不是，則設立一確認法則，判定是否可將之視為新軌跡，若可，則建立一新的追蹤軌跡，反之若軌跡無法持續，亦可將之終結，以節省記憶容量及運算。

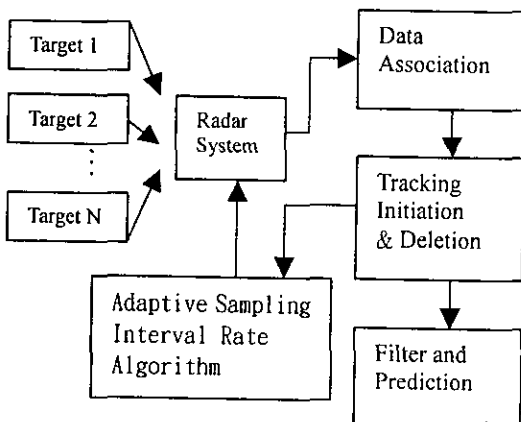
(二) 資料相關結合程序；推導一適應性 Gate 技術，根據外在環境因素及目標運動狀態，以調整 Gate size，既可確保量測資料的可靠性，又可節省電腦系統之運算時間，再者應用一資料相關結合技術，將相關性較高之量測資料與軌跡相結，進行追蹤程序。

(三) 處理目標變速度之適應程序，目標發生加速或改變方向時，應用一適應程序處理之，以確保追蹤程序之持續，亦可減少追蹤誤差。

(四) 推導出適應性取樣間隔演算法，並且使用在追蹤系統之中，以改善目標物之變速度運動時之偵測效能及建立一完整之多目標追蹤系統架構。

(五) 利用電腦模擬以確認此計劃所提之追蹤系統之可行性及優缺點。

其工作流程圖如圖一所示。



圖一 工作流程方塊圖

1. 首先定義一適當的數學模式以表示整體追蹤系統與偵測環境；吾人將追蹤系統與量測系統定義如下，

$$X(t+1)=F(t)X(t)+G(t)W(t)+U(t).....(1)$$

$$Y(t)=h(X(t))+V(t).....(2)$$

其中 $X(t)$ 為目標之狀態向量， $Y(t)$ 則為量測向量 $W(t)$ 及 $V(t)$ 為 zero-mean, Gaussian white noise, 且互不相關，而 $U(t)$ 為輸入控制。

2. 多目標追蹤之資料相關結合是必要的工具，吾人可以建立資料相關結合程序；本程序主要技術乃是當每一觀測向量 (Measurement Vector) 被取得後，利用 Baye's rule 推導的 a posteriori probability 公式，並結合資料相關結合技術 "1-step Maximum Posteriori Estimate"，以求取目標軌跡之估計與預測，以利目標追蹤程序之進行，其運算程序概述於下：當每個觀測向量被感測器接收後，其相對的 1-step a posteriori probability 以下列公式表示：

$$Y' = \{Y(0), Y(1), \dots, Y(t)\}.....(3)$$

$$\beta = \{\beta(0), \beta(1), \dots, \beta(t)\}.....(4)$$

$$\beta_i = \{\beta_i(0), \beta_i(1), \dots, \beta_i(t)\}.....(5)$$

其中

$\beta(t)$ 為包含不確定參數的向量

$\beta_i(t)$ 為可能固定的假設

根據貝氏定理 (Baye's rule), β_i^{t-1} 和 Y^t 成立下的 posteriori probability 如下式所示：

$$\begin{aligned} & P(\beta_i(t) | \beta_i^{t-1}, Y^t) \\ &= \frac{P(Y(t) | \beta_i^t, Y^{t-1}) P(\beta_i(t) | \beta_i^{t-1})}{P(Y(t) | \beta_i^{t-1}, Y^{t-1})} \\ &= \frac{P(Y(t) | \beta_i^t(t), Y^{t-1}) P(\beta_i(t) | \beta_i^{t-1})}{\sum_k P(Y(t) | \beta_k^t(t), Y^{t-1}) P(\beta_k(t) | \beta_k^{t-1})}.....(6) \end{aligned}$$

其中分母為使所有假設 (Hypothesis) 機率正規化 (Normalize) 的常數，以 $1/C$ 表示，則

$$\begin{aligned} & P(\beta_k(t) | \beta_k^{t-1}(t), Y^t) \\ &= C * P(Y(t) | \beta_k(t), \beta_k^{t-1}, Y^{t-1}) P(\beta_k(t) | \beta_k^{t-1}(t)).....(7) \end{aligned}$$

等號右邊第一項可由 Kalman Filter 的 1-step prediction 得到，右式第二項代表

β^i 的 a priori statistical knowledge, 根據此式其次最佳 (Suboptimal) 的目標狀態估測可由下式獲得:

$$\hat{X}(t) = \sum_k P(\beta_k(t) | \beta_k^{t-1}, Y^t) \hat{X}(t | \beta_k^{t-1}, \beta_k(t)) \dots (8)$$

- 目標作變速度運動時, 追蹤系統常會造成極大誤差, 所以變速度偵測器演繹法加強系統對變速度目標有效追蹤的能力。在追蹤的過程中, 此變速度偵測器利用目標物的統計創新量, 設定一判斷法, 判斷變速度是否發生, 以對擴展式卡門濾波器之各參數值加以修正, 使的誤差減少, 順利完成追蹤工作。此判斷法數學推導如下:

定義

$$I(k) = Y(k) - h(\hat{X}(k|k-1)) \dots (9)$$

$$\delta(k) = H(k)P(k|k-1)H^T(k) \dots (10)$$

$$S(k) = \delta(k) + R(k) \dots (11)$$

其中 $I(k)$ 為實際值與預估值之間量測創新量
 $S(k)$ 為創新量的變異數矩陣

我們根據擴展式卡門濾波器方程式, 定義一目標偵測標準, 假設創新量為高斯分佈, 因此在沒有變速度情形下, 創新量的分佈在一定範圍下。此判斷目標是否有變速度式如下:

$$H_1 \quad \begin{matrix} f(k) = \sum_{j=k-N+1}^k I^T(j)S^{-1}I(j) > \epsilon \\ H_0 < \end{matrix} \dots (12)$$

其中假設 H_0 表示系統正常, 假設

H_1 表示系統異常。

- 適應性取樣間隔演算法, 在追蹤過程中, 假如目標維持一個定速度的運動, 我們將選擇一個較長的取樣間隔; 然而, 當目標有變速度發生時, 追蹤系統將使用一個較短的取樣間隔, 這樣的方式可以減少估測的誤差, 並可以連續的追蹤到目標的軌跡。

這個取樣間隔的演算法是應用到卡門濾波器的 1-Step 預測的協方差矩陣, 而協方差矩陣的元素如下:

$$P_{ij} = P_{ij}(t) \quad i=1,2,\dots,4; j=1,2,\dots,4 \dots (13)$$

$$P(t+1|t) = F(t)P(t|t)F^T(t) + G(t)Q(t)G^T(t) \dots (14)$$

$$P(t+1|t) = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \dots (15)$$

令 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_m$, 則由 Eq(15) 可導出

$$P_{11}(t+1|t) = P_{11} + T(P_{12} + P_{21}) + T^2 P_{22} + \left(\frac{T^4}{4}\right) \sigma_m^2 \dots (16)$$

其中 σ_m 是變速度的標準偏差量。

三、模擬結果

在雷達追蹤系統演算法的性能分析上, 首先, 定義一個目標的初始的位置和速度如 Table 1., 以及目標的變速度區間如 Table 2.,

Table 1. 目標的初始條件.

	$X(m)$	$\dot{X}(m/s)$	$y(m)$	$\dot{y}(m/s)$
Target	1000.	200.	1000.	200.

Table 2. 目標的變速度區間設定.

Step	20-35(step)		70-85(step)	
	$a_x(m/s^2)$	$a_y(m/s^2)$	$a_x(m/s^2)$	$a_y(m/s^2)$
Acceleration	60	30	60	-30

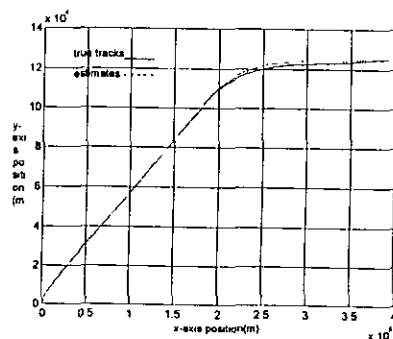
經由上述的定義之後, 我們將分為三種方式來做雷達追蹤系統之效能比較, 以下為三種演算法的說明:

演算法一: 為一般的擴展型卡門濾波器估測系統, 無適應程序補償, $T=2$ 。

演算法二: 為固定的取樣時間演算法, 有適應程序補償, $T=2$ 。

演算法三: 為適應性的取樣間隔演算法, 有適應程序補償。

其模擬的結果如下:



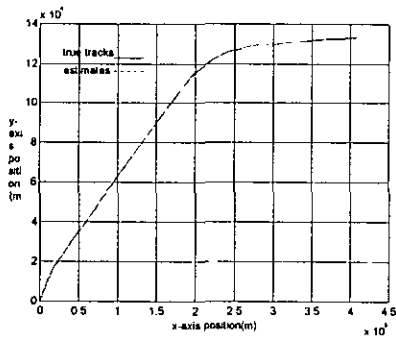


Fig. 3. 演算法二的目標追蹤軌跡圖

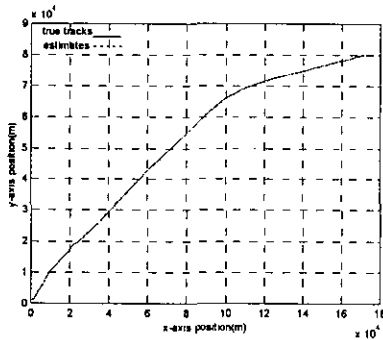


Fig. 4. 演算法三的目標追蹤軌跡圖

Table 3. 三個不同的演算法則之效能比較.

	位置誤差(m)	速度誤差 (m/s)
演算法一	500.	167.
演算法二	137.	61.
演算法三	115.	59.

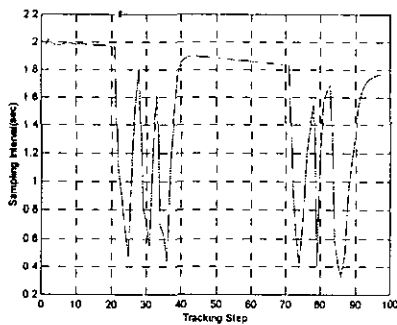


Fig. 5. 演算法三的適應性取樣時間圖

四、結論與成果

在相同的初始條件下，我們發現這三種不同的演算法中，本文所探討的適應性取樣間隔方法，在位置誤差與速度誤差上，都較另外兩種演算法來的好，所以，雷達追蹤系統如果能在目標發生變速度時使用適應性取樣間隔演算法，可以使雷達系統追蹤目標的準確度提昇並減少追蹤時的誤差，這樣確實可以提昇雷達

追蹤系統效能。

五、參考文獻

- [1] Anderson, B. D. O and J. B. Moore, Optimal filtering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ(1979).
- [2] Bar-Shalom, Y. and T. E. Fortmann, Tracking and Data Association Press, San Diego, CA(1988).
- [3] Blackman, S. S., Multi-Target Tracking with Radar Applications, Artech-House, Norwood, MA(1986).
- [4] Chang, K. C. and Y. Bar-Shalom, "Joint Probabilistic Data Association for Multi-target Tracking with possibly Unresolved Measurements and Maneuvers," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-29, No. 7 pp. 585- 594 (1984).
- [5] Chang, C. B. and J. A. Tabaczynki, "Application of State Estimation to Target Tracking," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-29, pp. 98-109 (1984).
- [6] Chung, Y. N., D. L. Gustafson and E. Emre, "Extended Solution to Multiple Maneuvering Target Tracking," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. 26, No. 5, pp. 876-887 (1990).
- [7] Farian, A. and F. A. Studer, Radar Data Processing, Vol. 1-Introduction and Tracking, Research Studies Press, England (1985).
- [8] Lin, C. F., Modern Navigation Guidance, and Control Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ-1991
- [9] Roecker, J. A. and C. D. McGillem, "Target Tracking in Maneuver Centered Coordinates," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. 25, No. 6 pp. 836-843 (1989).
- [10] Singer, R. A., "Estimating Optimal Tracking Filter Performance for Manned Maneuvering Targets," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. AES-5, pp. 473-483 (1970).
- [11] Singer, R. A. and K. W. Behnke, "Real-Time Tracking Filtering Evaluation and Selection for Tactical Applications," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. AES-7, No. 1, pp. 100-110 (1982).
- [12] Tugnait, J. K., "Detection and Estimation for Abruptly Changing Systems," Automatic, Vol. 18, No 5, pp. 607-615 (1978).
- [13] Van Keuk, G., "Software Structure and Sampling Strategy for Automatic Target Tracking with a Phase Array Radar," AGARD Conf., Proc. No. 252, Strategies for Automatic Track Initiation, Monterey CA., pp. 11-1 to 11-13 (1978).