

適應性橢圓形體模糊分類器應用於車用光碟機判片系統

吳孟昇

Meng-Sheng Wu

國立臺北科技大學

自動化科技研究所

台灣 台北市

Graduate Institute of Automation
Technology

National Taipei University of
Technology

Taipei, Taiwan, R.O.C.

t5618024@ntut.edu.tw

翁桂松

Kuei-Sung Weng

國立臺北科技大學 電機工程系

台灣 台北市

Department of Electrical
Engineering

National Taipei University of
Technology

Taipei, Taiwan, R.O.C.

gsweng@mail.nihs.tp.edu.tw

姚立德

Leehter Yao

國立臺北科技大學 電機工程系

台灣 台北市

Department of Electrical
Engineering

National Taipei University of
Technology

Taipei, Taiwan, R.O.C.

ltiao@ntut.edu.tw

摘要

由於市面上光碟片有非常多的種類，且每一種光碟片皆具有其本身的物理特性，所以需要一個智慧型的分類方法將其分類。故本文提出一適應性橢圓形體模糊分類器於車用光碟機判片系統中，此適應性橢圓形體模糊分類器是將基因演算法與 Gustafson-Kessel Algorithm (GKA) 結合，提出基因式橢圓形體學習法做為圖形識別中判定區域之學習及適應性模糊建模之方法。首先不斷透過 DVD Laser 光打在資料層然後反射回光感測器接收，接著透過 GA+GKA 來學習建模。模型建立之後，本文設計一判片系統，總共可分辨六種光碟片類別，CD-ROM、CD-DA 為第一類，CD-R、CD-RW 為第二類，DVD5、DVD-ROM、DVD±R 為第三類，DVD±RW 為第四類，DVD9、DVD±R Dual 為第五類、SACD 為第六類。最後，由實驗結果可證明，本分類器有極佳的分類效果。

關鍵詞：車用光碟機、判片系統、基因演算法、模糊分類器、圖形識別。

Abstract

An Evolutionary Fuzzy Classifier with Adaptive Ellipsoids(AEFC) algorithm capable discriminating among various disc including CD-DA / CD-ROM, CD-R / CD-RW, DVD5 / DVD±R, DVD±RW, DVD9 / DVD±R Dual, SACD is used to identify disc type in optical drive with vehicle. This fuzzy classifier using multiple ellipsoids approximating decision regions for classification is designed. This AEFC

optical disc discrimination system relies on the physical properties of the reflecting layer of an optical disc, only using a DVD photo diode outputs, to discriminate among several disc types. Time Interval and RF signal and Focus Error data from DVD laser is provide as three inputs to a eighth adaptive ellipsoids fuzzy rules which outputs a disc type.

Keywords: Car DVD, Fuzzy classifier, Disc discrimination, Genetic algorithm, Pattern Recognition.

1. 前言

車用影音播放器的發展，最早可追溯自 1984 年先鋒公司生產首台車用 CD 播放器。近年來，數位媒體發展愈來愈迅速，人們也愈來愈重視娛樂品質，而高品質的影音系統不斷被開發出，從家庭影音系統到車用影音系統，故由於影音系統要求愈來愈高的趨勢之下，一般的 CD 播放器已經不敷使用，取而代之的將是更高容量的 DVD 播放器。而且車用 DVD 播放器不僅能夠播放 DVD 格式電影之外，還必需能向下相容播放 CD, MP3, VCD 等格式。由於影音資料格式的多樣化，光碟機判片系統必須能精確的判斷光碟片屬於何種類型，進而選擇正確的參數進行聚焦、循軌控制，達到最佳的播放品質。

在光碟片格式判別系統研究中，以改善分類器效能，降低判別錯誤為主要目標。在[1]中利用 RF 訊號會隨著焦點位置接近資料層而增加，並隨著焦點遠離資料層減少，而可以得到一訊號位準值，用此訊號峰值與預設值做比

較，可判斷出光碟片格式，但是此方法無法判斷 RW 格式，況且預設值皆是由經驗得來並不精確。[2]透過 CD 與 DVD 軌距不同，造成兩者一階繞射光束之繞射角度不同來判別碟片的種類，缺點是容易因為碟片晃動而使得繞射角度產生誤差，而且只能判斷碟片是屬於 CD 或是 DVD，無法辨識 DVD 為雙層或是單層。[3][4]分別利用 RF 訊號反射率與 FE 訊號的 CURVE 數來判斷 DVD 為單層或雙層片。[5]提出 CD 與 DVD 因厚度不同，使得雷射光由表面層穿透到資料層然後再反射由光感測器接收的時間會有長短區分，並提出在聚焦之後透過 TE 訊號振幅來判別格式為 DVD-RAM 或是 DVD±RW。[6]則利用 Central Error(CE)訊號來分辨光碟片為 R 或 ROM 格式，但礙於不是每個晶片都有支援 CE 訊號，所以本文並不考慮。[7]首先將人工智慧應用於光碟機判片系統中，其利用八種特徵透過 ANFIS 訓練得到模糊歸屬函數，新的資料透過 First-Order Sugeno FIS system 輸出可得一相對應碟片格式，可惜的是其必須分別以 CD 與 DVD 雷射光才能得到八種特徵，最後判別結果卻只能分辨出五種格式碟片，DVD5, DVD±R 與 DVD±RW 卻無法清楚分辨。

本文將導入圖形識別(Pattern Recognition)理論於光碟機判片系統中，圖形識別其主要是藉由原型資料(prototype data)的分佈情形，將其類別的區域空間予以分割，並藉由所分割的區域空間來判斷一未知目標資料的類別(class)。本文中選定五種特徵作為判片系統輸入，利用一適應性橢圓形體模糊分類器，在離線方式以基因式橢圓形體學習法學習模糊規則，然後可以得到調變式橢圓形體，最後本文只要判別這五種特徵即可以清楚分辨光碟片是屬於何種類型。

2. 車用光碟機判片與問題描述

判片系統是在光碟機所有系統中最為重要，原因在於正確的判別碟片種類，接下來才能正確的作聚焦、循軌伺服控制。在所有類型光碟機中，會因硬體條件限制使用不同的判片方法，譬如光感測器就有二分光感測器、三分光感測器與四分光感測器，所得訊號也不一樣，也就是說針對不同的光碟機系統，必須使用不同的判片方法。主要的方法不外乎找出訊號特徵，以嘗試錯誤法找出並預設 Threshold，假設碟片格式為 CD，當訊號超過 RF Signal

Level 時代表高反射率，即判定為 ROM 碟片格式，相反的未超過 RF Signal Level 時則代表低反射率，則判定為 RW 光碟片格式。而 RF Signal numbers 則是訊號的計數值，代表訊號確實產生而不是雜訊。而 S-curve numbers 則是 Focus Error 超過正負 Threshold 時，訊號的計數值，也是代表訊號確實產生而不是雜訊。圖 1,2 分別為 CD-DA 與 DVD5 在判片時的訊號示意圖。

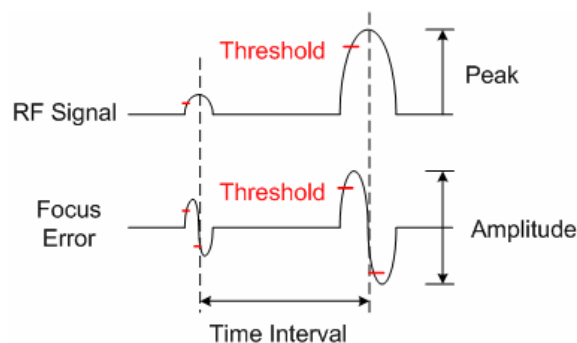


圖 1 CD-DA 判片訊號示意圖

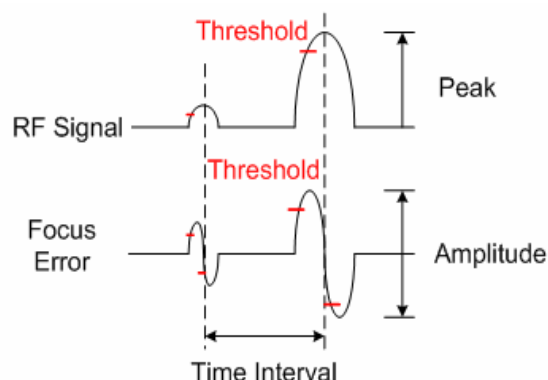


圖 2 DVD5 判片訊號示意圖

目前市面上大部分光碟機都是使用四分光感測器，也就是 RF Signal 與 Focus Error 訊號皆是由四分光感測器的 A、B、C、D 分別受到不同反射光強度，相加或相減而產生的訊號。所以只要將光學讀取頭由下往上移動，使四分光感測器所接受到光的強度不同，就會產生 RF Signal 與 Focus Error 訊號。圖 3 為 RF Signal 與 Focus Error 訊號產生示意圖。

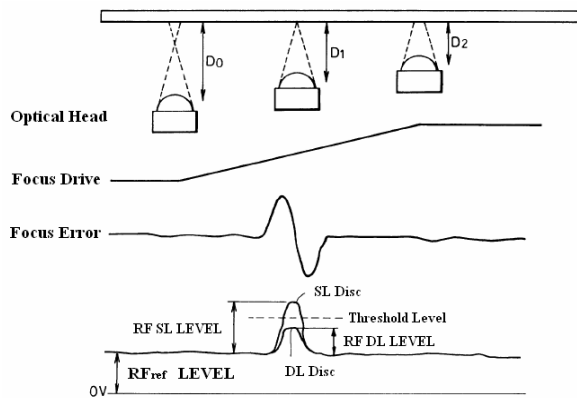


圖 3 RF Signal 與 Focus Error 訊號產生示意圖

目前一般判片方法為預設門檻值 (Threshold)，其架構如圖 4。

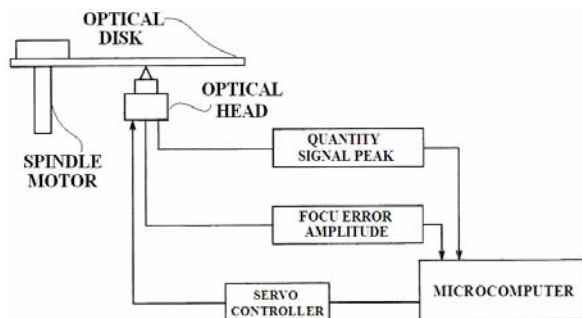


圖 4 一般判片系統架構

由圖 4 可知，在判片系統開始運作之前，一般判片方法在同一時間會分別將 CD 與 DVD 雷射光開啟，雷射光打在光碟片上，通過表面層至資料層，再由資料層將訊號反射，最後由光感測器來接收，取得所需訊號的特徵之後，送至判片系統分別與預設值做比較，例如，假設一開始光學讀取頭開啟 DVD 雷射光，並由下往上移動光學讀取頭，由四分光感測器接收反射訊號之後，可得到如圖 1、圖 2 訊號，若 Time Interval > 圖 1 的 Time Interval，則表示為 CD 格式，若 Time Interval < 圖 2 的 Time Interval 即為 DVD 格式，之後再判斷 Peak 值是否大於預設的 Peak 值，是的話表示為高反射率，即為 ROM 格式，相反則為 RW 格式，接下來 S-curve 數則是判斷碟片為單層片或是雙層片，當 S-curve 為 1 時即為單層片，為 2 時即為雙層片，以此類推。以 S-curve 數與 RF signal 數來分別判定碟片為單雙層與是否為 SACD 片是很好且明確的方法，但就針對其他碟片種類必須以是否達到預設值為判片條件，則有相當大的

問題產生，由於在調整這些預設門檻值時，都是以嘗試錯誤法 (Trial and Error)，來累積經驗進而調整出適當的數值，但市面上碟片品質參差不齊，染料好壞會直接影響訊號的反射，還有不同 Loader 所使用的光學讀取頭也不一樣，研發人員須以經驗來調整的參數必然無法使判片系統達到最穩定的效能，這樣一來不但花費大量的人事成本和時間，又不見得能達到最高效益。因此本文需要一個理想的判片系統，來解決上述問題，所以本文研發了適應性橢圓形體模糊分類器，相關理論在下節中繼續闡述。

3. 適應性橢圓形體模糊分類器

適應性橢圓形體模糊分類器其原理最主要是將基因演算法與 Gustafson-Kessel Algorithm (GKA) 結合，提出基因式橢圓形體學習法做為圖形識別中判定區域之學習及適應性模糊建模之方法。

3.1 Gustafson-Kessel Algorithm (GKA)

G-K 演算法[8]是 Gustafson 及 Kessel 為了要探討在資料集裡不同的幾何外形其運用適應性距離模進一步延伸 FCM 演算法所提出。G-K 演算法改進了 FCM 演算法的缺點，它能估計在資料集裡不同幾何外形的群聚。G-K 演算法其運用的適應性距離模為 Mahalanobis 模，因此其超橢圓體方位是可隨要分群的資料系統而旋轉任意的方向。

G-K 演算法步驟如下：

(1) 初始化：讀入要辨識系統之原型資料點 $x_k, k=1,2,\dots,N$ ，選定群聚數目 $1 < c < N$ ，其加權指數 $m > 1$ ，終止容許誤差 $\varepsilon > 0$ ，隨機產生分割矩陣初值 $U^{(0)} \in M_{fc}$ 。

(2) 重複執行下列步驟， $l = 1, 2, \dots$

步驟一：計算群聚原型平均值：利用式(1)求得

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m} \quad (1)$$

步驟二：計算群聚的協方差矩陣 F_l 及矩陣

A_i ：利用式(2)及(3)求得

$$F_i = \frac{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m (x_k - v_i)(x_k - v_i)^T}{\sum_{k=1}^N (u_{ik})^m}, m > 1 \quad (2)$$

$$A_i = [\rho_i \det(F_i)]^{1/n} F_i^{-1} \quad (3)$$

步驟三：計算群聚與原型資料的距離：利用式(4)求得

$$D_{ikA_i}^2 = (x_k - v_i)^T A_i (x_k - v_i) \quad (4)$$

步驟四：更新分割矩陣：假如 $D_{ikA_i} > 0$ for $1 \leq k \leq N$ ，利用式(5)求得第 k 個資料在第 i 個群聚的歸屬程度，然後去更新分割矩陣。假如 $D_{ikA_i} = 0$ 對某些 $i = s$ 時，則令 $u_{sk} = 1$ 及 $u_{ik} = 0, \forall i \neq s$

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \left(\frac{D_{ikA_i}}{D_{jkA_j}} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

$$3. \text{ 一直到 } \|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \varepsilon \quad (6)$$

3.2 基因演算法

前節 G-K 演算法則理論中提到不同的 A_i 矩陣，表示每個群聚外形體積形狀，由式(3)可知，不同的 ρ_i 值，即可得到不同的 A_i 矩陣。本文中基因演算法所要學習的就是 ρ_i 值，將所學習到的 ρ_i 值帶入 G-K 演算法則，求得 A_i 矩陣後，進而求 A_i 矩陣的特徵向量矩陣 P_i 及對角化矩陣 A_{Di} 。由於要判斷原型資料是否在某一橢圓形體內，又不希望橢圓形體無限的擴大，除了要考虑誤差以外，還要對橢圓形體距離模型的範圍作考量，所以評估函數定義如下：

$$e = \min(e_c + \lambda \cdot \sum_{i=1}^n \prod_{k=1}^n s_{ik}) \quad (7)$$

其中 c 為 G-K 演算法則學習的橢圓形體距離模型個數， λ 為一個調和參數， e_c 表示總原

型資料的誤差， $\prod_{k=1}^n s_{ik}$ 為第 i 個橢圓形體體積。學習法的步驟如下：

(1)初始化：讀入判片系統所要辨識的 N 個原型資料集 x_k ，選定群聚數目 $1 < c < N$ ，其加權指數 $m > 1$ ，終止容許誤差 $\varepsilon > 0$ ，隨機產生分割矩陣初值 $U^{(0)} \in M_{fc}$

(2)基因法則的初始化，隨機生成 ρ_i 值 100 調染色體，其中 32 條為親代，68 條為子代，每條染色體有 c 個基因代表 c 個參數。

(3)代入模糊群聚法及調變式橢圓形體為基礎之學習方法學習橢圓形體距離模型的中心與半軸距參數。

(4)利用(3.7)評估函數評估所有染色體，並擇優置入親代中。

(5)運用再生、交配、突變及滅種來做資料的演化過程，產生新的染色體。

(6)演算法是否已呈收斂：若是，將參數紀錄並進行下一步驟；否則跳回步驟 3。

(7)擇最優的染色體將要做圖形識別系統之 N 個原型資料集予以分群。

3.3 適應性橢圓形體模糊分類器架構

針對每一 cluster 所設計模糊法則如下：

R_{pj} : If x_k is Φ_{pj} then y_k is class p

Φ_{pj} 為模糊推論前件部代表 pj -th 法則， $j=1...ap, p=1...c$ ，用來決定 n -dimensional 特徵空間中的決策區域 (decision region)，而後件部則代表 class label。在分類問題中，由[9-11]將每一 if-then 的模糊規則，分別以橢圓形體來對應，下面以 two-dimensional 原型資料來介紹：

當原型資料點 x_k 在橢圓內，本文可計算 x_k 在橢圓半徑上的距離，其公式為：

$$\alpha_{pj}^2 = \|x_k - \xi_{pj}\|^2 \quad (8)$$

其中， ξ_{pj} 為橢圓中心點 v_{pj} 到橢圓邊界上的交點。本文利用橢圓方程式 $(\xi_{pj} - v_{pj})^T A_{pj} (\xi_{pj} - v_{pj}) = 1$ 來定義原型資料點 x_k 到橢圓體邊界的距離：

$$d_{xv} = (x_k - v_{pj})^T A_{pj} (x_k - v_{pj}) \quad (9)$$

由上式即可知道原型資料點 x_k 距離哪一個橢圓體較近，但是橢圓體可能有重疊情況，還必須以下列公式計算出原型資料點 x_k 與橢圓體的歸屬程度：

當 $d_{xv} < 1$

$$M_{kpj} = \frac{(x_k - v_{pj})^T A_{pj} (x_k - v_{pj})}{2(x_k - v_{pj})^T A_{pj} (x_k - v_{pj}) - 2\sqrt{(x_k - v_{pj})^T A_{pj} (x_k - v_{pj})} + 1} \quad (10)$$

當 $d_{xv} > 1$,

$$M_{kpj} = \frac{(x_k - v_{pj})^T A_{pj} (x_k - v_{pj})}{2\sqrt{(x_k - v_{pj})^T A_{pj} (x_k - v_{pj})} - 1} \quad (11)$$

最後，所得最小的 M_{kpj} 值原來所對應之類別即為原型資料點 x_k 所屬之類別。

4. 判片系統之實作

由於不同的光碟片其製作過程不同，所用的染料也不盡相同，所以本文先分析每種光碟片的物理特性，好決定之後要作為分類器的特徵。表 1 是各種光碟片的物理特徵。

表 1 光碟片物理特性比較

Disc specification	CD-DA CD-ROM	CD-R	CD-RW	DVD Single	DVD Dual
Wavelength (λ) (reading)	770-830nm	770-830nm	770-830nm	635-650nm	635-650nm
Reflectivity	$\geq 70\%$	70%	20%	45~85%	18-30%
Track pitch	1.6 μm	1.6 μm	1.6 μm	0.74 μm	0.74 μm
Disc thickness	1.2mm $\times 1$	1.2mm $\times 1$	1.2mm $\times 1$	0.6mm $\times 2$	0.6mm $\times 2$

從表 1 可看出反射率有明顯不同，這表示訊號經過反射之後必定會有明顯的衰減。經過實驗證實，RF Signal 的大小順序分別為：CD-DA > CD-R > CD-RW、DVD-Single > DVD-Dual。本文確實可以將反射所得到的 RF Signal 與 Focus Error 作為本文分類的特徵。

不過為了判片更加迅速，本文只以 DVD

雷射光作為訊號反射的來源，卻又發現 CD-R 比 CD-DA 小很多，甚至與 CD-RW 差距不大，所以本文將 CD-R 與 CD-RW 視為同一類型。在 DVD 部分，DVD $\pm$ RW 與 DVD Dual 的反射率相似，但是將他們視為一類會造成最後無法讀到 Dual 的第二層而造成錯誤，所以本文先利用 S-curve 數將 DVD Dual 先行分類。而 SACD 部分，因為其 RF Signal numbers 有明顯與其它碟片不同，故本文直接以 RF Signal numbers 將它先行分類。然後設計一分類器將剩餘碟片格式分為四類。

首先，分類器的好壞與特徵選取有極大的關係，經過實驗分析與參考許多文獻，最後本文決定選取三個特徵訊號當作本文分類器的輸入，而此三個特徵訊號分別為 Time Interval(訊號由表面層至資料層的反射時間)、Focus Error(振幅)、RF Signal(取峰值)。然後由市面上所購買之各種類光碟片，CD-DA 與 CD-ROM 為第一類，CD-R 與 CD-RW 為第二類，DVD5、DVD-ROM、DVD-R、DVD+R 為第三類，DVD-RW、DVD+RW 為第四類，抓取上述三個特徵訊號共 600 筆資料。實驗方式採 Five-fold 方式，3 dimensions 選取其中的 480 筆當做實驗組來供演算法學習，全部資料共有四個類別，學習完後再將剩下的 120 筆當做測試組拿來測試以求得此演算法的辨識率。實驗做五次再求其平均值，利用 8 個超橢圓體 (hyperellipsoidal) 的群聚，Type 2 GK 考慮 Possibilistic 的因素，GA 同時考慮橢圓體旋轉與不旋轉的因素，運用 Type 2 GKM+GA 之方法來做學習。運用判斷 data 與各個 cluster 中心的距離和橢圓在該方向之軸距之比率大小，比值愈小表示與某個 cluster 歸屬度愈高，進而求 GK 辨識率，分別對類別 1、類別 2、類別 3 與類別 4 求其總原型資料的誤判誤差 e_{ic} ， $i=1, 2, 3, 4$ ，進而求得各類別誤判點的數量，辨識率的求法如(12)式：

$$RS\% = \left\{ 1 - \left(\frac{e_{ic}}{N_{i\text{all}}} \right) \times 100\% \right\} \quad (12)$$

其中 RS% 為辨識率， e_{ic} 為各類別誤判點的數量， $N_{i\text{all}}$ 為各類別的總數量， $i=1, 2, 3, 4$ 。實驗結果如下：

表 2 Type 2 GKM+GA 學習後的 GK 辨識率

	Class 1 誤判點	Class 2 誤判點	Class 3 誤判點	Class 4 誤判點	All data 誤判點
Training	0	0	0	0	0

	Class 1 RS%	Class 2 RS%	Class 3 RS%	Class 4 RS%	All data RS%
Training	100	100	100	100	100

從表 2 可以得知，此適應性橢圓形體模糊分類器辨識率效果非常的好，接下來即是將此適應性橢圓形體模糊分類器放入車用光碟機中實際運作。在開始之前，本文先規劃判片系統的程式設計流程如下：

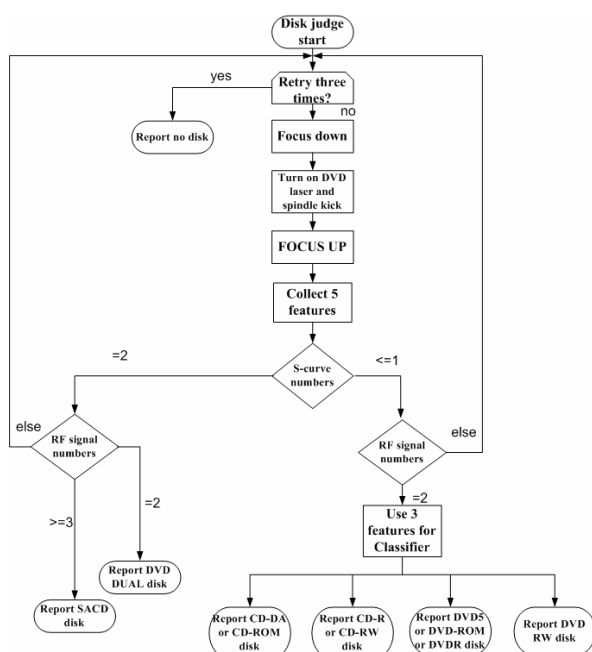


圖 5 判片系統流程圖

一開始，下命令使光學讀取頭遠離碟片，然後開啟 DVD 光並且下命令使主軸馬達轉動並讓光學讀取頭靠近碟片，接著收集 Time Interval, RF Signal Peak, Focus Error Amplitude, S-curve numbers, RF Signal numbers 五種特徵訊號。一開始當 S-curve numbers 等於 2 時，再透過 RF Signal numbers 即可以將 DVD Dual 與 SACD 分別正確辨識，若無法辨識則回到 Retry 重新判片。當 S-curve number 小於等於 1 時，

再來判斷 RF Signal numbers 有幾個，若等於 2，則使用分類器快速的辨識碟片格式，否則再回到 Retry 重新判片。主軸馬達的轉動是為了預防碟片有損毀、刮傷等無法正常取得資料之情形，確保光學讀取頭不會在有缺陷地方發出訊號，使光碟片無法辨別。當回到 Retry 超過三次，則代表光碟片已損壞或是沒有放入光碟片，則系統會回覆 No Disc 狀態給車用光碟機。

最後，本文將未曾做過 training 並且為系統可辨識之光碟片，當作 testing 樣本，由本文所提出方法做測試，每一種類別的光碟片實際做 100 次測試，結果如表 3。

表 3 判片系統實際判片結果

Disc type	AEFC (Correct disc / Total disc)
CD-DA CD-ROM	100/100
CD-R CD-RW	100/100
DVD5 DVD-ROM DVD±R	100/100
DVD±RW	100/100
DVD9 DVD±R Dual	100/100
SACD	100/100

由結果證實，辨識效果高達百分之百，本文成功的將此適應性橢圓形體模糊分類器應用於車用光碟機。

圖 6，是這次實驗所用的平台，下列為實驗儀器規格：

1. 示波器使用的是 Tektronix TDS3034B
2. 光碟機的主晶片為 PT9201
3. 光學讀取頭為 SHARP HPD-60

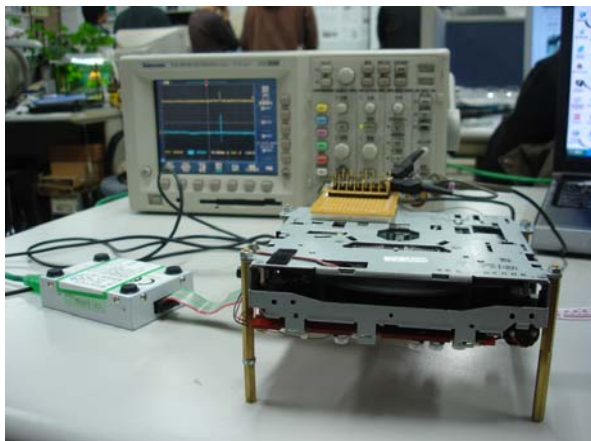


圖 6 實驗平台

圖 7 為實驗用光碟片，包含 CD-DA, CD-ROM, CD-R, CD-RW, DVD5, DVD-ROM, DVD-R, DVD+R, DVD-RW, DVD+RW, DVD-R Dual, DVD+R Dual, SACD。



圖 7 實驗用各式光碟片

5. 結論及未來發展

由實驗結果可證實，本文成功的將適應性橢圓形體模糊分類器置入於車用光碟機上運作。最可貴的是，本文可透過離線方式學習，可以針對光碟片廠所新生產的碟片，不斷更新建立模型，而使判片系統具有更好的適應性，這樣一來可使研發光碟機人員大幅降低測試判片所需預設值的時間，並帶給研發人員工作上極佳的便利性，這是本文最初衷的想法，也是最有價值的地方。未來，將找出更具獨立性的特徵，直接以分類器判別所有種類的光碟片格式。往後對於更高階的產品如 Blu-ray 或 HD-DVD 等機種，因為判片原理大致上相同，相信也能將此方法應用上去，並求得更好的效果。

參考文獻

- [1] Yamada Shin-ichi, Moriya Mitsurou, Edahiro Yasuaki, Takamine Kouichi, Watanabe Katsuya, "Optical disk thickness discriminating apparatus," *United States Patent 5831952*, 1998.
- [2] Yamakawa Akio, Utsumi Masamichi, "Method and device for identifying disc," *United States Patent 5742575*, 1998.
- [3] Tajiri Takashi, Shinagawa-ku, "Determination of disk types and reproducing data from disks," *European Patent EP0838818*, 1998.
- [4] Hasimoto Hiroyosi, "Method of distinguishing disks having nearly the same reflectance," *European Patent EP0899732*, 1999.
- [5] Ono Kazuhiko, Fukuda Hirotohi, Ikeda Takeshi, "Disc discriminating method and information reproducing apparatus using thereof," *United States Patent 20050047300*, 2005.
- [6] Chen Chun Ta, Yen Sheng Hsien, "Discriminating method of an optical disc device for ascertaining the format of an loaded optical disc," *United States Patent 20050058036*, 2005.
- [7] Lou Supino, "A disk discrimination method for digital versatile disks using a fuzzy inference system," *Consumer Electronics, 2001. ICCE. International Conference on*, pp. 254-255, 2001.
- [8] D. E. Gustafson and W. C. Kessel, "Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix," *Proc. IEEE Conf Decision Contr*, San Diego, CA, pp. 761-766, 1979.
- [9] S. Abe and R. Thawonmas, "A fuzzy classifier with ellipsoidal regions," *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 358-368, Aug. 1997.
- [10] S. Abe, "Dynamic cluster generation for a fuzzy classifier with ellipsoidal regions," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, pt. B, vol. 28, no 6, pp. 869-876, Dec. 1998.
- [11] S. Abe, R. Thawonmas and M. Kayama, "A Fuzzy Classifier with Ellipsoidal Regions for Diagnosis Problems," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, pt. C, vol. 29, no. 1, pp. 140-149, Feb. 1999.