

## 1. INTRODUCCION AL RECONOCIMIENTO DE PATRONES

### 1.1. INTRODUCCION<sup>1</sup>

Dado un universo de estudio, el objetivo de un sistema de reconocimiento de patrones consiste en particionar dicho universo en clases "patrón" ajenas, de tal manera que el sistema asignará a un elemento  $x$  a una y sólo una clase. Es decir, el problema es de clasificación, el sistema reconoce que un elemento pertenece a una clase

Partes del problema:

- aislar los objetos (segmentación)
- extraer las características que discriminan los objetos
- construir el sistema de clasificación definiendo una distancia que permita medir que tan próximo es el elemento a cada una de las clases y en este sentido clasificar  $x$  en la clase cuya distancia se acerque más.

Un esquema general de un sistema de reconocimiento de patrones podría ser el siguiente:

2.

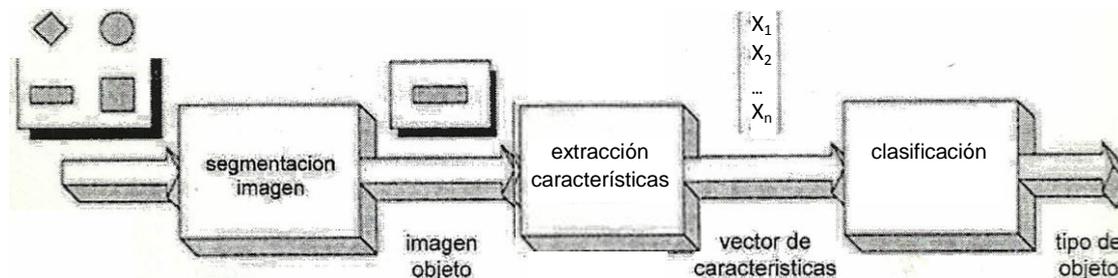


Figura 1. Las tres fases de un sistema de reconocimiento<sup>2</sup>

Ejemplo:

Supongamos, que deseamos construir un sistema reconocedor de patrones que sea capaz clasificar 4 frutas diferentes: cerezas, limones, manzanas, uvas.

Definiendo como variables discriminatorias  $x_1$  = diámetro de cada fruta, y  $x_2$  = grado de rojo que contiene cada fruta intentaremos construir nuestro sistema. Gráficamente podríamos representar el problema de la siguiente manera:

<sup>1</sup> En el desarrollo de este trabajo hemos seguido el libro de Pattern Recognition Principles de los autores Julius T. Tou y Rafael C. Gonzalez [ p.5]

<sup>2</sup> Castleman. Digital Processing Image [p.448]

3.

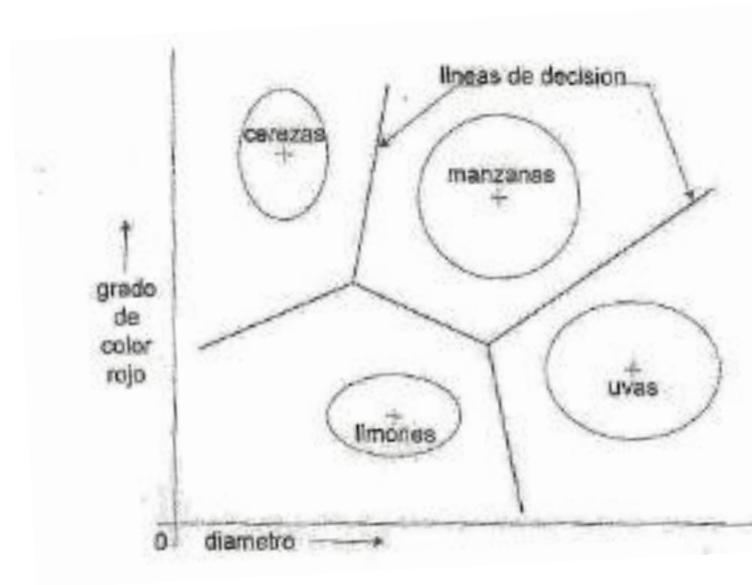


Figura 1.2 Espacio de valores mostrando fronteras de decisión:

El sistema intentará de reconocer de qué fruta se trata haciendo pasar cada fruta mediante una banda eléctrica transportadora que coloca la fruta debajo de un sensor de televisión cuya función es tomar las medidas (diámetro y cantidad de rojo) de cada fruta, y que el sistema logre enviar cada fruta a su clase determinada.

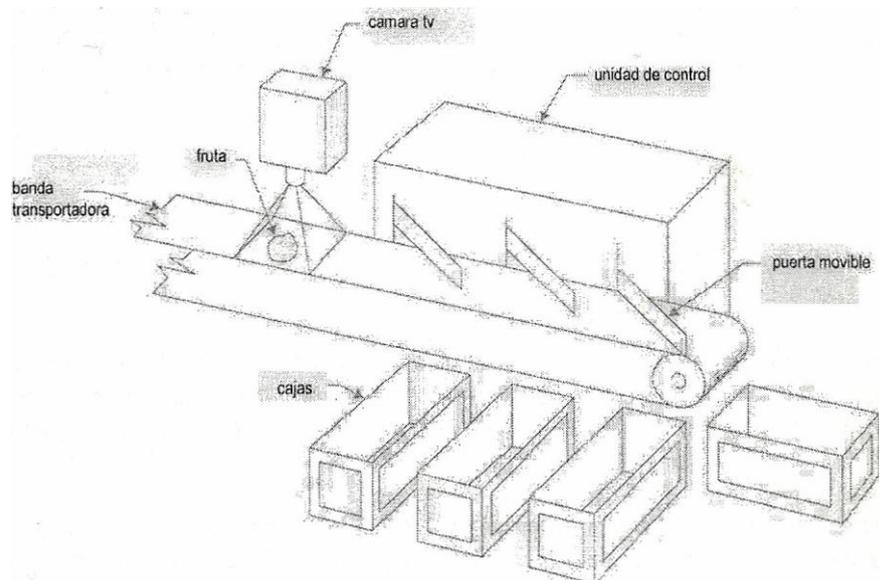


Figura 1.3 Sistema clasificador de frutas.

3 Ibidem, [ ]

## Diseño del sistema de reconocimiento de patrones

- |  |  |
|--|--|
| 1.- Diseño algoritmo localizador del objeto: | Seleccionar un algoritmo de segmentación que aislará los objetos individuales de la imagen.                            |
| 2.- Selección características:               | Decidir qué propiedades de los objetos discriminan mejor y cómo medirlas   |
| 3.- Diseño clasificador:                     | Establecer las bases matemáticas del algoritmo de clasificación y escoger la estructura del clasificador que se usará. |
| 4.- Aprendizaje del clasificador:            | Fijar parámetros ajustables, por ejemplo, fronteras de decisión, etc. en la clasificación.                             |
| 5.- Evaluación del funcionamiento:           | Estimar las tasas de los posibles errores al clasificar.   |

En la actualidad la complejidad y la orientación tecnológica de la sociedad plantea serios problemas en el manejo de la información. Se construyen sistemas de información (huellas digitales, fotografías, terrenos de cultivos, rocas, etc.) que aunado a la complejidad intrínseca de estos conceptos se suma el problema de tener grandes volúmenes de información. Uno de los mayores problemas en el diseño de los actuales sistemas de información es el reconocimiento de patrones automático el cual es el tema de estos apuntes.

### 1.2. PROBLEMA DEL MANEJO DE GRANDES VOLUMENES DE INFORMACION.

Puede pensarse que el nivel de desarrollo de una sociedad puede medirse por el monto de información y conocimientos que genera. Uno de los mayores desafíos que la sociedad actual plantea es que tiene que enfrentar la explosión de información que ha generado en las últimas décadas.

Este problema puede verse analizando la cantidad de información que se genera en el manejo de algunos sistemas. Como ejemplo citemos el sistema postal de los Estados Unidos que tiene que procesar 27 000 cartas por segundo ó 84 millones por año y esta estructura se piensa que puede alcanzar 116 billones en 1980.

En las oficinas federales de Estados Unidos se tienen 20 millones de huellas digitales y 150 millones de cuentas de derecho-habientes de Seguro Social. En 1940 había 15 millones de declaraciones de ingresos.

La Medicina está haciendo frente al problema de una explosión de información similar. Los médicos tienen que hacer frente a una gran cantidad de datos para ayudarse en el diagnóstico de las enfermedades de sus pacientes. Además de esto, debe ser capaz de recuperar los historiales clínicos de una manera rápida. El quisiera ayudarse de la experiencia de los cientos de casos similares al caso que esté analizando. Los laboratorios clínicos necesitan automatizar sistemas para leer films de rayos-X, reconocer algunas células especiales entre otras miles de células, analizar electrocardiogramas para ayudarse en el diagnóstico médico.

La Industria se enfrenta a la necesidad de contar con sistemas de información sofisticados que ayuden a las políticas de decisión de mercado. El control de calidad en la producción de piezas mecánicas u otros, necesita de sistemas de información de ayuda que elimine automáticamente las piezas defectuosas.

La industria de los bancos ha tenido que hacer frente a sistemas sofisticados de checar números de cuentas, tarjetas de crédito, etc.

El problema de la administración de los impuestos necesita de sistemas de información que trabajen a gran velocidad, que encuentren rápidamente la información, que tengan capacidad de reconocer caracteres.

Uno de los mayores problemas en el diseño de sistemas de información automatizados completamente ha sido el área de investigación y estudio de muchos grupos de diferentes disciplinas: Ingeniería, ciencia de la Computación, Teoría de la Información, Medicina, Estadística, Psicología, Biología, Fisiología, Física. Cada grupo tiene ciertos aspectos particulares al problema. Estos apuntes intentan discutir los principio fundamentales del diseño de los sistemas de reconocimiento de patrones automáticos.

### 1.3. CONCEPTOS BASICOS DEL RECONOCIMIENTO DE PATRONES.

Comencemos por establecer la terminología que utilizaremos a lo largo de este texto.

- RECONOCER será un atributo básico del ser humano así como de otros organismos vivientes. En nuestra vida pasamos todo el tiempo reconociendo, reconocemos la cara de un amigo entre una multitud de gente, reconocemos los objetos que están alrededor de nosotros y actuamos y nos movemos con relación a lo que reconocemos. Reconocemos firmas, voces, podemos leer escritos, analizar huellas digitales, distinguimos sonrisas de gestos de miedo. Reconocemos que alguien tiene razón, reconocemos una solución a un problema, construcciones mentales equivocadas. Podemos reconocer mapas, imágenes, electrocardiogramas, firmas espectrales, series de tiempo. Entonces, podemos distinguir entre 2 tipos de reconocimiento: reconocimiento de objetos concretos que involucran un reconocimiento sensorial que se realiza por medio de la vista y del oído y el reconocimiento abstracto. En este trabajo nos referiremos al primer tipo, esto es, al reconocimiento de imágenes o al reconocimiento de voz.

- PATRON o CLASE es la descripción de un objeto, se refiere al conjunto de atributos que retemos para definir un objeto. Categoría determinada por atributos comunes.

- SENSOR es el aparato que nos permite darnos cuenta...

- PROCESO DE RECONOCIMIENTO se refiere a la capacidad que tenemos para discriminar los datos de entrada y decidir que un objeto pertenece a una y sólo una de las clases o patrones que se estén estudiando.

- PROBLEMAS EN EL ESTUDIO DEL RECONOCIMIENTO DE PATRONES:  
Podemos dividir el conjunto de problemas que se presentan en el reconocimiento de patrones en dos categorías:

1. El estudio del conjunto de las capacidades humanas y de otros organismos vivientes que permite que se realice la operación de reconocer, por ejemplo cómo vemos y oímos.

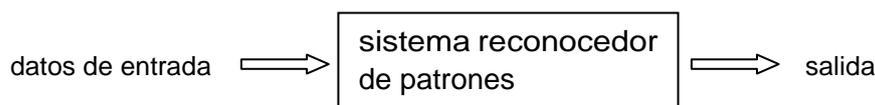
2. El estudio y desarrollo de técnicas que hacen posible lograr un reconocimiento.

El primer problema se relaciona con disciplinas como la Psicología, Fisiología y Biología. El segundo grupo se relaciona con disciplinas como la Ingeniería, la Computación y Sistemas de Información. En este libro nos referimos a los aspectos del diseño de sistemas de información que tienen que ver con el segundo grupo.

- RECONOCIMIENTO DE PATRONES puede definirse como la "categorización" de los datos de entrada en clases o patrones mediante la extracción de propiedades significativas que permiten discriminar entre las clases en estudio.

- VECTOR DE CARACTERISTICAS es el conjunto de propiedades que distinguen los objetos de las clases. Sólo se retienen las propiedades que diferencian los objetos y se dejan de un lado los detalles irrelevantes.

- SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES es un conjunto de reglas que permiten determinar a qué clase pertenece un objeto de una población en estudio.



Entre los diferentes sistemas que podemos encontrar, pueden mencionarse el problema de las predicciones de tiempo, los datos los recibimos en forma de mapas. Los diagnósticos médicos, como determinación de una enfermedad a través de los síntomas. El reconocimiento de caracteres a través de señales ópticas que identifican el nombre del carácter. En reconocimiento de discurso, identifica las palabras sobre la base de las señales acústicas recibidas. En la siguiente tabla presentamos diferentes sistemas de reconocimiento de patrones mostrando sus correspondientes datos de entrada y respuestas de salida.

Tabla 1.1. Ejemplos de sistemas reconocedores de patrones.

Tarea de clasificación	Datos de entrada	Salida o respuesta
reconocimiento de caracteres	señales ópticas o señales	nombre del carácter
reconocimiento de discurso	señales acústicas	nombre de la palabra
reconocimiento de voz	voz	nombre del orador
predicción de tiempo	mapas del tiempo	predicción
diagnóstico médico	síntomas	enfermedad
predicciones de mercado	tablas financieras	predicciones de mercado

Estas funciones son realizadas tradicionalmente por seres humanos, sin embargo, el hecho de que se las dejemos a la computadora se debe a que las computadoras pueden realizar tareas a una gran velocidad. Sin embargo, existen reconocimientos que aún no pueden ser desempeñados por las computadoras por ejemplo, la detección del sonido en el medio subacuático de un submarino es imposible ya que las señales marinas se pasan con mucho ruido a través del agua.

#### - ESQUEMA SIMPLE DE UN SISTEMA RECONOCEDOR DE PATRONES.

Para esquematizar un ejemplo de una solución a un problema de reconocimiento de patrones imaginemos que tratamos de implementar un sistema capaz de distinguir entre 4 caracteres chinos:



8.

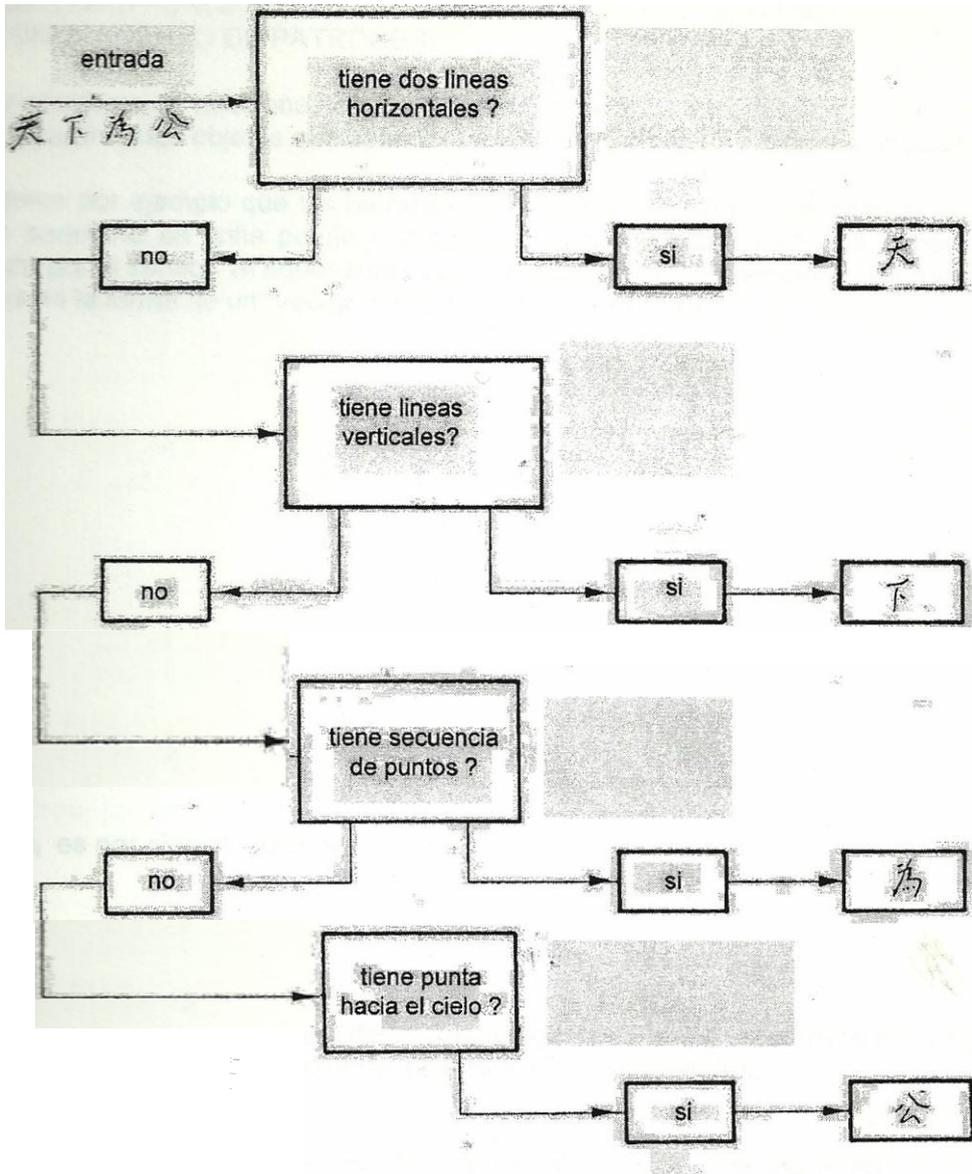


Figura 1.4 Esquema de clasificación de 4 caracteres chinos.

#### 1.4. PROBLEMAS FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES.

El primer problema se relaciona con la presentación de los datos de entrada los cuales pueden medirse a partir de los objetos que serán reconocidos. Este es un problema de sensores.

Supongamos por ejemplo que los patrones en cuestión son caracteres alfanuméricos. En este caso, un esquema de grilla puede usarse para colocar el objeto en dos dimensiones y ser reconocido por el sensor. Si suponemos que la grilla tiene  $n \times n$  elementos, las medidas pueden arreglarse en la forma de un "vector medida" de dimensión  $1 \times n^2$ .

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]'$$

En donde  $x_i$  es por ejemplo asignado el valor

$$\begin{cases} 1 & \text{si la celda } i\text{-ésima contiene una parte de caracter } y \\ 0 & \text{sino} \end{cases}$$

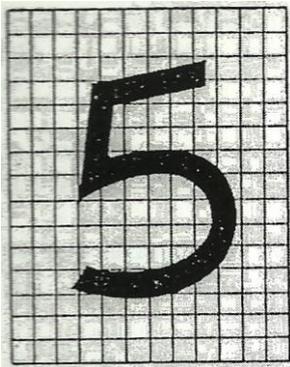
Por ejemplo si tomamos la imagen del "5" de la Figura 1.5 (a) encerrada en una grilla de  $12 \times 15$  es transformada a un vector de  $12 \times 15 = 180$  componentes.

Un segundo ejemplo se muestra en la Figura 1.5 (b). En este caso los patrones son funciones continuas (tales como señales acústicas) de la variable  $t$ .

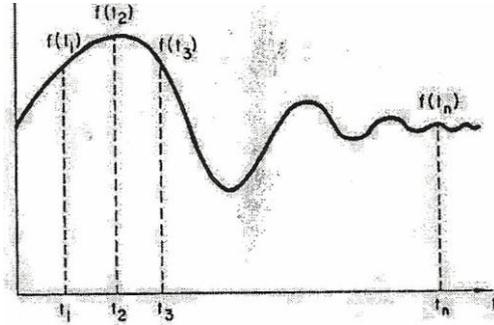
Si la función se muestra en puntos discretos  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , un vector de patrones puede formarse asignando

$$x_i = f(t_i) \quad i = 1, n$$

Hfl



$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad x_i = 0 \text{ or } 1$$



$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad x_i = f(t_i)$$

figura 1.5 Dos esquemas simples para la generalización de vectores "patrón".

cuando la información se presenta como números reales en dimensión-n es útil representar los como puntos del espacio euclidiano, como lo muestra la siguiente figura:

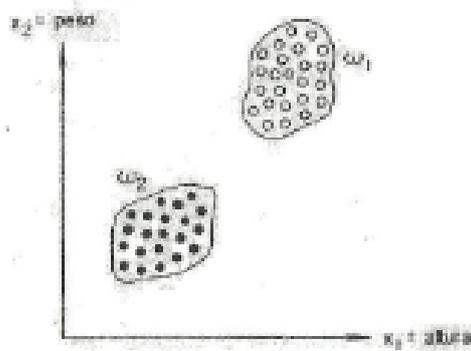


Figura 1.6 Dos patrones ajenos con 2 características

Tendremos ese tipo de figuras cuando un patrón esté caracterizado por dos medidas como es el caso de la figura en altura y peso

El segundo problema se refiere a la extracción de las características o propiedades que permiten reducir la dimensión de los datos a partir de los datos de entrada, se refiere al procesamiento de la imagen, aplicación de transformaciones, etc.

El tercer problema en un sistema de reconocimiento de patrones incluye la determinación de procedimiento de decisión óptimos que se necesitan en los procesos de identificación y clasificación

Después de haber observado los datos de los patrones que queremos clasificar nosotros queremos que la máquina decida a que clase pertenece.

Supongamos que la máquina está diseñada para reconocer M clases de patrones diferentes, denotadas por  $\omega_1 \dots \omega_M$

Entonces, el espacio de los patrones son M regiones cada una de las cuales contiene los puntos patrones de esa clase. El problema de reconocimiento puede ahora verse como el problema de generar las fronteras de decisión que separan los M patrones clases diferentes, podemos decir que estas fronteras se llaman

$$d_i(x), \quad i = 1, M$$

si

$$d_i(x) > d_j(x), \quad i, j = 1, M$$

entonces x pertenece a la clase i.

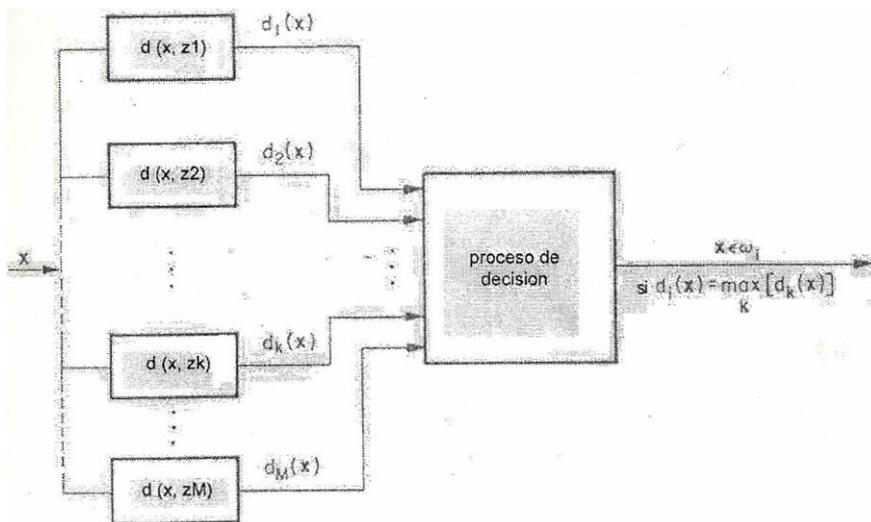


Figura 1.7 Diagrama de bloque de un clasificador de patrones.

6.  
1.5. EJEMPLOS DE SISTEMAS DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES AUTOMATICOS

La última década sido testigo del considerable interés y rápidos avances en investigación y desarrollo en reconocimiento de patrones automáticos y aprendizaje por computadora.

Existen muchos ejemplos de sistemas reconocedores de patrones. Se han hecho muchos intentos para diseñar o programar máquinas para leer caracteres impresos o manuscritos, para reconocer electrocardiogramas o electroencefalogramas, para reconocer palabras habladas, para identificar huellas digitales y para interpretar fotografías. Otras aplicaciones incluyen reconocimiento de caracteres escritos y palabras, diagnósticos médicos generales, clasificación de ondas sísmicas, detección de objetos, predicciones de tiempo e identificación de fallas y defectos en unidades mecánicas y procesos de manufactura. En esta sección consideramos algunos ejemplos ilustrativos de áreas en las cuales los conceptos de reconocimiento de patrones han sido aplicados con éxito.

1.5.1. Ejemplo de reconocimiento de 14 caracteres.

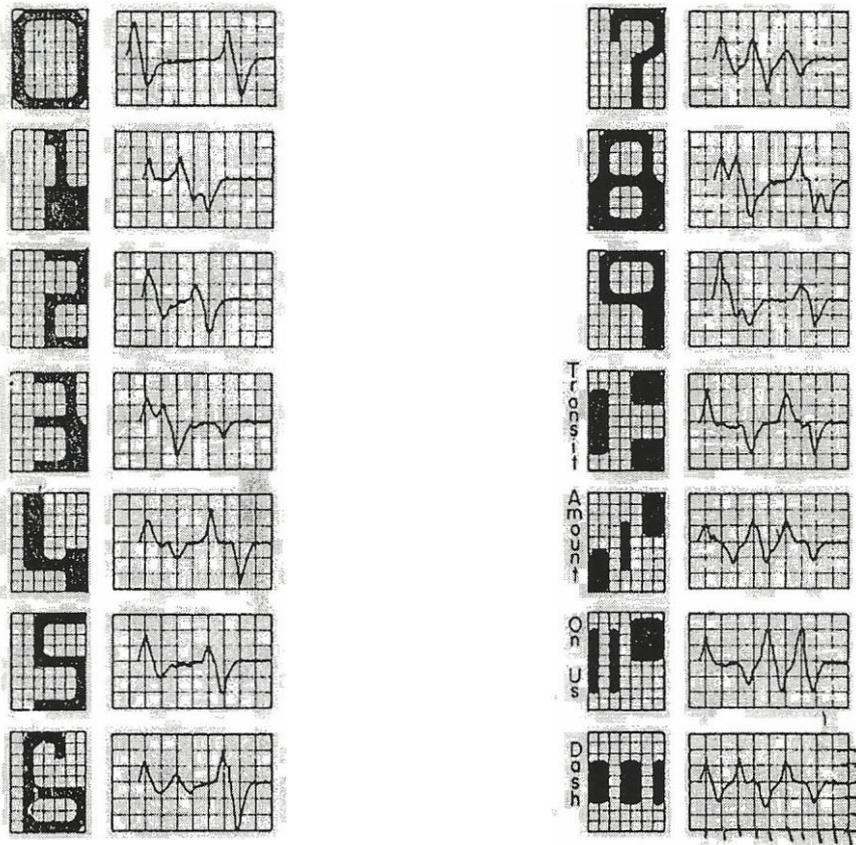


Figura 1.8 Conjunto de caracteres E-13B de "American Banks Association" con sus correspondientes "waveforms"

8.

1.5.2. Clasificación automática de datos de percepción remota

1.5.3. Aplicaciones biomédicas

## 1.6. UN MODELO SIMPLE DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Las nociones básicas que se han visto a través del capítulo, se ilustrarán a través de un ejemplo.

Un esquema simple de reconocedor de patrones consta de 2 componentes:

+ el "sensor" que convierte una muestra física del problema que se desea reconocer, en cantidades  $x = (X_1, \dots, X_n)$

+ el "categorizador" que es una unidad que asigna a cada una de estas entradas a una clase calculando un conjunto de funciones de decisión

Por otra parte, si el reconocedor de patrones asigna a un patrón a la clase  $\omega_i$  dado que en realidad ese patrón pertenecía a la clase  $\omega_j$  se dirá que se cometió un "error en la clasificación".

Si tenemos dos reconocedores diferentes R1 y R2, se dirá que el reconocedor R1 es mejor que el reconocedor R2, si la probabilidad de cometer errores con R1 es menor que la probabilidad de cometer errores con R2.

La salida del sensor es el vector de cantidades  $x = (X_1, X_2, \dots, X_n)'$ , en donde se aseguran las n medidas de cada muestra física.

Supongamos que tenemos una partición con M clases y que el vector de medidas x pertenece a una y solo una de los M patrones clases  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M$

+Supongamos que las probabilidades a priori de la ocurrencia de cada clase son equiprobables, esto es, la probabilidad de que x pertenezca a cualesquiera de las clases son iguales.

$$P(\omega_1) = P(\omega_2) = \dots = P(\omega_M)$$

$$+ \text{Sea } P(x|\omega_i) = P_i(x)$$

La función de densidad de probabilidad de x cuando x viene de la clase  $\omega_i$

Entonces la probabilidad de que una medida vector x realmente provenga de la clase  $\omega_j$  está dada por:

$$P_j = \frac{P(x|\omega_j)}{\sum_{k=1}^M P(x|\omega_k)}$$

3 Ejemplos de sistemas de reconocimiento de patrones. Este ejemplo lo trataremos en el capítulo de Aplicaciones.  
e ejemplo lo tratamos en el capítulo que trata de Patrones Sintácticos

+La probabilidad de que x no provenga de la clase  $\omega_j$  es:

$$P_j = 1 - P_j = 1 - \frac{P(x|\omega_j)}{\sum_{k=1}^M P(x|\omega_k)}$$

la cual es la probabilidad de error.

Una función de decisión  $d(x)$  asigna a cada x exactamente una de las M clases. Una función de decisión óptima  $d^0(x)$  es aquella para la cual la probabilidad de error es la más pequeña que cualquier valor posible de x.

El valor de j para la cual  $1 - P_j$  es el más pequeño es también el valor de j para la cual  $P(x|\omega_j)$  es el mayor. Así, la función de decisión óptima  $d^0(x)$  asigna a la clase  $\omega_j$  sí y solo si

$$P(x|\omega_i) > P(x|\omega_j) \text{ para toda } j \neq i$$

Esto es: 
$$\frac{P(x|\omega_i)}{P(x|\omega_j)} > 1 \quad \forall j \neq i$$

Cuando  $P(x|\omega_i) = P(x|\omega_k) \quad i \neq k$  y  $P(x|\omega_i) > P(x|\omega_j) \quad j=1, M \text{ y } i \neq j$

la función de decisión óptima  $d^0(x)$  puede asignar x ya sea a  $\omega_j$  o  $\omega_k$  Para un valor dado de x, el categorizador determina la función de decisión óptima.

+Ahora, supongamos que los valores promedios se distribuyen como una Normal con varianzas y covarianzas iguales y la matriz de covarianza es de la forma:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2n} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_{nn} \end{bmatrix}$$

en donde  $\sigma_{ij}$  es la covarianza entre las componente i-ésima y la componente j-ésima del vector de medidas  $\mathbf{x}$  y  $\sigma_{ii}$  es la varianza de la componente i-ésima

La expresión para una normal  $P(\mathbf{x} | \omega_j)$  es:

$$P(\mathbf{x} | \omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mu_i)' \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \mu_i)\right]$$

en donde  $\mu_i$  es el vector de medias, la razón de dos densidades de probabilidad condicional  $P(\mathbf{x} | \omega_i)$  y  $P(\mathbf{x} | \omega_j)$  es

$$\frac{P(\mathbf{x} | \omega_i)}{P(\mathbf{x} | \omega_j)} = \exp\left\{-\frac{1}{2}[(\mathbf{x} - \mu_i)' \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \mu_i) - (\mathbf{x} - \mu_j)' \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \mu_j)]\right\}$$

Ya que la matriz de varianza-covarianza es simétrica, esta razón de probabilidad se reduce a:

$$\frac{P(\mathbf{x} | \omega_i)}{P(\mathbf{x} | \omega_j)} = \exp\left[x' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j) - \frac{1}{2}(\mu_i + \mu_j)' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j)\right]$$

Definiendo

$$r_{ij}(\mathbf{x}) = \ln \frac{P(\mathbf{x} | \omega_i)}{P(\mathbf{x} | \omega_j)}$$

tenemos que la función de reconocimiento está dada por:

$$r_{ij}(\mathbf{x}) = x' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j) - \frac{1}{2}(\mu_i + \mu_j)' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j)$$

La función de reconocimiento óptima se determina formando las  $M(M-1)$  cantidades y tomando la mayor de estas cantidades.  $r_{ij}(\mathbf{x}) \quad \forall i, j \quad i \neq j$

Si  $r_{kj}(\mathbf{x})$  es la mayor, se dirá que  $\mathbf{x}$  pertenece a la clase  $\omega_k$ . Sobre la base del análisis anterior, el esquema de reconocimiento óptimo se muestra en la siguiente figura:

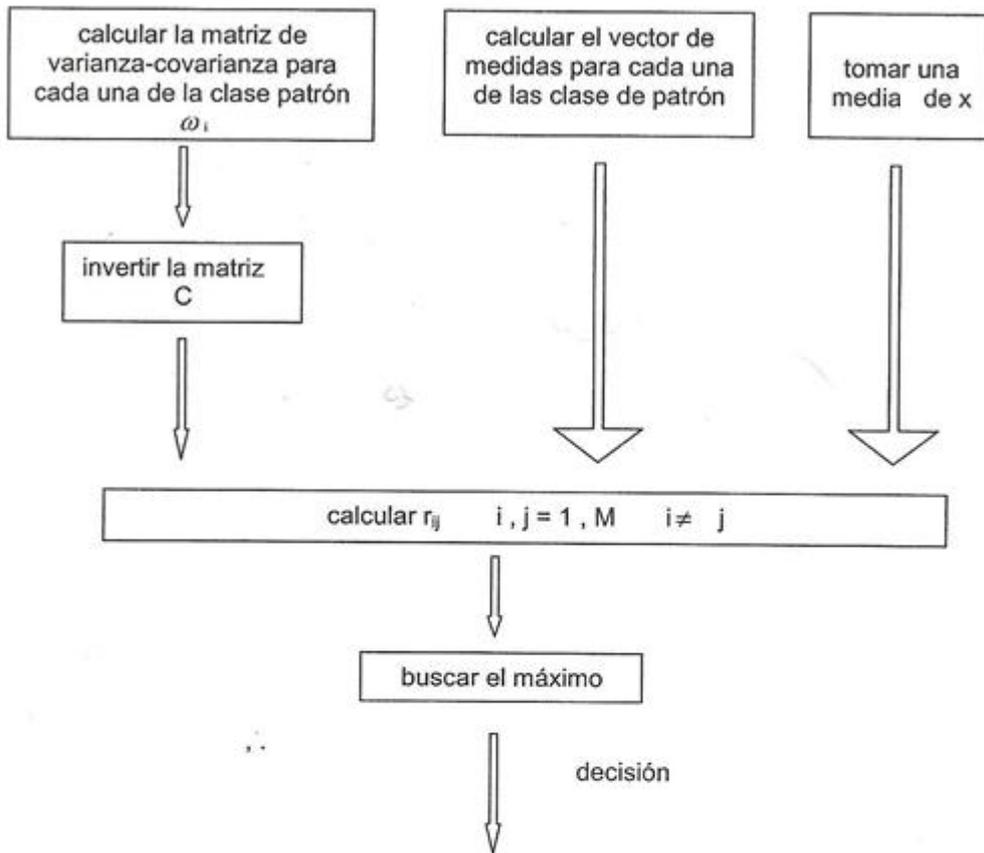


Figura 1.9 Un esquema simple de reconocimiento [34]

Se nota que la ecuación

$$r_{ij}(\mathbf{x}) = \mathbf{x}' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j) - \frac{1}{2} (\mu_i + \mu_j)' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j) = 0$$

describe el hiperplano en el espacio de dimensión  $n$  el cual divide el espacio en 2 parte para el caso de 2 clases:

$$\begin{aligned} r_{ij} > 0 & \text{ para } \mathbf{x} \in \omega_i \\ r_{ij} < 0 & \text{ para } \mathbf{x} \in \omega_j \end{aligned}$$

Aquí,  $r_{ij} = 0$  forma la frontera de decisión entre la  $i$ -ésima clase y la  $j$ -ésima clase.