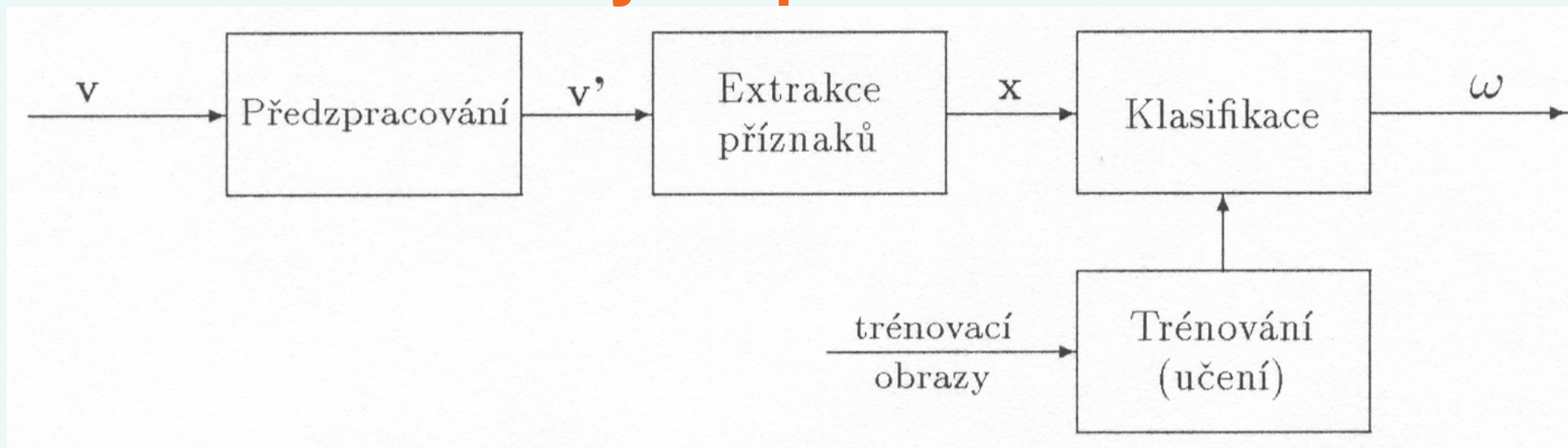


## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

### Příznakové metody rozpoznávání



**Obrazy objektů reprezentovány vektory příznaků  $x$  ,  
zařazování obrazů do tříd – klasifikace deterministickým nebo  
stochastickým rozhodovacím pravidlem ve tvaru**

$$\omega = d(x) , \text{ resp. } \omega = d(x, q) ,$$

**kde  $x$  je klasifikovaný obraz objektu,  
 $q$  je vektor nastavení klasifikátoru.**

## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

---

**Jako obraz (vektor příznaků) lze použít např.:**

1. naměřené veličiny přímo,
2. spektrální koeficienty,
3. logaritmus kvadrátu spektra posloupnosti vzorků, např.  
 $10 * \log |\mathbf{V}|^2$ , kde  $\mathbf{V}$  je Fourierův obraz vektoru  $\mathbf{v}$ ,
4. histogram jednoho řádku snímku,
5. úhlové projekce (např. po 45 stupních) průsečíků průvodiče se sejmutým znakem,
6. řetězový kód středové osy podpisu,
7. ortogonální nebo biortogonální transformace signálů aj.

## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

---

### Příznakové metody rozpoznávání dělíme na

1. „klasické“ statistické metody rozpoznávání, založené na použití tzv. diskriminačních funkcí (Fisher) nebo pravděpodobnostech příslušnosti ke klasifikačním třídám (Bayes) ;
2. metody založené na strojovém učení – učení z příkladů; rozlišujeme
  - učení s učitelem (supervised learning) nebo
  - učení bez učitele (unsupervised learning) ;
3. metody založené na použití umělých neuronových sítí, tzv. neuronové klasifikátory .

## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

---

### Klasifikátor s diskriminační funkcí

Pro každou třídu definujeme takovou diskriminační funkci, aby pro všechny obrazy patřící do  $r$ -té klasifikační třídy platilo

$$g_r(x) > g_s(x) \quad | \quad r \in \langle 1, R \rangle, \quad s = 1, \dots, R, \quad r \neq s.$$

Rozhodovací pravidlo pak nabývá tvaru

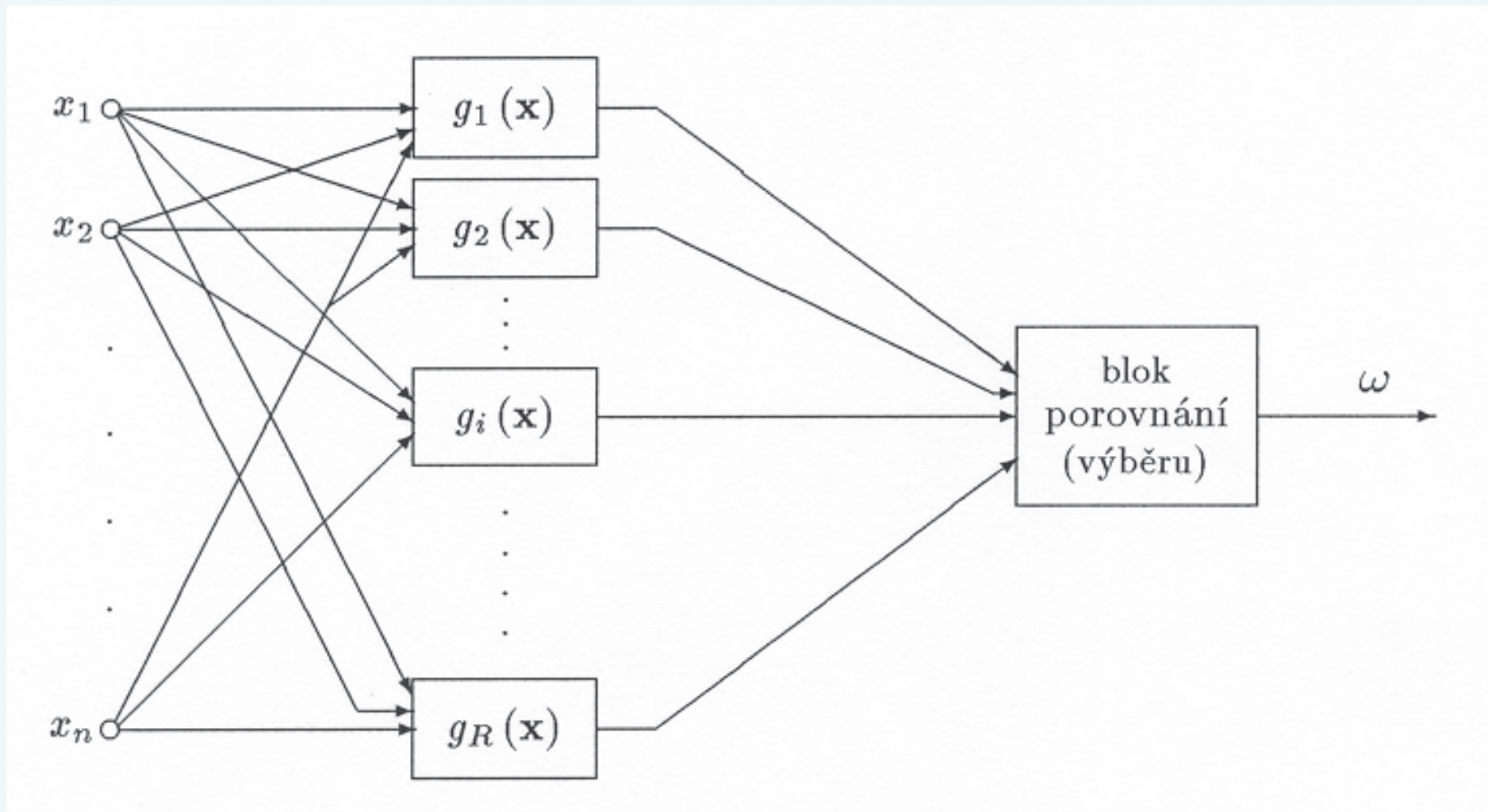
$$\omega_r = \max (g_s(x)), \quad s = 1, \dots, R$$

a rovnice rozdělujících nadploch určíme řešením soustavy rovnic

$$g_r(x) - g_s(x) = 0 \quad | \quad r, s = 1, \dots, R, \quad r \neq s.$$

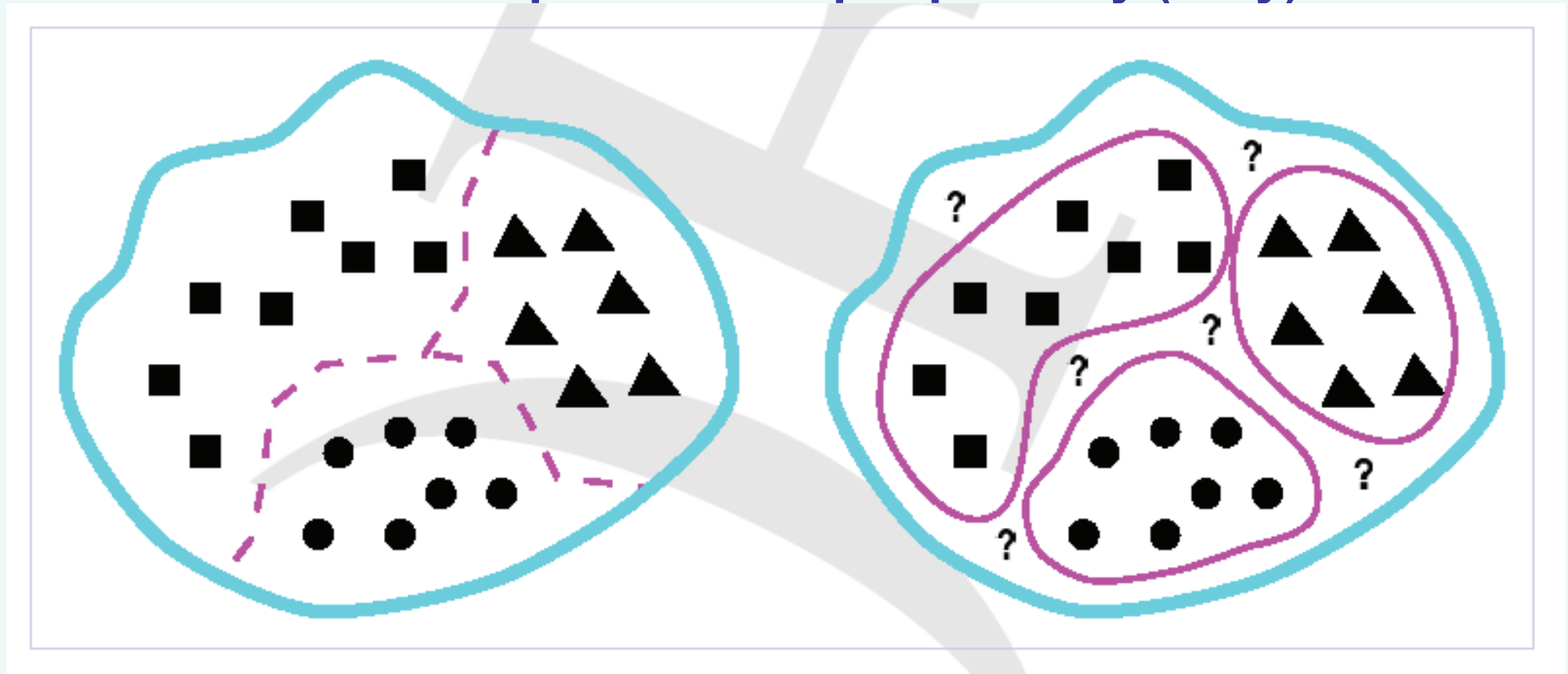
## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

### Struktura klasifikátoru



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

### Rozklad obrazového prostoru na podprostory (třídy)

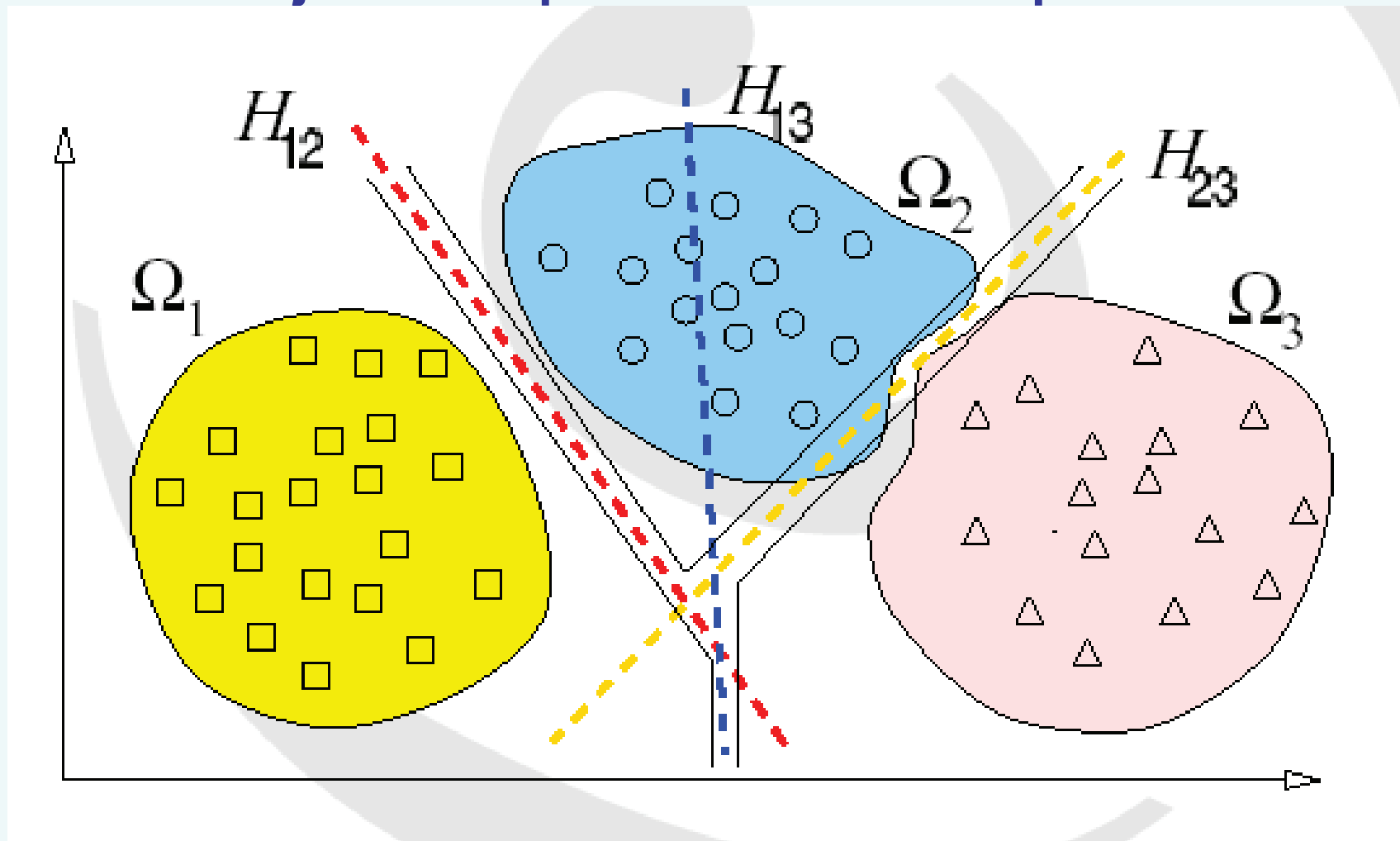


a) s rozdělovacími nadplochami

b) s obalovými třídami

## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

### Určení rozdělovacích nadploh v obrazovém prostoru



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

---

**Klasifikátor na principu kritéria minimální vzdálenosti**  
(porovnávání klasifikovaných obrazů se vzorovými obrazy – tzv. etalony)

Lze použít v úlohách s oddělitelnými množinami obrazů (třídami) – ve fázi trénování se vytvoří vzorové obrazy (etalony) jednotlivých tříd – označme je  $\mathbf{e}_s$ ,  $s = 1, \dots, R$ .

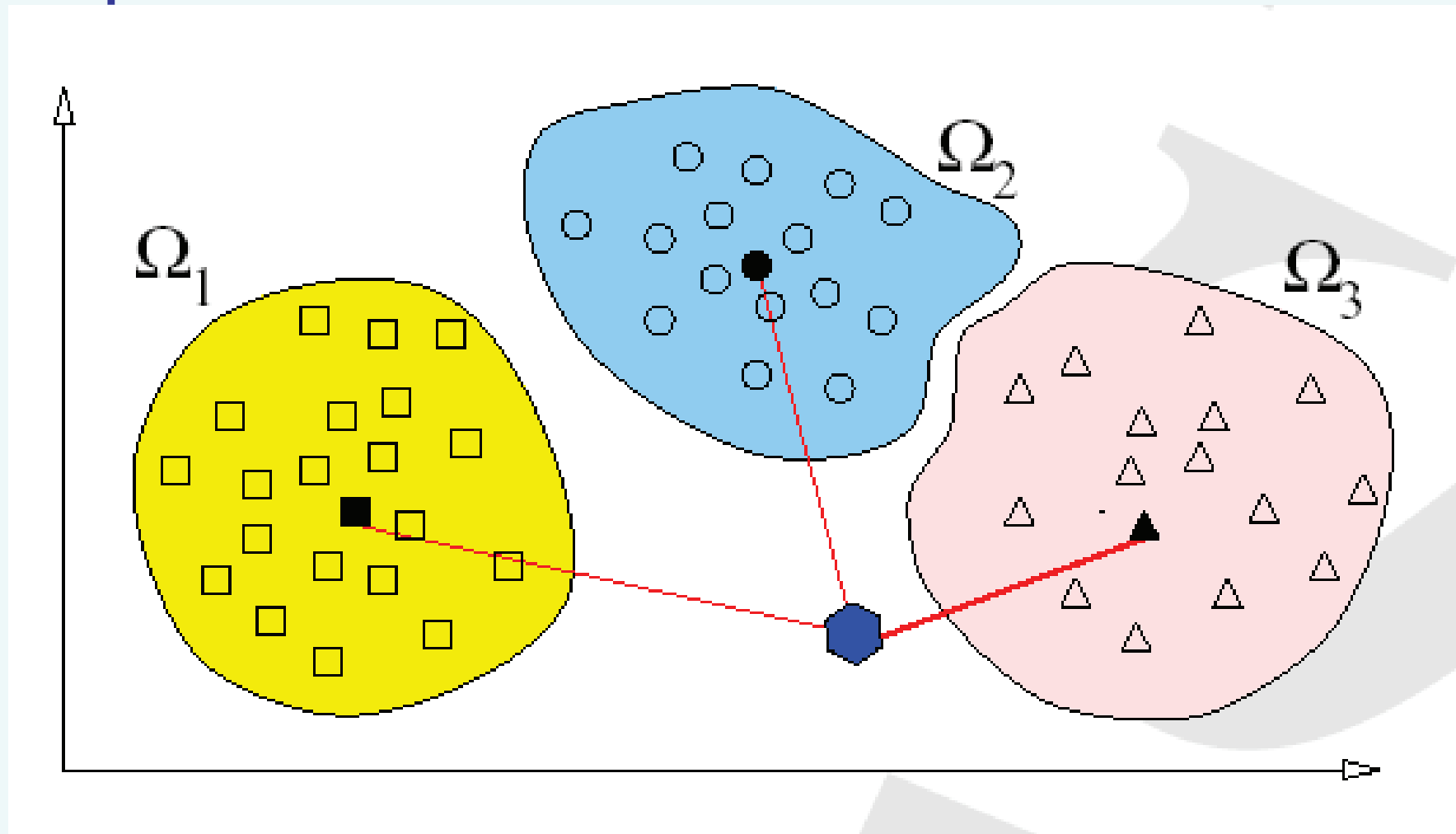
Neznámé obrazy pak klasifikujeme pravidlem

$$\omega_r = \|\mathbf{e}_r - \mathbf{x}\| = \min \|\mathbf{e}_s - \mathbf{x}\|, \quad s = 1, \dots, R$$



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

Princip:



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

---

### Kritérium minimální chyby (Bayesův klasifikátor)

Pro úlohy s neoddělitelnými (prolínajícími se) třídami obrazů – příslušnost k třídě lze určit jen s určitou pravděpodobností:

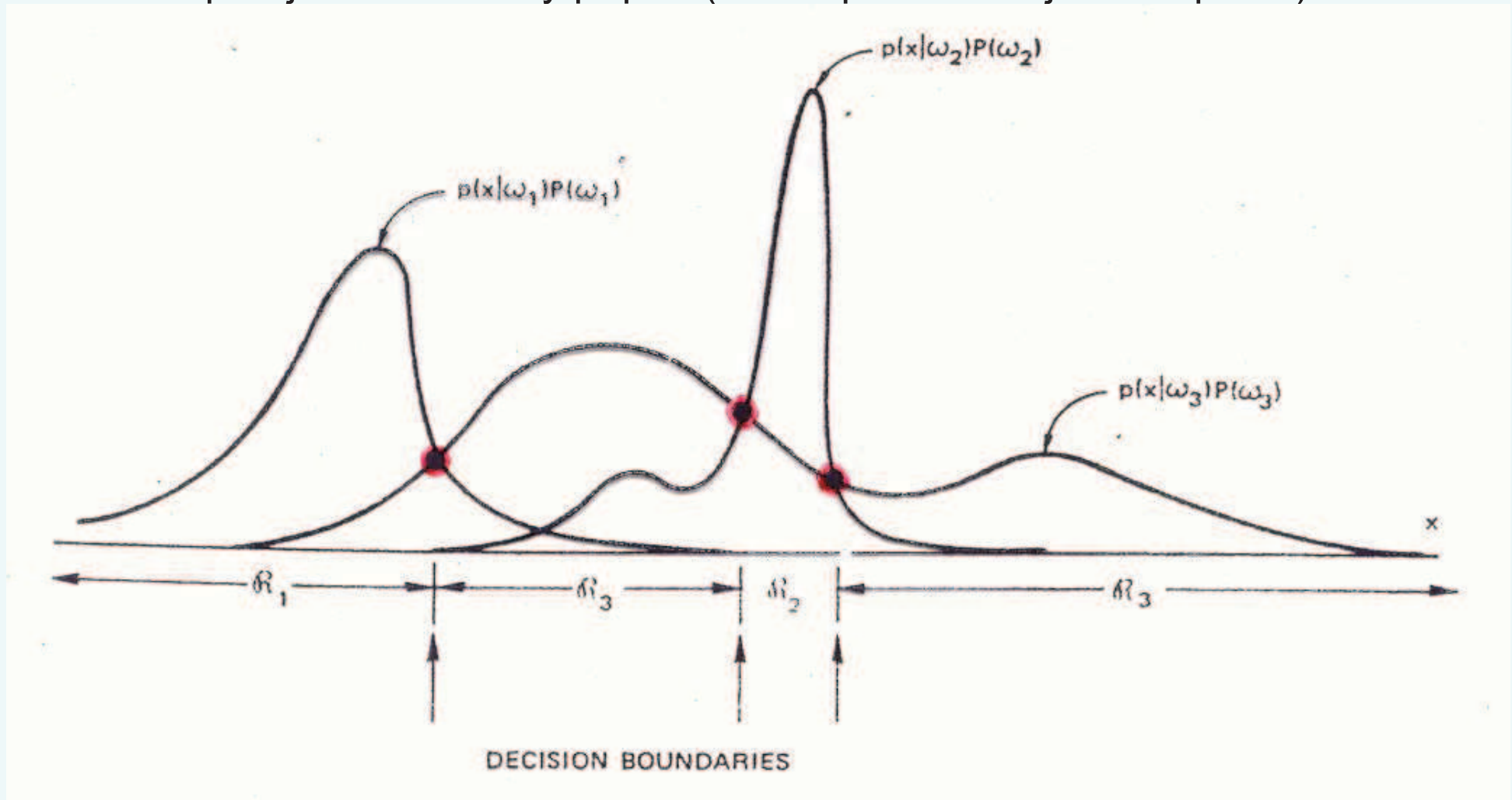
Kritérium minimální chyby využívá k popisu úlohy pravděpodobnostního zápisu. Potom hodnotu  $\omega$  pokládáme za náhodnou proměnnou. Pokud bychom znali pouze hodnoty apriorních pravděpodobností  $P(\omega_i)$ , zařazovali bychom všechny obrazy do té třídy  $\omega_r$ , která má nejvyšší apriorní pravděpodobnost  $P(\omega_r)$ . To by však bylo chybné. Pravděpodobnost této chyby můžeme vyjádřit jako  $1 - P(\omega_r)$ .

Většinou se nemusíme rozhodovat jen podle apriorních pravděpodobností tříd  $P(\omega_i)$ , ale máme k dispozici i hodnotu vektoru příznaků  $\mathbf{x}$  a všechny podmíněné hustoty rozdělení pravděpodobnosti  $p(\mathbf{x} | \omega_r)$ .

Tyto podmíněné hustoty pravděpodobnosti vyjadřují rozložení hodnot  $\mathbf{x}$  uvnitř jednotlivých tříd; získáme je trénováním klasifikátoru. Histogram četností výskytu jednotlivých obrazů uvnitř jedné třídy je dobrým odhadem hustoty pravděpodobnosti.

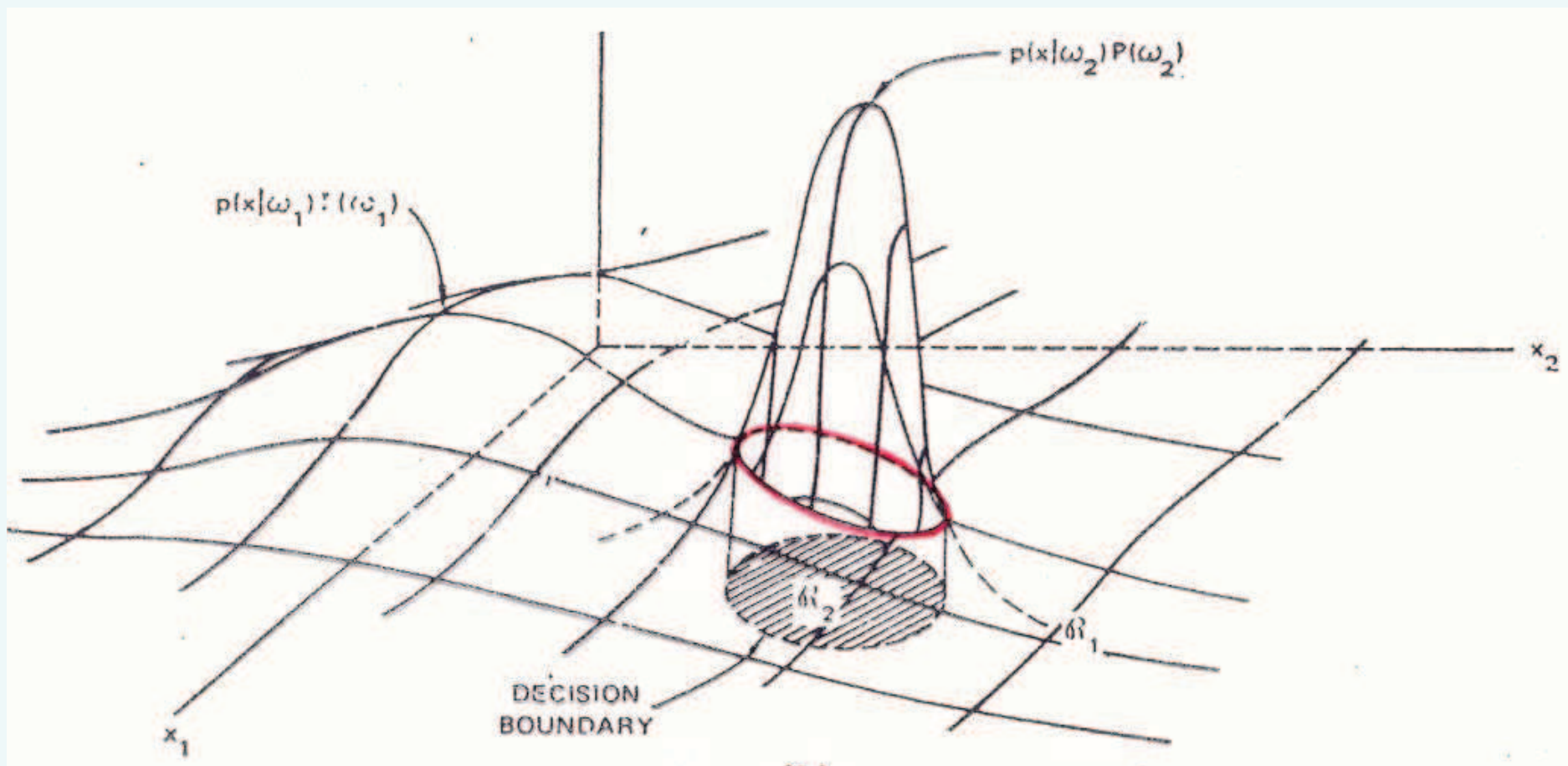
## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

Příklad – pro jednorozměrný případ (vektor příznaků o jednom prvku):



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

Dvourozměrný případ:



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

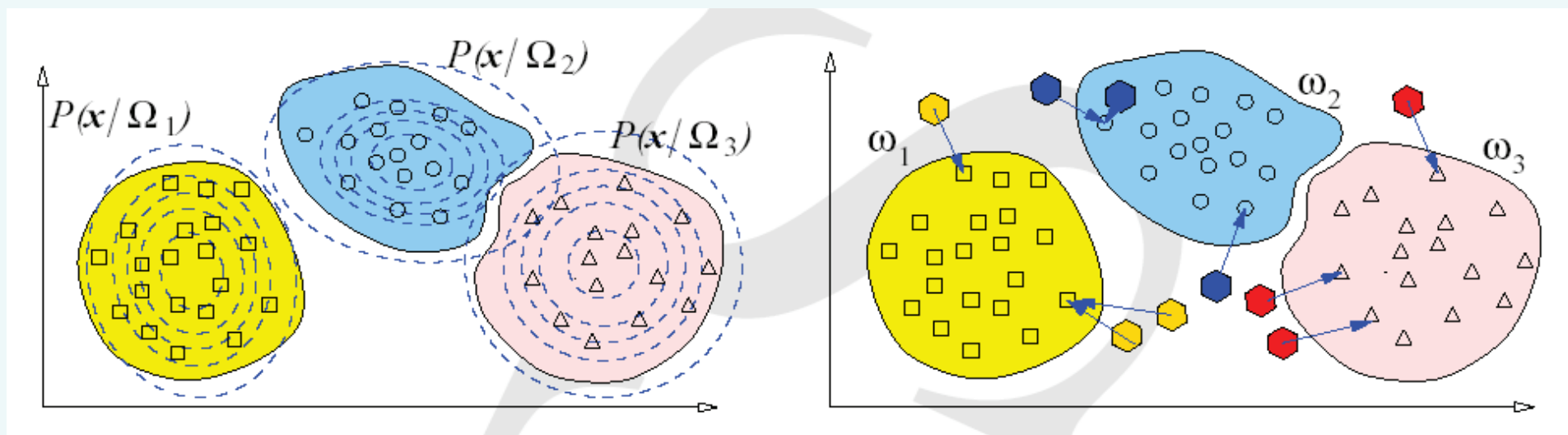
Pravděpodobnost (tzv. a posteriori pravděpodobnost), že obraz  $\mathbf{x}$  přísluší do třídy s identifikátorem  $\omega_r$ , je dána vztahem

$$P(\omega_s / x) = \frac{p(x / \omega_s) \cdot P(\omega_s)}{p(x)} , \quad p(x) = \sum_{i=1}^R p(x / \omega_i) \cdot P(\omega_i) .$$

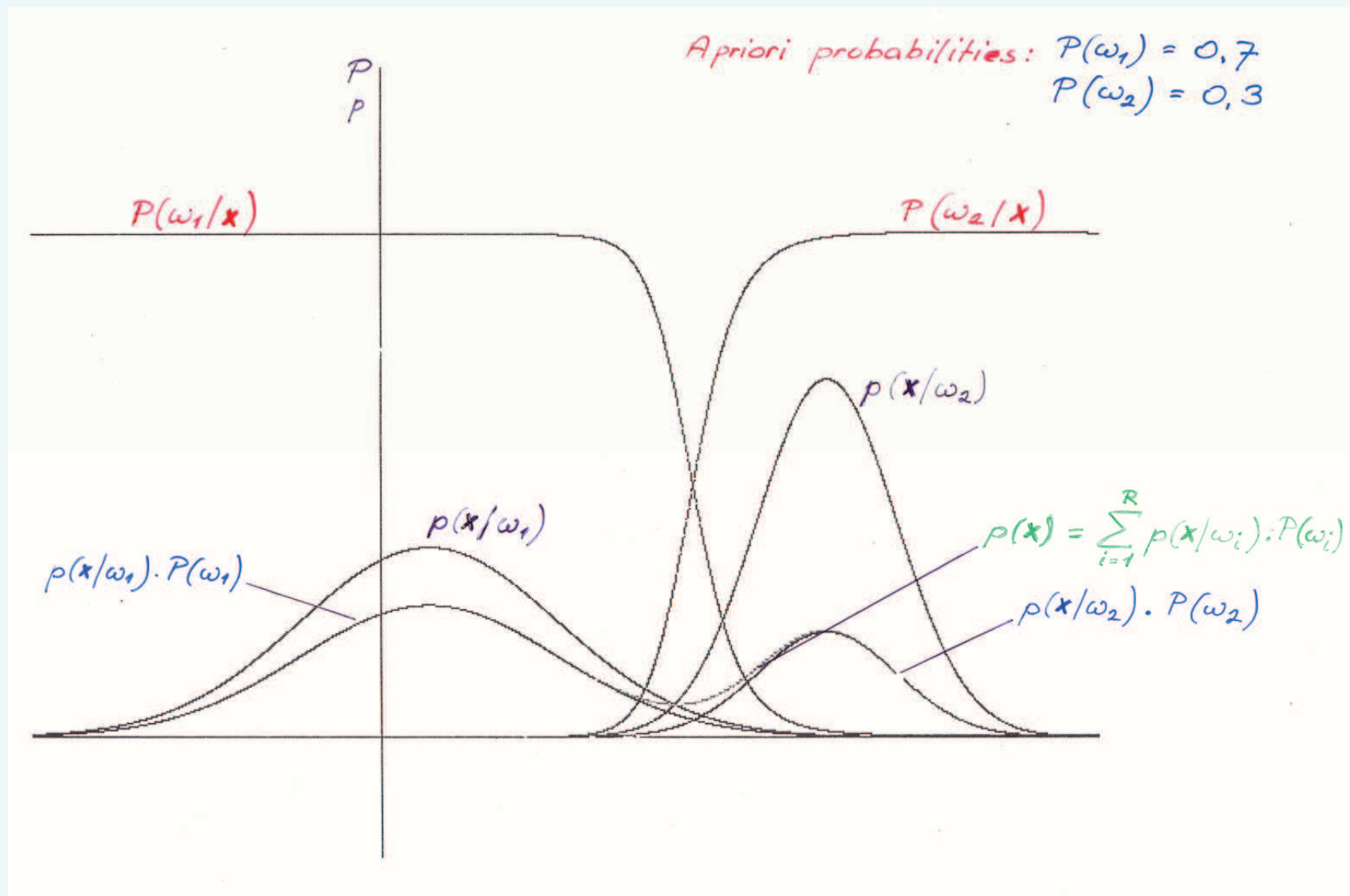
Rozhodovací pravidlo pro zařazení objektu do  $r$ -té třídy pak má tvar:

$$\omega_r = \max_{\forall s} (P(\omega_s / x)) , \quad s = 1, \dots, R .$$

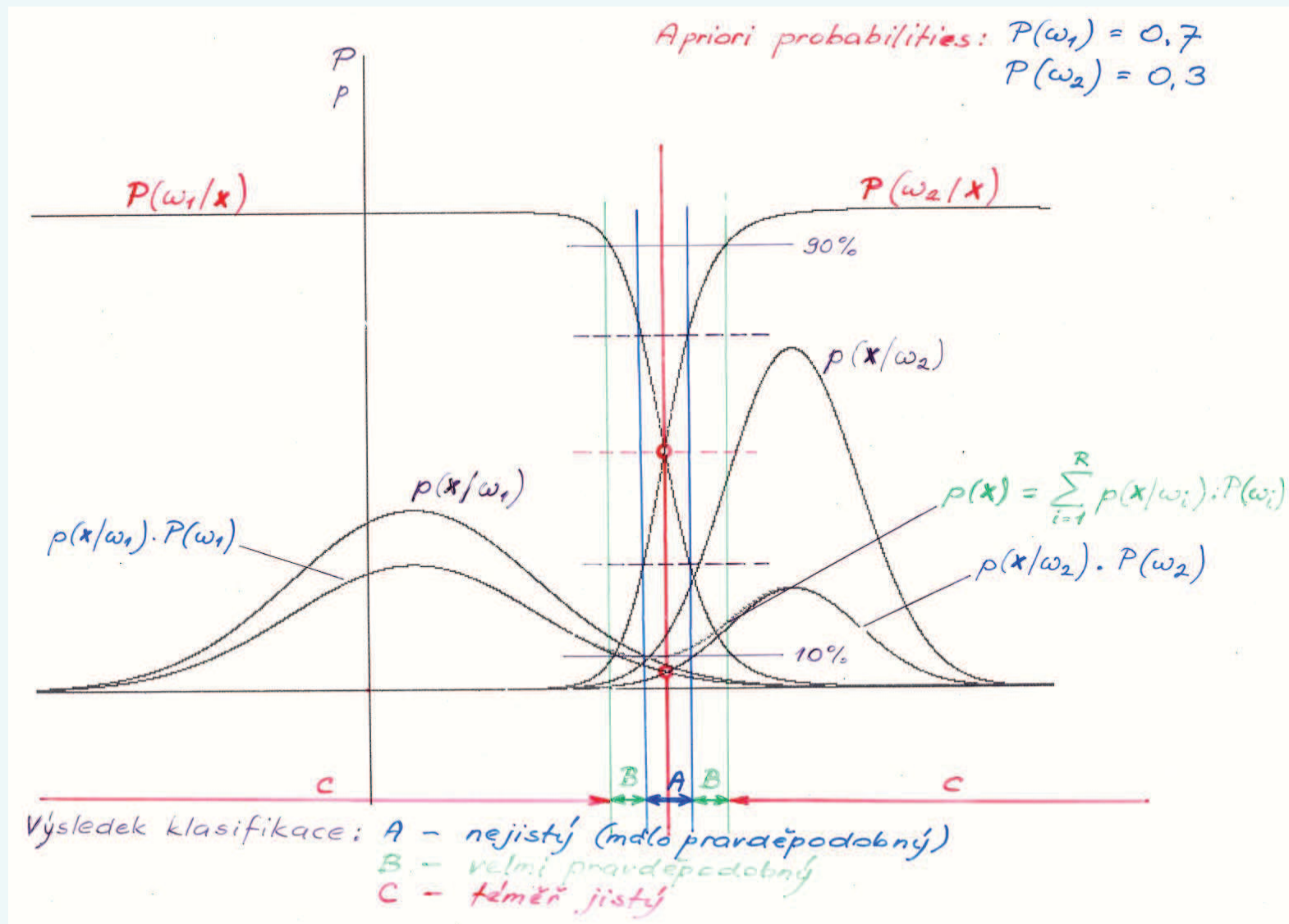
**Ilustrace:**



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování



## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování





## 4. Klasifikace, rozpoznávání a shlukování

