

Mustererkennung: AdaBoost

Gegeben sei eine Menge schwacher (einfacher, schlechter) Klassifikatoren
Man bilde einen guten durch eine „geschickte“ Kombination der schwachen.

Vergleiche mit SVM – komplizierte Merkmalsräume, *ein* Klassifikator.

Ausgangspunkt:

- Die Menge der schwachen Klassifikatoren $\mathcal{H}$
Beispiel: lineare Klassifikatoren für zwei Klassen $h \in \mathcal{H} : \mathcal{X} \rightarrow \{-1, +1\}$

$$h(x) = \text{sign}(\langle x, w \rangle + b)$$

- Eine klassifizierte Lernstichprobe
 $((x_1, k_1), (x_2, k_2) \dots (x_m, k_m)), x_i \in \mathcal{X}, k_i \in \{-1, +1\}$

Gesucht wird ein Klassifikator

$$f(x) = \text{sign}\left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x)\right)$$

mit $h_t \in \mathcal{H}$, $\alpha_t \in \mathbb{R}$, der die Lernstichprobe richtig (oder am besten) separiert.

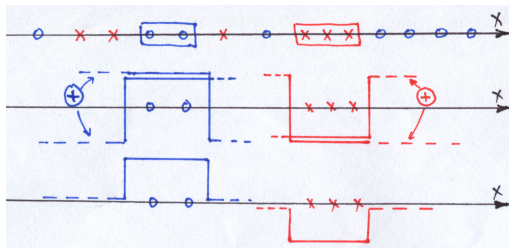
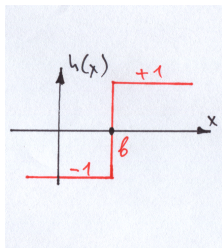
Fragen:

- Ist es überhaupt für eine beliebige Lernstichprobe möglich?
- Eigenschaften der Konvergenz, Generalisierbarkeit.

Mächtigkeit der Menge der Entscheidungsstrategien

Ja, es ist für eine beliebige (endliche) Lernstichprobe möglich
(wenn die Anzahl der zu verwendeten Klassifikatoren nicht eingeschränkt ist).

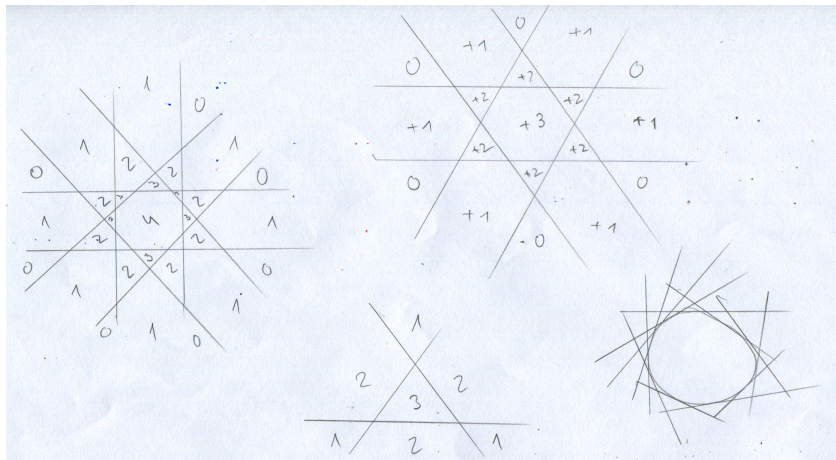
Beispiel mit $x \in \mathbb{R}$, d.h. $h(x) = \text{sign}(\langle x, w \rangle + b) = \pm \text{sign}(x - b)$



Der Klassifikator wird aus einfachen Klassifikationen gebildet,
die jeweils für ein bestimmtes Muster die richtige Klasse liefern und
„neutral“ für alle anderen sind.

Mächtigkeit der Menge der Entscheidungsstrategien

Beispiele für $x \in \mathbb{R}^2$



Gegeben: $((x_1, k_1), (x_2, k_2) \dots (x_m, k_m))$, $x_i \in \mathcal{X}$, $k_i \in \{-1, +1\}$

Initialisiere **Gewichte** für alle Beispiele mit $D^{(1)}(i) = 1/m$

Für $t = 1, \dots, T$

1. Wähle (lerne) einen schwachen Klassifikator $h_t \in \mathcal{H}$
unter Berücksichtigung aktueller Gewichte $D^{(t)}$
2. Wähle α_t
3. Aktualisiere die Gewichte:

$$D^{(t+1)}(i) = \frac{D^{(t)}(i) \cdot \exp(-\alpha_t y_i h_t(x_i))}{Z_t}$$

mit der Normierungskonstante Z_t so, dass $\sum_i D^{(t+1)}(i) = 1$.

Der „starke“ Klassifikator ist:

$$f(x) = \text{sign}\left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x)\right)$$

1. Wähle (lerne) einen schwachen Klassifikator $h_t \in \mathcal{H}$.

$$h_t = \arg \min_{h \in \mathcal{H}} \epsilon(D^{(t)}, h) = \arg \min_{h \in \mathcal{H}} \sum_i D^{(t)}(i) \cdot \mathbb{I}(y_i, h(x_i))$$

d.h. wähle den besten bezüglich aktueller $D(i)$ – (SVM)

Voraussetzung: $\epsilon(D^{(t)}, h) < 1/2$

– der beste h_t soll nicht schlechter sein, als eine zufällige Entscheidung.
Anderenfalls – Abbruch.

2. Wähle α_t . Das Ziel ist, $f(x)$ so zu konstruieren, dass sein Fehler $\epsilon(f) = \sum_i \mathbb{I}(y_i, f(x_i))$ minimal ist.

Obere Schranke für den Fehler ist $\epsilon(f) \leq \prod_{t=1}^T Z_t$.

$\Rightarrow$ wähle α_t (gerig) so dass Z_t minimal ist.

$$Z_t = \sum_i D^{(t)}(i) \cdot \exp(-\alpha_t y_i h_t(x_i)) \rightarrow \min_{\alpha_t}$$

Die Aufgabe ist konvex und differenzierbar $\rightarrow$

$$\alpha_t = 1/2 \ln \left(\frac{1 - \epsilon(D^{(t)}, h_t)}{\epsilon(D^{(t)}, h_t)} \right)$$

3. Aktualisiere die Gewichte:

$$D^{(t+1)}(i) \sim D^{(t)}(i) \cdot \exp(-\alpha_t y_i h_t(x_i))$$

Merke: $\alpha_t > 0$

$$y_i h_t(x_i) > 0 \text{ (richtig klassifiziert)} \Rightarrow \exp(-\alpha_t y_i h_t(x_i)) < 1$$

$$y_i h_t(x_i) < 0 \text{ (falsch klassifiziert)} \Rightarrow \exp(-\alpha_t y_i h_t(x_i)) > 1$$

Die (aktuell) falsch klassifizierten Muster werden stärker gewichtet

$\Rightarrow$ der Klassifikator h_{t+1} in der nächsten Runde wird versuchen gerade diese richtig zu klassifizieren.

-
- Beispiel von Matas
 - Beispiele von Freund: <http://cseweb.ucsd.edu/~yfreund/adaboost/>

Geschichte (Arbeiten):

- 1990 – Boost-by-majority algorithm (Freund)
- 1995 – AdaBoost (Freund & Schapire)
- 1997 – Generalized version of AdaBoost (Schapire & Singer) (**heute**)
- 2001 – AdaBoost in Face Detection (Viola & Jones)

Interessante Eigenschaften:

- AB ist eine einfache Kombination linearer Klassifikatoren – sehr einfach.
- AB konvergiert zum Logarithmus der Likelihood-Verhältnis.
- AB hat gute Generalisierbarkeit (?).
- AB ist ein Merkmalselektor.

Viola & Jones (CVPR 2001): Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features

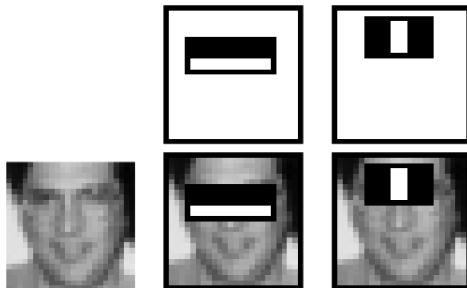
Haar Merkmale – schnell berechenbar

24×24 Fenster $\times \dots \rightarrow 180.000$ Merkmalswerte pro Position!!!

Ein „schwacher“ Klassifikator

– Wert der Faltung mit Haar-Maske $\leq$ (optimaler) Schwellwert

AdaBoost für das Lernen – Auswahl der Merkmale



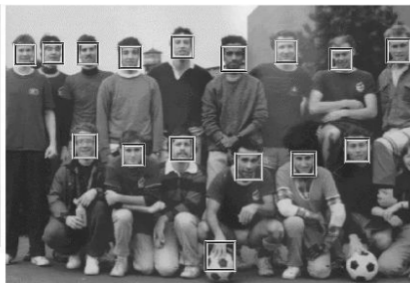
Die zwei beste Merkmale

Die besseren – 0.1 bis 0.3 Fehler, die später gewählten – 0.4 bis 0.5

Etwas extra noch...

Viola & Jones (CVPR 2001): Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features

Datenbank: 130 Bilder, 507 Gesichter



Gesamtfehlerrate – ca. 7%