



Bergische Universität Wuppertal

Wissenschaftliches Rechnen und Hochleistungsrechnen

Dr. Marcel Schweitzer

Bachelor-Seminar „Top 10 Algorithms in Data Mining“

AdaBoost

Marius Graf

06.12.2023

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial

Inhalt

- 1 **Einleitung**
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial

Was ist Data Mining?



- ▶ **Analysiert** große Datenmengen, um Muster und Zusammenhänge zu erkennen.
- ▶ Nutzt dabei Methoden aus der **Statistik**, dem **Machine Learning** und Datenbanktechnologien.
- ▶ Spielt zentrale Rolle in der Forschung und Industrie, um Erkenntnisse zu gewinnen und Entscheidungen zu unterstützen.

Was ist Data Mining?



- ▶ **Analysiert** große Datenmengen, um Muster und Zusammenhänge zu erkennen.
- ▶ Nutzt dabei Methoden aus der **Statistik**, dem **Machine Learning** und Datenbanktechnologien.
- ▶ Spielt zentrale Rolle in der Forschung und Industrie, um Erkenntnisse zu gewinnen und Entscheidungen zu unterstützen.



Was ist Data Mining?



- ▶ **Analysiert** große Datenmengen, um Muster und Zusammenhänge zu erkennen.
- ▶ Nutzt dabei Methoden aus der **Statistik**, dem **Machine Learning** und Datenbanktechnologien.
- ▶ Spielt zentrale Rolle in der Forschung und Industrie, um Erkenntnisse zu gewinnen und Entscheidungen zu unterstützen.

Was sind Ensemble-Methoden?

- ▶ **Ensemble-Verfahren: Kombinieren** mehrere Modelle für präzisere Vorhersagen
- ▶ **Fehlerminimierung:** Reduzieren von **systematischen Fehlern** in Modellprognosen
- ▶ **Arten von Ensemble-Methoden:**
 - ▶ Bagging
 - ▶ Stacking
 - ▶ Boosting
- ▶ **AdaBoost** gehört zu den **Boosting-Verfahren**

Was sind Ensemble-Methoden?

- ▶ **Ensemble-Verfahren: Kombinieren** mehrere Modelle für präzisere Vorhersagen
- ▶ **Fehlerminimierung:** Reduzieren von **systematischen Fehlern** in Modellprognosen
- ▶ **Arten von Ensemble-Methoden:**
 - ▶ Bagging
 - ▶ Stacking
 - ▶ Boosting
- ▶ **AdaBoost gehört zu den Boosting-Verfahren**

Was sind Ensemble-Methoden?

- ▶ **Ensemble-Verfahren: Kombinieren** mehrere Modelle für präzisere Vorhersagen
- ▶ **Fehlerminimierung:** Reduzieren von **systematischen Fehlern** in Modellprognosen
- ▶ **Arten von Ensemble-Methoden:**
 - ▶ Bagging
 - ▶ Stacking
 - ▶ Boosting
- ▶ AdaBoost gehört zu den Boosting-Verfahren

Was sind Ensemble-Methoden?

- ▶ **Ensemble-Verfahren: Kombinieren** mehrere Modelle für präzisere Vorhersagen
- ▶ **Fehlerminimierung:** Reduzieren von **systematischen Fehlern** in Modellprognosen
- ▶ **Arten von Ensemble-Methoden:**
 - ▶ Bagging
 - ▶ Stacking
 - ▶ Boosting
- ▶ **AdaBoost gehört zu den Boosting-Verfahren**

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial

Die Grundidee

- ▶ Boosting kombiniert **schwache Lerner** zu einem **starken Gesamtmodell**
- ▶ **Schwacher Lerner**: Modell, das nur **geringfügig besser** ist als **zufälliges Raten**
- ▶ **Passe Gewichtung** der Trainingsdaten iterativ **an**, damit neue Modelle die **Fehler der Vorgänger korrigieren**
- ▶ \rightsquigarrow verringerter **Bias**, **bessere Vorhersagegenauigkeit** für schwer klassifizierbare Beispiele

Die Grundidee

- ▶ Boosting kombiniert **schwache Lerner** zu einem **starken Gesamtmodell**
- ▶ **Schwacher Lerner**: Modell, das nur **geringfügig besser** ist als **zufälliges Raten**
- ▶ **Passe Gewichtung** der Trainingsdaten iterativ **an**, damit neue Modelle die **Fehler der Vorgänger korrigieren**
- ▶ \rightsquigarrow verringerter **Bias**, **bessere Vorhersagegenauigkeit** für schwer klassifizierbare Beispiele

Die Grundidee

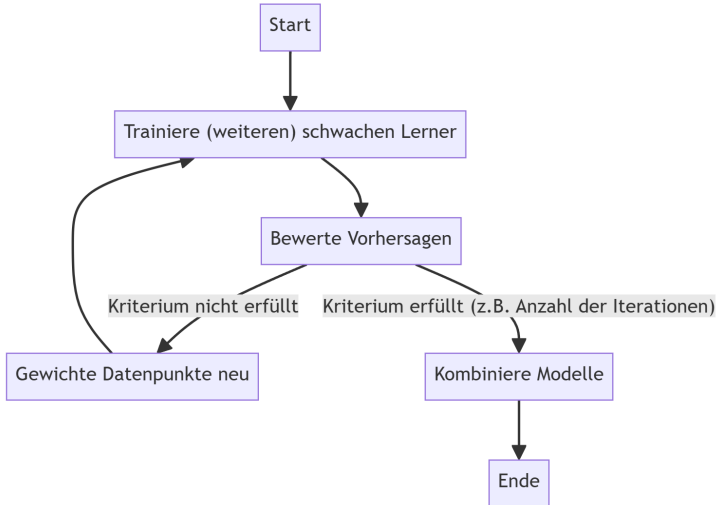
- ▶ Boosting kombiniert **schwache Lerner** zu einem **starken Gesamtmodell**
- ▶ **Schwacher Lerner**: Modell, das nur **geringfügig besser** ist als **zufälliges Raten**
- ▶ **Passe Gewichtung** der Trainingsdaten iterativ **an**, damit neue Modelle die **Fehler der Vorgänger korrigieren**
- ▶ \rightsquigarrow verringerter **Bias**, **bessere Vorhersagegenauigkeit** für schwer klassifizierbare Beispiele

Die Grundidee

- ▶ Boosting kombiniert **schwache Lerner** zu einem **starken Gesamtmodell**
- ▶ **Schwacher Lerner**: Modell, das nur **geringfügig besser** ist als **zufälliges Raten**
- ▶ **Passe Gewichtung** der Trainingsdaten iterativ **an**, damit neue Modelle die **Fehler der Vorgänger korrigieren**
- ▶ \rightsquigarrow verringerter **Bias, bessere Vorhersagegenauigkeit** für schwer klassifizierbare Beispiele



Veranschaulichung



Beispiel

Vorhersage von Hauspreisen

- Wir möchten ein **Modell** entwickeln, das den **Preis von Häusern** basierend auf **verschiedenen Merkmalen** wie Größe, Lage, Anzahl der Zimmer und Baujahr **vorhersagt**.

Haus	Größe [m^2]	Lage	Preis
Haus 1	100	Zentrum	440.000€
Haus 2	150	Vorort	500.000€
Haus 3	80	Zentrum	400.000€
Haus 4	120	Ländlich	200.000€

Beispiel

Vorhersage von Hauspreisen

- ▶ **Einfaches Modell** (schwacher Lerner): Preisvorhersage nur anhand von **Größe**
- ▶ Tatsächlich spielen auch **andere Faktoren** (z.B. Lage) eine Rolle
- ▶ \rightsquigarrow **Bias** des schwachen Lernalgorithmus:
 - ▶ Preis von Häusern in guter Lage wird **unterschätzt**
 - ▶ Preis von Häusern in schlechter Lage wird **überschätzt**

Beispiel

Vorhersage von Hauspreisen

- ▶ **Einfaches Modell** (schwacher Lerner): Preisvorhersage nur anhand von **Größe**
- ▶ Tatsächlich spielen auch **andere Faktoren** (z.B. Lage) eine Rolle
- ▶ \rightsquigarrow **Bias** des schwachen Lernalgorithmus:
 - ▶ Preis von Häusern in guter Lage wird **unterschätzt**
 - ▶ Preis von Häusern in schlechter Lage wird **überschätzt**

Beispiel

Vorhersage von Hauspreisen

- ▶ **Einfaches Modell** (schwacher Lerner): Preisvorhersage nur anhand von **Größe**
- ▶ Tatsächlich spielen auch **andere Faktoren** (z.B. Lage) eine Rolle
- ▶ \rightsquigarrow **Bias** des schwachen Lernalgorithmus:
 - ▶ Preis von Häusern in guter Lage wird **unterschätzt**
 - ▶ Preis von Häusern in schlechter Lage wird **überschätzt**

Beispiel

Vorhersage von Hauspreisen

- **Boosting:** Passe iterativ Gewicht der Datenpunkte so an, dass nächstes Modell verstärkt die schlecht vorhergesagten Fälle beachtet

P = Vorhersage, W = Gewichtung

Haus	Größe [m^2]	Lage	Preis
Haus 1	100	Zentrum	440.000€
Haus 2	150	Vorort	500.000€
Haus 3	80	Zentrum	400.000€
Haus 4	120	Ländlich	200.000€

Haus	P(1)	W(1)	P(2)	W(2)	P(3)
Haus 1	450.000€	0.1307	445.000€	0.1192	443.000€
Haus 2	350.000€	0.5299	495.000€	0.4833	501.000€
Haus 3	380.000€	0.1444	430.000€	0.1691	410.000€
Haus 4	250.000€	0.1950	230.000€	0.2283	205.000€

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus**
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial



Einführung

- ▶ „Adaptive Boosting“
- ▶ entwickelt in den 1990ern von Freund und Schapire, einflussreiches Verfahren für **binäre Klassifikation**
- ▶ Boosting-Methode, **Gewichtung** falsch klassifizierter Datenpunkte **exponentiell** erhöht
- ▶ spezielle **adaptive** Fehlerkorrektur



Einführung

- ▶ „Adaptive Boosting“
- ▶ entwickelt in den 1990ern von Freund und Schapire, einflussreiches Verfahren für **binäre Klassifikation**
- ▶ Boosting-Methode, **Gewichtung** falsch klassifizierter Datenpunkte **exponentiell** erhöht
- ▶ spezielle **adaptive** Fehlerkorrektur



Einführung

- ▶ „Adaptive Boosting“
- ▶ entwickelt in den 1990ern von Freund und Schapire, einflussreiches Verfahren für **binäre Klassifikation**
- ▶ Boosting-Methode, **Gewichtung** falsch klassifizierter Datenpunkte **exponentiell** erhöht
- ▶ spezielle **adaptive** Fehlerkorrektur

Einführung

- ▶ „Adaptive Boosting“
- ▶ entwickelt in den 1990ern von Freund und Schapire, einflussreiches Verfahren für **binäre Klassifikation**
- ▶ Boosting-Methode, **Gewichtung** falsch klassifizierter Datenpunkte **exponentiell** erhöht
- ▶ spezielle **adaptive** Fehlerkorrektur

Vereinfachte Sicht auf den Algorithmus

Input: Datensatz, Lernalgorithmus

Initialisiere Gewichte des Datensatzes

for $t = 1$ **to** T **do**

 Trainiere schwache Lerner mit gewichtetem Datensatz

 Bestimme Fehler der Lerner

 Wähle schwachen Lerner mit geringstem Fehler

 Berechne Lernkoeffizienten

 Gewichte Datenpunkte neu

Output: Starker Lerner (Ensemble)



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert



Notation

- ▶ \mathcal{X} : Menge der **Features**, $|\mathcal{X}| = n$
- ▶ \mathcal{Y} : Menge der **Labels** ($\mathcal{Y} = \{-1, +1\}$ bei binärer Klassifikation)
- ▶ D : **Trainingdatensatz** der Form $D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}$, $i = 1, \dots, m$
- ▶ Modell wird auf D durch **Lernalgorithmus** \mathcal{L} (meistens *Decision Stump*) trainiert und gilt
- ▶ eine **Hypothese** $h : X \rightarrow \mathcal{Y}$, $h(\mathbf{x}) = y$ zurück
- ▶ Anzahl der **Trainingsiterationen** T
- ▶ bei jeder Iteration wird D um **Gewichte**

$$w_i^{(t)}$$

mit $i = 1, \dots, m$ und $t = 1, \dots, T$ erweitert

Initialisierung der Gewichte

- ▶ Zu Beginn sind die Gewichte gleich verteilt

$$w_i^{(1)} = \frac{1}{m}, \quad i = 1, \dots, m$$

- ▶ Die Summe der Gewichte ist stets 1

$$\sum_{i=1}^m w_i^{(t)} = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T$$



Initialisierung der Gewichte

- ▶ Zu Beginn sind die Gewichte gleich verteilt

$$w_i^{(1)} = \frac{1}{m}, \quad i = 1, \dots, m$$

- ▶ Die Summe der Gewichte ist stets 1

$$\sum_{i=1}^m w_i^{(t)} = 1 \quad \forall t = 1, \dots, T$$



Training der schwachen Lerner

- ▶ **Trainiere** pro Iteration mehrere **schwache Lerner** (für jedes Feature zwei, je mit umgekehrter Polarität)

$$h = \mathcal{L}(D, w^{(t)})$$

mit $w^{(t)}$ als Gewichte der t -ten Iteration

- ▶ Ziel: gewichteten **Fehler minimieren**

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^n w_i^{(t)} \cdot I(y_i \neq h_j(\mathbf{x}_i)), \quad j = 1, \dots, |h|$$

Wähle Lerner $h_j \in h$ mit **geringstem Fehler** ε_j (meiste korrekt klassifizierte Datenpunkte)

- ▶ Dabei bezeichnet I die **Indikatorfunktion**

$$I(A) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } A \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$



Training der schwachen Lerner

- **Trainiere** pro Iteration mehrere **schwache Lerner** (für jedes Feature zwei, je mit umgekehrter Polarität)

$$h = \mathcal{L}(D, w^{(t)})$$

mit $w^{(t)}$ als Gewichte der t -ten Iteration

- Ziel: gewichteten **Fehler minimieren**

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^n w_i^{(t)} \cdot I(y_i \neq h_j(\mathbf{x}_i)), \quad j = 1, \dots, |h|$$

Wähle Lerner $h_j \in h$ mit **geringstem Fehler** ε_j (meiste korrekt klassifizierte Datenpunkte)

- Dabei bezeichnet I die **Indikatorfunktion**

$$I(A) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } A \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$



Training der schwachen Lerner

- **Trainiere** pro Iteration mehrere **schwache Lerner** (für jedes Feature zwei, je mit umgekehrter Polarität)

$$h = \mathcal{L}(D, w^{(t)})$$

mit $w^{(t)}$ als Gewichte der t -ten Iteration

- Ziel: gewichteten **Fehler minimieren**

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^n w_i^{(t)} \cdot I(y_i \neq h_j(\mathbf{x}_i)), \quad j = 1, \dots, |h|$$

Wähle Lerner $h_j \in h$ mit **geringstem Fehler** ε_j (meiste korrekt klassifizierte Datenpunkte)

- Dabei bezeichnet I die **Indikatorfunktion**

$$I(A) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } A \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

Berechnung des Lernkoeffizienten

► Exponentieller Verlust

$$L(h_t) = \sum_{i=1}^m w_i^{(t)} e^{-y_i h_t(x_i)}$$

► Herleitung: führe Lernkoeffizienten α_t ein

$$L(h_t) = \sum_{i=1}^m w_i e^{-\alpha_t y_i h_t(x_i)}$$

Berechnung des Lernkoeffizienten

► Exponentieller Verlust

$$L(h_t) = \sum_{i=1}^m w_i^{(t)} e^{-y_i h_t(x_i)}$$

► Herleitung: führe Lernkoeffizienten α_t ein

$$L(h_t) = \sum_{i=1}^m w_i e^{-\alpha_t y_i h_t(x_i)}$$



Berechnung des Lernkoeffizienten

$$y_i = h_t(x_i) \implies y_i h_t(x_i) = 1$$

\rightsquigarrow Beitrag zum Verlust: $w_i^{(t)} e^{-\alpha_t}$

$$y_i \neq h_t(x_i) \implies y_i h_t(x_i) = -1$$

\rightsquigarrow Beitrag zum Verlust: $w_i^{(t)} e^{\alpha_t}$

► Minimieren von $L(h_t)$:

$$L(h_t) = \sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i^{(t)} e^{-\alpha_t} + \sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i^{(t)} e^{\alpha_t}$$

$$\frac{dL(h_t)}{d\alpha_t} = -e^{-\alpha_t} \sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i^{(t)} + e^{\alpha_t} \sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i^{(t)} = 0$$



Berechnung des Lernkoeffizienten

$$y_i = h_t(x_i) \implies y_i h_t(x_i) = 1$$

\rightsquigarrow Beitrag zum Verlust: $w_i^{(t)} e^{-\alpha_t}$

$$y_i \neq h_t(x_i) \implies y_i h_t(x_i) = -1$$

\rightsquigarrow Beitrag zum Verlust: $w_i^{(t)} e^{\alpha_t}$

► Minimieren von $L(h_t)$:

$$L(h_t) = \sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i^{(t)} e^{-\alpha_t} + \sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i^{(t)} e^{\alpha_t}$$

$$\frac{dL(h_t)}{d\alpha_t} = -e^{-\alpha_t} \sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i^{(t)} + e^{\alpha_t} \sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i^{(t)} = 0$$



Berechnung des Lernkoeffizienten

$$y_i = h_t(x_i) \implies y_i h_t(x_i) = 1$$

\rightsquigarrow Beitrag zum Verlust: $w_i^{(t)} e^{-\alpha_t}$

$$y_i \neq h_t(x_i) \implies y_i h_t(x_i) = -1$$

\rightsquigarrow Beitrag zum Verlust: $w_i^{(t)} e^{\alpha_t}$

► Minimieren von $L(h_t)$:

$$L(h_t) = \sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i^{(t)} e^{-\alpha_t} + \sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i^{(t)} e^{\alpha_t}$$

$$\frac{dL(h_t)}{d\alpha_t} = -e^{-\alpha_t} \sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i^{(t)} + e^{\alpha_t} \sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i^{(t)} = 0$$



Berechnung des Lernkoeffizienten

$$\Leftrightarrow e^{2\alpha_t} = \frac{\sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i}{\sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i}$$

$$\Leftrightarrow \alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i}{\sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i} \right)$$

► Da $\sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i = 1 - \varepsilon_t$ und $\sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i = \varepsilon_t$

$$\Rightarrow \alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t} \right)$$



Berechnung des Lernkoeffizienten

$$\Leftrightarrow e^{2\alpha_t} = \frac{\sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i}{\sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i}$$

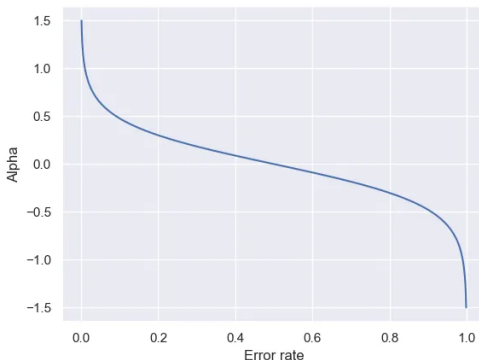
$$\Leftrightarrow \alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i}{\sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i} \right)$$

► Da $\sum_{y_i=h_t(x_i)} w_i = 1 - \varepsilon_t$ und $\sum_{y_i \neq h_t(x_i)} w_i = \varepsilon_t$

$$\Rightarrow \alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t} \right)$$

Berechnung des Lernkoeffizienten

$$\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t} \right)$$





Aktualisierung der Gewichte

- Neue Gewichte der Daten für den nächsten Durchlauf berechnen

$$\begin{aligned}
 w_i^{(t+1)} &= w_i^{(t)} \cdot e^{-\alpha_t} && \text{für korrekt klassifizierte Datenpunkte} \\
 w_i^{(t+1)} &= w_i^{(t)} \cdot e^{\alpha_t} && \text{für falsch klassifizierte Datenpunkte}
 \end{aligned}$$

- Die neuen Gewichte müssen anschließend normalisiert werden, damit ihre Summe wieder 1 ist:

$$\begin{aligned}
 Z_t &= \sum_{j=1}^m w_j^{(t+1)} && \text{(Normalisierungsfaktor)} \\
 w_i^{(t+1)} &= \frac{w_i^{(t+1)}}{Z_t}
 \end{aligned}$$



Aktualisierung der Gewichte

- Neue Gewichte der Daten für den nächsten Durchlauf berechnen

$$\begin{aligned}
 w_i^{(t+1)} &= w_i^{(t)} \cdot e^{-\alpha_t} && \text{für korrekt klassifizierte Datenpunkte} \\
 w_i^{(t+1)} &= w_i^{(t)} \cdot e^{\alpha_t} && \text{für falsch klassifizierte Datenpunkte}
 \end{aligned}$$

- Die neuen Gewichte müssen anschließend normalisiert werden, damit ihre Summe wieder 1 ist:

$$\begin{aligned}
 Z_t &= \sum_{j=1}^m w_j^{(t+1)} && \text{(Normalisierungsfaktor)} \\
 w_i^{(t+1)} &= \frac{w_i^{(t+1)}}{Z_t}
 \end{aligned}$$

Das Ergebnis des Algorithmus

Der Algorithmus gibt ein Gesamtmodell zurück, welches die Klassifizierung des Datenpunktes durch die gewichtete Summe aller schwachen Lerner darstellt:

$$H : X \rightarrow \{-1, +1\}$$

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



Der vollständige Algorithmus I

Data: Trainingsdatensatz D , Anzahl der Iterationen T .

Result: Finale Klassifikationsfunktion: $H(x) = \text{sign} \left(\sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \right)$.

```
// Initialisiere Gewichte
```

```
 $w_i^{(1)} = \frac{1}{m}$ 
```

```
for  $t = 1$  to  $T$  do
```

```
    // Trainiere schwache Lerner
```

```
     $h \leftarrow \mathcal{L}(D, w_i^{(t)})$ 
```

```
    // Berechne Fehler
```

```
    for  $j = 1$  to  $|h|$  do
```

```
         $\varepsilon_j = \sum_{i=1}^m w_i^{(t)} \cdot I(y_i \neq h_j(x_i))$ 
```

```
    Wähle Lerner  $h_j$  mit minimalem Fehler  $\varepsilon_j$  als  $h_t$ 
```

```
    // Berechne den Lernerkoeffizienten
```

```
     $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t} \right)$ 
```

```
    // Algorithmus wird fortgesetzt...
```



Der vollständige Algorithmus II

```
// Fortsetzung des Algorithmus
// Weiterhin innerhalb des For-Loops
// Aktualisiere die Gewichte für die nächsten Iterationen
if  $y_i = h_t(x_i)$  then
|    $w_i^{(t+1)} \leftarrow w_i^{(t)} \cdot e^{-\alpha_t}$ 
else
|    $w_i^{(t+1)} \leftarrow w_i^{(t)} \cdot e^{\alpha_t}$ 

// Normalisiere Gewichte
 $Z_t \leftarrow \sum_{j=1}^m w_j^{(t+1)}$ 
for  $i = 1$  to  $m$  do
|    $w_i^{(t+1)} \leftarrow \frac{w_i^{(t+1)}}{Z_t}$ 

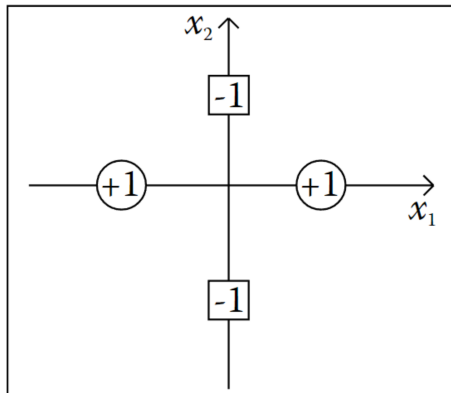
Output:  $H(x) = \text{sign} \left( \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \right)$ 

// Ende des Algorithmus
```



Beispiel

Das XOR-Problem (eine Variation)



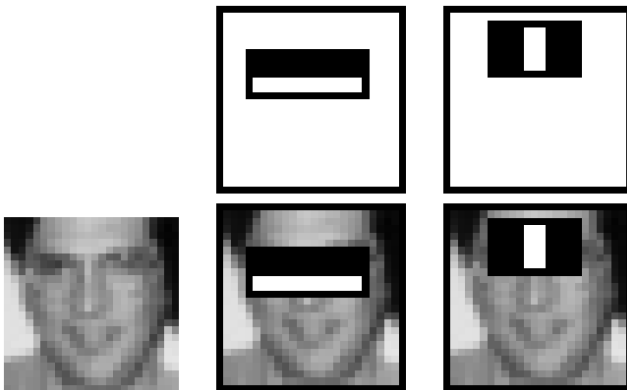
Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung**
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial



Praktische Anwendung und Beispiele

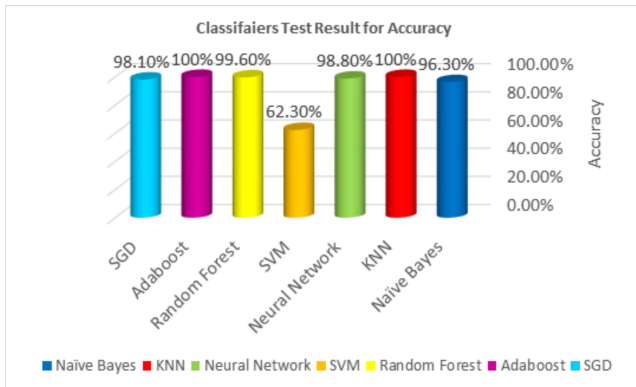
Bilderkennung und Computervision: Gesichtserkennung





Praktische Anwendung und Beispiele

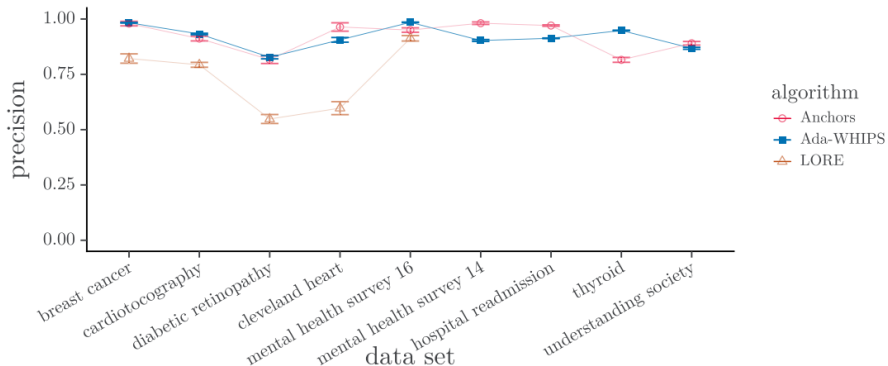
Textklassifikation und Natural Language Processing: Erkennung von Spam-Mail





Praktische Anwendung und Beispiele

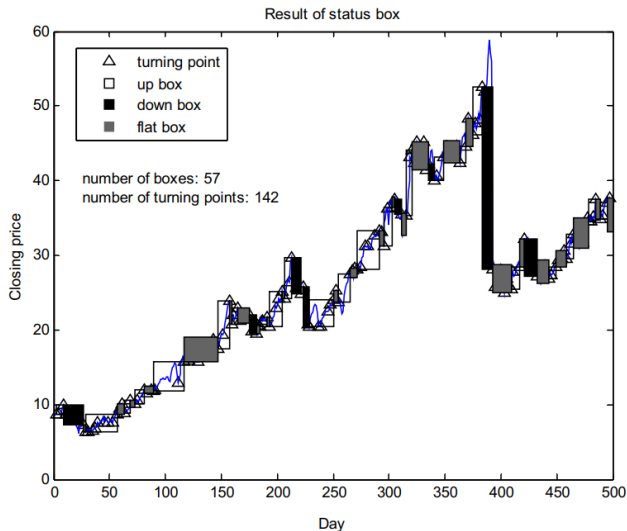
Medizinische Diagnostik: Risiko/Erkennung von Krankheiten basierend auf Patientendaten





Praktische Anwendung und Beispiele

Finanzwesen: Vorhersage von Aktienkursbewegungen



Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile**
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial



Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für **verrauschte Daten** und **Ausreißer**
- Training auf großen Datensätzen kann **zeitintensiv** sein
- Hauptsächlich für **binäre Klassifikation** ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für verrauschte Daten und Ausreißer
- Training auf großen Datensätzen kann zeitintensiv sein
- Hauptsächlich für binäre Klassifikation ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für verrauschte Daten und Ausreißer
- Training auf großen Datensätzen kann zeitintensiv sein
- Hauptsächlich für binäre Klassifikation ausgelegt



Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für **verrauschte Daten** und **Ausreißer**
- Training auf großen Datensätzen kann **zeitintensiv** sein
- Hauptsächlich für **binäre Klassifikation** ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für verrauschte Daten und Ausreißer
- Training auf großen Datensätzen kann zeitintensiv sein
- Hauptsächlich für binäre Klassifikation ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für **verrauschte Daten und Ausreißer**
- Training auf großen Datensätzen kann **zeitintensiv** sein
- Hauptsächlich für **binäre Klassifikation** ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für **verrauschte Daten und Ausreißer**
- Training auf großen Datensätzen kann **zeitintensiv** sein
- Hauptsächlich für **binäre Klassifikation** ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für **verrauschte Daten und Ausreißer**
- Training auf großen Datensätzen kann **zeitintensiv** sein
- Hauptsächlich für **binäre Klassifikation** ausgelegt

Vor- und Nachteile von AdaBoost

Vorteile:

- + Benutzerfreundlich
- + Flexibel
- + Identifiziert automatisch wichtige Features
- + Neigt weniger zum Overfitting

Nachteile:

- Anfällig für **verrauschte Daten und Ausreißer**
- Training auf großen Datensätzen kann **zeitintensiv** sein
- Hauptsächlich für **binäre Klassifikation** ausgelegt

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen**
- 7 Literatur und Zusatzmaterial

Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ Ursprünglich für binäre Klassifikation entwickelt, durch verschiedene Erweiterungen für diverse Problemstellungen adaptiert
- ▶ „AdaBoost.M1“ und „SAMME“ für **Multiklassen-Probleme**
- ▶ **Kosten-sensitives** AdaBoost
- ▶ Neben Decision Stumps kann AdaBoost mit **SVMs, Neuronalen Netzen und anderen Classifiern** kombiniert werden

Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ Ursprünglich für binäre Klassifikation entwickelt, durch verschiedene Erweiterungen für diverse Problemstellungen adaptiert
- ▶ „AdaBoost.M1“ und „SAMME“ für **Multiklassen-Probleme**
- ▶ **Kosten-sensitives** AdaBoost
- ▶ Neben Decision Stumps kann AdaBoost mit **SVMs, Neuronalen Netzen und anderen Classifiern** kombiniert werden

Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ Ursprünglich für binäre Klassifikation entwickelt, durch verschiedene Erweiterungen für diverse Problemstellungen adaptiert
- ▶ „AdaBoost.M1“ und „SAMME“ für **Multiklassen-Probleme**
- ▶ **Kosten-sensitives** AdaBoost
- ▶ Neben Decision Stumps kann AdaBoost mit **SVMs, Neuronalen Netzen und anderen Classifiern** kombiniert werden

Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ Ursprünglich für binäre Klassifikation entwickelt, durch verschiedene Erweiterungen für diverse Problemstellungen adaptiert
- ▶ „AdaBoost.M1“ und „SAMME“ für **Multiklassen-Probleme**
- ▶ **Kosten-sensitives** AdaBoost
- ▶ Neben Decision Stumps kann AdaBoost mit **SVMs, Neuronalen Netzen und anderen Classifiern** kombiniert werden



Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ **Robuste** Varianten minimieren die Auswirkung von Ausreißern.
- ▶ **Online** AdaBoost aktualisiert Modelle ohne Neutrainierung.
- ▶ **Direkte Feature Auswahl:** Wählt während des Trainings aus, welche Features wichtig sind und betrachtet nur diese ~> **schnelleres Training**
- ▶ Variationen, welche die **Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit** verbessert



Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ **Robuste** Varianten minimieren die Auswirkung von Ausreißern.
- ▶ **Online** AdaBoost aktualisiert Modelle ohne Neutrainierung.
- ▶ **Direkte Feature Auswahl:** Wählt während des Trainings aus, welche Features wichtig sind und betrachtet nur diese ~→ **schnelleres Training**
- ▶ Variationen, welche die **Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit** verbessert



Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ **Robuste** Varianten minimieren die Auswirkung von Ausreißern.
- ▶ **Online** AdaBoost aktualisiert Modelle ohne Neutrainierung.
- ▶ **Direkte Feature Auswahl:** Wählt während des Trainings aus, welche Features wichtig sind und betrachtet nur diese ~→ **schnelleres Training**
- ▶ Variationen, welche die **Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit** verbessert

Erweiterungen und Variationen von AdaBoost

- ▶ **Robuste** Varianten minimieren die Auswirkung von Ausreißern.
- ▶ **Online** AdaBoost aktualisiert Modelle ohne Neutrainierung.
- ▶ **Direkte Feature Auswahl:** Wählt während des Trainings aus, welche Features wichtig sind und betrachtet nur diese \rightsquigarrow **schnelleres Training**
- ▶ Variationen, welche die **Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit** verbessert

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen des Boosting
- 3 Der AdaBoost Algorithmus
- 4 Praktische Anwendung
- 5 Vor- und Nachteile
- 6 Erweiterungen und Variationen
- 7 Literatur und Zusatzmaterial**



Literatur I



Julian Hatwell, Mohamed Medhat Gaber, and R Muhammad Atif Azad.

Ada-WHIPS: explaining AdaBoost classification with applications in the health sciences.

BMC Medical Informatics and Decision Making, 20(1):1–25, 2020.



Weiming Hu, Jun Gao, Yanguo Wang, Ou Wu, and Stephen Maybank.

Online adaboost-based parameterized methods for dynamic distributed network intrusion detection.

IEEE Transactions on Cybernetics, 44(1):66–82, 2013.



Trevor Hastie, Saharon Rosset, Ji Zhu, and Hui Zou.

Multi-class adaboost.

Statistics and its Interface, 2(3):349–360, 2009.



Literatur II



Hamed Masnadi-Shirazi and Nuno Vasconcelos.

Cost-sensitive boosting.

IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence,
33(2):294–309, 2010.



Manish Panwar, Jayesh Rajesh Jogi, Mahesh Vijay Mankar,

Mohamed Alhassan, and Shreyas Kulkarni.

Detection of Spam Email.

AJISE, 1, 2022.



Paul Viola and Michael Jones.

Fast and robust classification using asymmetric adaboost and a
detector cascade.

Advances in neural information processing systems, 14, 2001.



Literatur III



Paul Viola and Michael Jones.

Rapid object detection using a boosted cascade of simple features.

In Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. IEEE, 2001.



Xindong Wu and Vipin Kumar.

The Top Ten Algorithms in Data Mining.

CRC press, 2009.



Jianxin Wu, James M Rehg, and Matthew Mullin.

Learning a rare event detection cascade by direct feature selection.

Advances in Neural Information Processing Systems, 16, 2003.

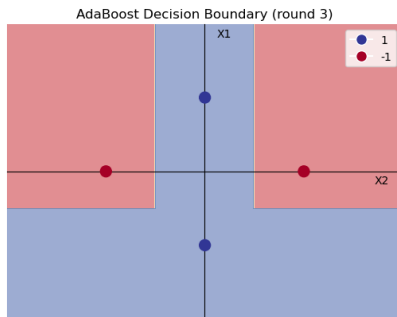
Literatur IV



Xiao-dan Zhang, Ang Li, and Ran Pan.
Stock trend prediction based on a new status box method and
AdaBoost probabilistic support vector machine.
Applied Soft Computing, 49:385–398, 2016.



Zusatzmaterial



Hugo Chavez



Tony Blair



George W Bush



Colin Powell



Ariel Sharon



Colin Powell



George W Bush



Gerhard Schroeder



George W Bush



Ariel Sharon



George W Bush



Donald Rumsfeld



Umsetzungen und Beispiele von AdaBoost + diese Präsentation mit Ausarbeitung in $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ auf [GitHub](#).

Danke

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!