MASCHINELLES LERNEN & DATAMINING

Vorlesung im Wintersemester 2015

Prof. E.G. Schukat-Talamazzini

Stand: 24. Juli 2015

Teil I

Methoden und Aufgabenstellungen

Was ist Lernen ?

Antworten dreier Urväter des maschinellen Lernens

Lernen nach Herbert Simon

„Learning denotes changes in the system that are adaptive in the sense that they enable the system to do the same task (or tasks drawn from the same population) more efficiently and more effectively the next time.“
(Automatic Performance Improvement)

Lernen nach Dana Scott

Prozeß des Aufbaus abrufbarer Repräsentationen von vergangenen Interaktionen mit der Umwelt

Lernen nach Ryszard Michalski

Konstruieren oder Verändern der Repräsentationen von Erfahrungen

Trifft Simons Definition unser intuitives Verständnis?

… zu weit?

Schärfen eines Messers

schnellere CPU

… zu eng?

Zwangsarbeiter täuscht Leistung vor

Passant $\rightsquigarrow$ Oper $\rightsquigarrow$ Auskunft

Leistungsbegriff?!

Wozu maschinelles Lernen ?

Lernen ist der Schlüssel zur Intelligenz — bei Mensch und Maschine

Knowledge Acquisition Bottleneck

Experten sind oft unfähig, ihr Wissen zu formalisieren.

Wissenserwerb und -einpflege

... sind teuer, langsam und unsicher.

Problemstruktur ist zu komplex

Sprache, Schrift, Szenen, DNA, ...

Maschine findet überlegene Lösungen

Greifende/balancierende Roboter ...

SYNERGIE von Mensch & Maschine

- ⇧ Lernfähigkeit des Menschen
- ⇧ Kopierfähigkeit des Rechners
- ⇧ Lerngeschwindigkeit des Rechners

Ziele des Lernens

Lösung
: genauer

Aufgabenbereich
: breiter

Arbeitsweise
: ökonomischer

Wissensstruktur
: einfacher

⇩

Alan Turing

den Computer erziehen!

Was wird gelernt ?

Kognitionspsychologie des menschlichen (früh/kindlichen) Lernens

Begriffe

{ Struktur, Erwerb, Nutzung }

Aggregation (Extension von Begriffen)

- Gruppieren von Objekten in Kategorien
- Sinnvolle Begriffe $\rightsquigarrow$ Vorhersage von Objektverhalten

Charakterisierung (Intension von Begriffen)

- Gemeinsame Eigenschaften aller Instanzen eines Begriffs
- Welche Merkmale? ⇦ kultureller/sprachlicher Kontext

Klassifikation

- Zuordnen eines Objekts zu „seiner“ Kategorie
- Einordnen in eine Hierarchie von Unter- und Oberbegriffen

Induktives Lernen

Verallgemeinerndes Lernen aus (endlich vielen) Beispielen

$$\begin{aligned} \gamma_A &\triangleq A(x) \wedge A(y) \wedge A(z) \\ \gamma_B &\triangleq B(x) \wedge B(y) \wedge B(z) \\ \gamma_\forall &\triangleq \forall x\,(A(x) \Rightarrow B(x)) \end{aligned}$$

Deduktion

allgemein ⇨ speziell $\quad \gamma_\forall, \gamma_A \vdash \gamma_B$

(formallogisch korrekte Schlußweise)

Induktion

speziell ⇨ allgemein $\quad \gamma_A, \gamma_B \vdash \gamma_\forall$

(formallogisch unbeweisbarer, oft lebensnotwendiger Schluß)

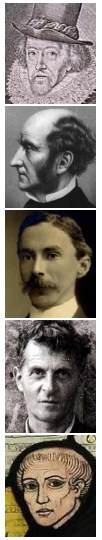
Abduktion

Folgerung ⇨ hinreichende Voraussetzung $\quad \gamma_\forall, \gamma_B \vdash \gamma_A$

(formallogisch unbeweisbarer, oft unhaltbarer Schluß)

Induktives Lernen

Philosophisches Reizthema eines Jahrtausends



Francis Bacon (1561–1626)

Relevanz positiver *und* negativer Lernbeispiele

John Stuart Mill (1806–1873)

Vier Methoden für den praktischen Induktionsschluß

Bertrand Russell (1872–1970)

Induktionsschluß ist Grundlage jeglicher Vorhersage, nicht beweisbar und essentiell probabilistischer Natur

Ludwig Wittgenstein (1889–1951) Tractatus Logico-Philosophicus

„Suche das einfachste Gesetz, das mit den Fakten harmoniert“

William von Ockham (1285–1347)

Occam's Razor: *„Pluralitas non est ponenda sine necessitate“*

Jorma Rissanen (*1932) *'minimum description length'*-Prinzip

MDL $\rightsquigarrow$ minimale Summe codierender & korrigierender Bits

Paradigmen maschinellen Lernens

Der „Lehrer“ befiehlt / demonstriert / präsentiert / fehlt

Lernen aus Instruktionen

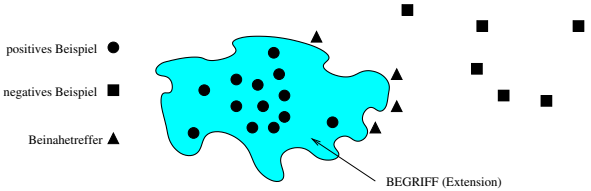
Natürlichsprachliche Systeme · Automatisches Programmieren

Lernen durch Analogiebildung

Wissentransfer auf neue, aber strukturell verwandte Aufgabenstellung

Lernen aus Beispielen (induktiv)

Beispiele, Gegenbeispiele und Beinahetreffer eines Begriffs



Lernen aus Beobachtung (explorativ)

Strukturieren von Objektmengen: $\left\{\begin{array}{l}\textbf{passiv}\\ \textbf{aktiv}\end{array}\right\} \mathrel{\hat{=}}$

$\left\{\begin{array}{l}\textbf{Datenquelle} = \textbf{Prozeßbeobachtung}\\ \textbf{Interaktion Lernprogramm-Umwelt}\end{array}\right\}$

Konzeptuelles Lernen

Lernen eines Begriffs — wo kommen die benötigten Lernbeipiele ($\pm$) her ?

Assistiertes Lernen

Handverlesene Auswahl von $\oplus/\ominus$-Beispielen

➪ Optimaler Lernerfolg durch kompetenten Reiseführer

Lernen mit Orakel

Lernprogramm wählt *interessante* neue Beispiele
Orakelbefragung liefert $\oplus/\ominus$-Information

➪ Entdeckungsreise zu den Grenzfällen

Überwachtes Lernen

Beispiele wie vom natürlichen Erzeugungsprozeß produziert
Lehrer vergibt (die korrekten) $\oplus/\ominus$-Etiketten

➪ Zufälliges Abrastern des Objektraums

Verstärkungslernen ('reinforcement learning')

Lernbeispiele liegen *unetikettiert* vor
Lehrer erteilt summarische Leistungsnote („*Lob und Tadel*“)

➪ Strategie zwischen Exploration & Exploitation

Beispiele induktiver Lernaufgaben

Aufgabenbereich · Leistungskriterium · Erfahrungsquelle

QUBIC ($4 \times 4 \times 4$ Tic Tac Toe)

AB — alle QUBIC-Partien gegen Bobby Fisher
LK — Prozentsatz aller *gewonnenen* Partien
EQ — die Möglichkeit, 3 Wochen gegen Fisher zu trainieren

Postanschriftenleser

AB — Erkenne Zielorte handgeschriebener Anschriften
LK — Prozentsatz korrekt sortierter Briefsendungen
EQ — 10^5 handadressierte Briefe mit bekanntem Zielort

Steuerung eines (auto-)mobilen Roboters

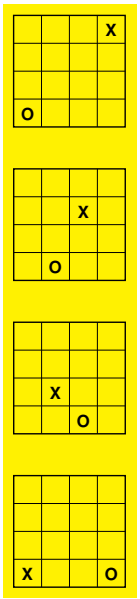
AB — selbständiges Manövrieren im öffentlichen Fernverkehr
LK — $\mathit{Geschwindigkeit} \;/\; (1 + \mathit{Karambolagen})^{1.000.000}$
EQ — 20 Minuten Bewegtbilder mit Steuerkommandos

Natürlichsprachlicher Datenbankzugang

AB — autom. Beantwortung natürlichsprachlicher Datenbankanfragen
LK — Prozentsatz korrekter Antworten
EQ — Texte natürlichsprachlicher Benutzeranfragen nebst SQL-Kodierung

Beispiel QUBIC

Dreidimensionales Tic tac toe · Kubus mit $4^3 = 64$ Feldern



Zielfunktion $eval^* : \mathcal{B} \mapsto [-100, +100]$

$$eval^*(\boldsymbol{b}) = \begin{cases} +100 & \text{wenn 4 X in einer Reihe} \\ -100 & \text{wenn 4 O in einer Reihe} \\ 0 & \text{wenn Remisstellung erreicht} \\ \mathcal{E}[.] & \text{Erwartungswert der Endstellung} \\ & \text{bei optimaler Strategie} \end{cases}$$

Lösungsmodell (lineare Näherung für $eval^*$)

$$eval(\boldsymbol{b}) = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + \ldots + w_{10} x_{10} =: \boldsymbol{w}^\top \boldsymbol{x}$$

mit den Prädiktorvariablen $x_i = x_i(\boldsymbol{b})$:

$$\begin{aligned} x_1(x_2) &= \#\text{ offener Reihen mit einem X (O)} \\ x_3(x_4) &= \#\text{ offener Reihen mit zwei X (O)} \\ x_5(x_6) &= \#\text{ offener Reihen mit drei X (O)} \\ x_7(x_8) &= \#\text{ Schnittpunkte von X-Reihen (O-Reihen)} \\ x_9(x_{10}) &= \#\text{ Schnittpunkte s.o.; } \geq 2 \text{ X (O) je Reihe)} \end{aligned}$$

Lernen der Stellungsbewertungsfunktion

Die Kenntnis von $eval^*(\cdot)$ ermöglicht eine optimale Zugauswahl

Benötigte Lernstichprobe

Partiestellungen $\boldsymbol{b}_1, \ldots, \boldsymbol{b}_T$ mit bekannten Werten $y_t = eval^*(\boldsymbol{b}_t)$

Minimierung des Modellfehlers

Parameteroptimierung nach LSE-Prinzip („*least squared error*“)

$$\varepsilon = \sum_{t=1}^{T} \underbrace{(eval^*(\boldsymbol{b}_t) - eval(\boldsymbol{b}_t))^2}_{\varepsilon_t}$$

Iterative Lösung durch Gradientenabstieg

1. Initialisiere die Gewichte $w_0, w_1, w_2, \ldots, w_{10}$
2. Führe je Lernbeispiel $\boldsymbol{b}_t$ einen Verbesserungsschritt durch:

$$\boldsymbol{w}' = \boldsymbol{w} + \frac{2\beta \cdot (eval^*(\boldsymbol{x}_t) - \boldsymbol{w}^\top \boldsymbol{x}_t)}{\|\boldsymbol{x}_t\|^2}$$

Dabei bezeichnet β die **Lernrate** des Verfahrens.

Das Münchhausen-Prinzip

Was tun, wenn das Lösungsverfahren die Lösung selbst als Eingabe benötigt ?

Problem

Woher bekommen wir die benötigten Werte

$$eval^*(\boldsymbol{b}_t) = ?$$

Lösung

Vorwärtssuche mit der der Näherungsfunktion $eval(.)$

$$\begin{aligned} eval^*(\boldsymbol{b}) &= \max\{eval^*(\boldsymbol{b}') \mid \boldsymbol{b}' \text{ Nachfolger von } \boldsymbol{b}\} \\ &\approx \max\{eval_{\boldsymbol{w}}(\boldsymbol{b}') \mid \boldsymbol{b}' \text{ Nachfolger von } \boldsymbol{b}\} \end{aligned}$$

- *Je besser die Näherung* $eval(.)$*, desto genauer ist obige Approximation*
- *Wird dieses* „bootstrapping“*-Verfahren konvergieren?*
- *Welche Nachfolger von* $\boldsymbol{b}$ *sollten betrachtet werden?*
- *Kann* $eval^*(.)$ *überhaupt durch lineare Funktion angenähert werden?*

Beispiel: Konzeptuelles Lernen

Unter welchen Witterungsbedingungen empfiehlt sich ein Segelturn ?

GEGEBEN

- Objekte/Instanzen $\hat{=}$ mögliche Kalendertage
- Attribute/Prädikate $\hat{=}$ $\{sky, air, humidity, \ldots\}$
- Zielfunktion $\hat{=}$ $gosailing : \mathcal{X} \mapsto \{T, F\}$

Lerndaten

Objekte mit allen Attributwerten & der Begriffzugehörigkeit:

#	*sky*	*air*	*humidity*	*wind*	*water*	*forecast*	*gosailing*
1	*sunny*	*warm*	*normal*	*strong*	*warm*	*same*	*T*
2	*sunny*	*warm*	*high*	*strong*	*warm*	*same*	*T*
3	*rainy*	*cold*	*high*	*strong*	*warm*	*change*	*F*
4	*sunny*	*warm*	*high*	*strong*	*cold*	*change*	*T*

Beispiel: Konzeptuelles Lernen

Induktion als Versuch der Datenbeschreibung mit unzureichenden Mitteln

GESUCHT

Passende Hypothese $h \in \mathcal{H}$ aus geeignetem Repräsentationenraum.

- Hypothesenraum $\mathcal{H} \mathrel{\hat{=}}$ Konjunktionen von Attribut-Wert-Paaren (z.B. $sky = sunny \wedge water = cool$)
- Lerndaten $\mathrel{\hat{=}}$ positive und negative Beispiele
- Optimale Vorhersage der Urteile *gosailing*(.) durch h

Postulat des induktiven Lernens

Wenn Hypothese h approximiert Zielfunktion auf (großer) Lernstichprobe

Dann Hypothese h approximiert Zielfunktion auf bislang unbeobachteten Beispielen

Repräsentationsformalismen

für **Datenobjekte** · zugrundeliegende **Begriffe** · gelernte **Hypothesen**

Parametersätze	Diskriminanten, Neuronetze, Verteilungsfamilien
Formale Sprachen	reguläre Ausdrücke, endliche Automaten, CFG
Produktionsregeln	IF-THEN-Regeln, Assoziationen
Logik	Aussagen-/prädikatenlogische Formeln, Klauselmengen
Graphen	Semantische Netze, Drahtmodelle, Bayes/Markovnetze
Relationen	Totale-, partielle- und Intervallordnungen
Frames	Attribut-Wert-Paare, Dämonen, Defaults
Prozeduralformen	Programme, Operatoren
Hierarchien	Taxonomien, Partitionen, Entscheidungsbäume

Intensionale Repräsentationen

Endliche(!) formalsprachliche Beschreibung unendlicher(!) Gesamtheiten

Logische Formeln

$$\text{elefant}(x) \Leftrightarrow \text{grau}(x) \wedge \text{groß}(x) \wedge \text{hat}(x, \text{Rüssel}) \wedge \text{ist}(x, \text{nachtragend}) \wedge \neg\text{frißt}(x, \text{Rollmops})$$

Programme, Algorithmen

```
proc prim (nat n) bool:
        for i from 2 to sqrt(n) do
                if mod(n,i) = 0 then return false fi
                od
        return true
```

Grammatiken

$$\begin{aligned} S &\rightarrow NP\ VP \\ NP &\rightarrow N \mid Det\ N \\ VP &\rightarrow V \mid VP\ NP \\ N &\rightarrow John \mid Mary \\ V &\rightarrow loves \end{aligned}$$

Räumliche Strukturen

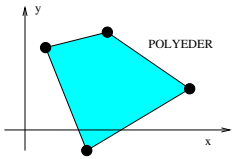
Kontinuum geometrischer Punkte als Lösung einer parametrisierten Gleichung

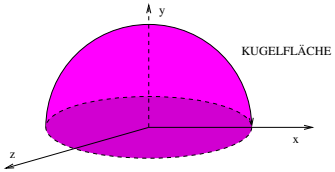
Polyeder

Drahtmodelle im $\mathbb{R}^n$:

$$(x_{(1)}, \ldots, x_{(m)}) \ , \qquad x_{(i)} \in \mathbb{R}^n$$

z.B. ein Viereck $((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4))$, $x_i, y_i \in \mathbb{R}$, in der Ebene





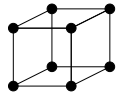
Punkte auf einer Hyperfläche

z.B. auf einer $\mathbb{R}^3$-Sphäre mit Radius r:

$$\boldsymbol{x} \ = \ (r\cos\theta, r\sin\theta, r\cos\omega) \ , \qquad \theta, \omega \in [0, 2\pi]$$

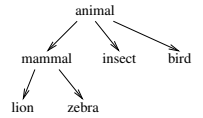
Graphen

Ungerichtet · Gerichtet · Markiert · Gewichtet



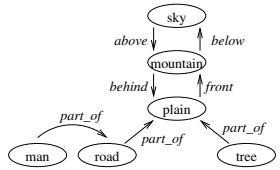
Ungerichteter Graph $\mathcal{G} = (U, L)$

$U \mathrel{\hat{=}}$ Knotenmenge
$L \mathrel{\hat{=}}$ Kantenmenge, $L \subseteq \{\{u, v\} \mid u, v \in U\}$



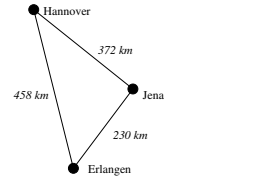
Gerichteter Graph $\mathcal{G} = (U, L)$

$U \mathrel{\hat{=}}$ Knotenmenge
$L \mathrel{\hat{=}}$ Kantenmenge,
$L \subseteq \{(u, v) \mid u, v \in U\} = U \times U$



Markierter Graph $\mathcal{G} = (U, L, \ell)$

$A \mathrel{\hat{=}}$ Symbolvorrat, Alphabet der Markierungen
$\ell \mathrel{\hat{=}}$ Kantenmarkierungsfunktion, $\ell : L \mapsto A$



Gewichteter Graph $\mathcal{G} = (U, L, w)$

$w \mathrel{\hat{=}}$ Kantengewichtungsfunktion, $w : L \mapsto \mathbb{R}$

Bäume

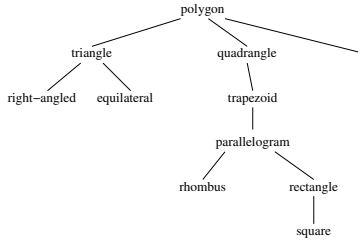
Zyklenfreie zusamenhängende ungerichtete Graphen bzw. ...

Definition

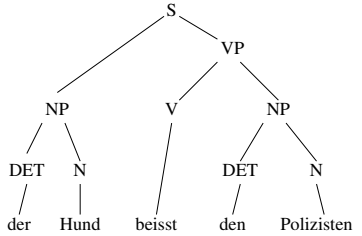
Der gerichtete Graph $\mathcal{G} = (U, L)$ heißt **Baum**, falls gilt:

1. $\mathcal{G}$ ist einfach zusammenhängend.
2. Ex. genau ein **Wurzelknoten** $u_0 \in U$ *ohne* Vorgängerknoten.
3. Alle $u \in U \setminus \{u_0\}$ besitzen *genau einen* Vorgängerknoten.

Knoten *ohne* Nachfolgerknoten heißen **Blattknoten**.



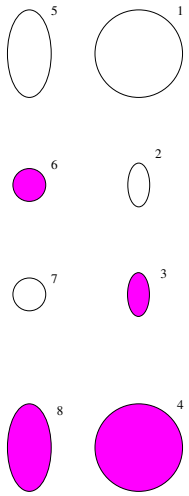
Taxonomie geometrischer Objekte



Grammatischer PS-Ableitungsbaum

Listen

Geordnete Folge von (1) Listen oder (2) Symbolen aus Alphabet $\mathcal{A}$



Objektrepräsentationen

```
object 1:   ( (shape circle)    (size large)   (color white)   )
object 2:   ( (shape ellipse)   (size small)   (color white)   )
object 3:   ( (shape ellipse)   (size small)   (color pink)    )
object 4:   ( (shape circle)    (size large)   (color pink)    )
object 5:   ( (shape ellipse)   (size large)   (color white)   )
object 6:   ( (shape circle)    (size small)   (color pink)    )
object 7:   ( (shape circle)    (size small)   (color white)   )
object 8:   ( (shape ellipse)   (size large)   (color pink)    )
```

Verschachtelte Darstellungen

```
(   (object1   ( (shape circle)    (size large)   (color white)   )
    (object2   ( (shape ellipse)   (size small)   (color white)   )
    (object3   ( (shape ellipse)   (size small)   (color pink)    )
    (object4   ( ... ... ...
                                                  ... ...         ))
```

Spezialfälle

Bäume $\mathrel{\hat{=}}$ Listen ohne Nachfolgerordnung
Zeichenketten $\mathrel{\hat{=}}$ flache Listen

„*Sein oder Nichtsein ...*“ oder „*GACTTTATAGCT...*“

Logische Repräsentationen

Aussagenlogik · Prädikatenlogik · Modal- und Zeitlogik

Hornklausel

(Disjunktive) Klausel mit *höchstens einem* positiven Literal

$$\neg P_1 \vee \ldots \vee \neg P_m \vee Q \quad \text{oder} \quad \neg P_1 \vee \ldots \vee \neg P_m$$

Schreibweise: «Kopf» $\leftarrow$ «Rumpf»

$Q \leftarrow P_1, P_2, \ldots, P_m$	(allg.)
$\leftarrow P_1, P_2, \ldots, P_m$	(Zielklausel)
$Q \leftarrow$	(Faktenklausel)
$\leftarrow$	(leere Klausel)

Beispiel

$female(angela)$
$male(franz)$
$mutual\_love(franz, angela)$
$can\_marry(x_1, x_2) \leftarrow mutual\_love(x_1, x_2), female(x_1), male(x_2)$

Prozedurale Repräsentationen

Imperative Formen · *„if/then“*-Regeln · Produktionsregeln

Beispiel

Imperative Darstellung einer Objektbeschreibung der Robotik:
„die kleine rote Schachtel steht auf der großen schwarzen Schachtel“

```
make_on (x,y) {
     cleartop (x);
     cleartop (y);
     puton (x,y);
     }
puton (x,y) {
     STORE <on (x,y)>;
     }
cleartop (x) {
     for all y DELETE <on (y,x)>;
     }
```


Was ist Data Mining ?

... und warum wird seit Beginn des Jahrtausends so viel darüber geredet ?

„Data Mining is the exploration and analysis,
by automatic or semi-automatic means,
of large quantities of data
in order to discover meaningful patterns and rules.“

Woher kommt der aktuelle Boom ?

- Massenproduktion von Daten
- Präsentation in *data warehouses*
- Rechnerleistung verfügbar
- Kommerzielle Datamining-Software erhältlich
- Starker Konkurrenzdruck

KDD — Knowledge Discovery in Databases

„We are drowning in information, but we are starving for knowledge.“ (John Naisbett 1996)

Was sind Daten?

· einzelne Objekte
· individuelle Merkmale
· riesige Fallzahlen
· verwirrende Vielfalt
· preiswert zu beschaffen
⊖ Voraussagen

Was ist Wissen?

· Klassen von Objekten
· globale Muster
· allgemeine Gesetze
· einfache Prinzipien
· schwer zu bekommen
⊕ Voraussagen

Tycho Brahe (1546–1601)

Massendatensammlung zu den Umlaufbahnen der Himmelskörper unseres Planetensystems geozentrische Koordinaten

Johannes Kepler (1571–1630)

1. Umlaufbahnen sind elliptisch
2. Laufzeit $\propto$ Sektorfläche
3. Umlaufperiode^2 $\propto$ Großradius^3

Typische Datenquellen

Industrielle Prozeßdaten

Analyse der Altpapieraufbereitung bei Kübler+Niethammer
8 Deinkingzellen à 54 Sensoren à 9000 Meßwerte/Tag ➪ 3.888.000 Mw/T

Umsatzdatenbanken

Warenkorbanalyse für die Scannerkassen bei *WalMart*
20 Millionen Transaktionen/Tag ➪ Datenbank 24 Terabytes

Molekularbiologie

Human Genome Database Project
Entschlüsselung des genetischen Codes des Menschen
60 000–80 000 Gene ➪ 3 Milliarden DNA-Basen

Visuelle Daten

NASA *Earth Observing System* sammelt
Oberflächenbilder tieffliegender Satelliten ➪ 50 Gigabytes/Stunde

Textinformationen

Ca. 10 Milliarden HTML-Seiten im *World Wide Web*
Suchmaschinen, Indexierer, Extrahierer, Emailfilter

Was ist das Analyseziel ?

Abstrakter Datensatz $\hat{=}$ Relation (Objekte $\times$ Attribute)

Gruppierung

Partitionierung der Datenobjekte in Häufungsgebiete

Klassifikation

Zuordnung von Datenobjekten zu Kategorien

Dependenzstruktur

Aufdecken der Abhängigkeiten zwischen den Objektattributen

Prädiktion

Vorhersage (noch) nicht verfügbarer Objektattribute

Selektion und Assoziation

Erkennung von Auffälligkeiten & Regelmäßigkeiten

Anwendungsbedarf nach Industriezweigen

Großhandel · Finanzen · Telekommunikation · Verkehr · Gesundheit

Fälschungssicherheit

Mobilfunk — *'cloning'* der Gerätekennung
Kreditkartenmißbrauch — physikalisch/elektronisch
Rechnermißbrauch — Angriff, Einbruch

Kreditwesen

Kreditwürdigkeit, Zahlungsfähigkeit
Risikokapital, Unternehmenssolvenz
Anlageberatung

Kundenbetreuung

Kundenbindung (Beispiel: 5% Reduktion der Fluktuation ➪ 200% Gewinn)
Direktmarketing (Handel, Bank, Versicherung)
Warenkorbanalyse im Einzelhandel

Beispiel Prozeßautomatisierung

Industrielle Herstellung von ICE-Türen aus Verbundwerkstoffen

Fertigungszelle

Prozeßkettenmodell ≙ Workflow mit aktiven & passiven Komponenten:

- **Meßwerte** erfassen + auswerten ➪ Sensoren
- **Stellgrößen** berechnen + anlegen ➪ Aktoren

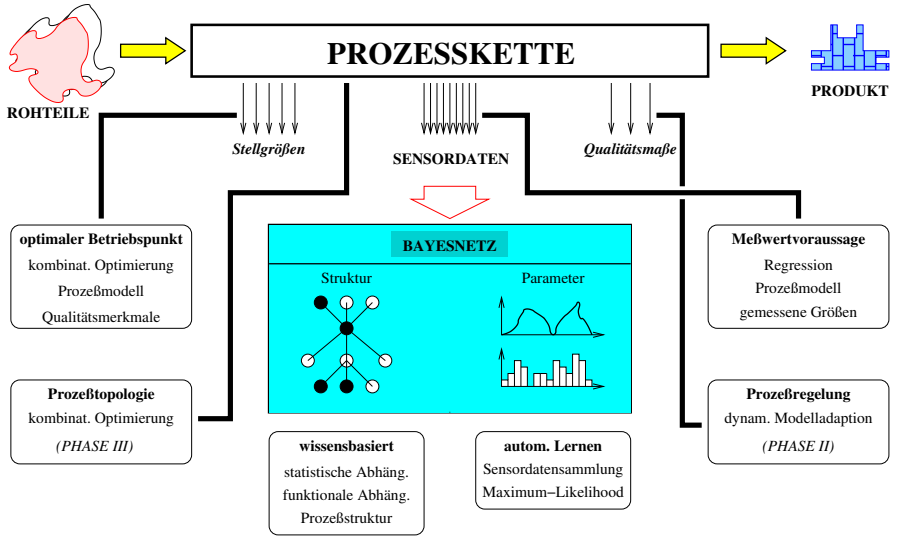
Produktionsoptimierung

Statt Erfahrung, Daumenregel und Intuition ...

- Prozeßvisualisierung
- Entscheidungsunterstützung
- Automatische (adaptive) Regelung
- Optimale Strukturierung der Prozeßkette

Beispiel Prozeßautomatisierung

Stochastischer Abhängigkeitsgraph zur Vorhersage optimaler Stellgrößen



Beispiel Prozeßautomatisierung

Automatisierung in der Papierindustrie

{ Holz, Baumwolle, Stroh } ➪ Zellulose ➪ { Papier, Karton, Pappe }

Industrielle Arbeitsschritte

1. **Kocher** — chemischer Aufschluß, Bleichung
2. **Flotationszelle** — lösen, vorsortieren, entfärben
3. **Refiner** — Fasern mahlen
4. **Pulper** — Wasser zusetzen (Suspension)
5. **Trockner** — Bandsieb, Pressung (Tambouren)
6. **Cutter** — zuschneiden, aufstapeln

Prozeßdatenerhebung

Automatisierung in der Papierindustrie

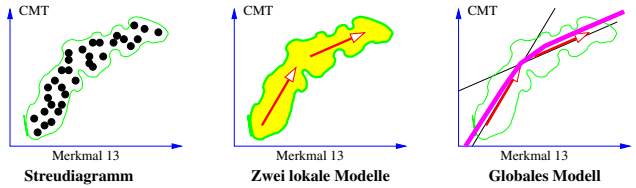
Zielgröße Papierqualität

Concora Medium Test

$$\text{CMT} \stackrel{\text{def}}{=} \text{„}\textit{Gewicht}\text{“} \,/\, \text{„}\textit{Festigkeit}\text{“}$$

26 Stellgrößen und Meßwerte

Druck, Temperatur, Menge, Gewicht, Qualität von Rohstoffen und Zwischenprodukten



Elliptotype-Cluster mit $x_{27} = 1.56 \cdot x_{13} + 0.32$ und $x_{27} = 0.60 \cdot x_{13} + 0.48$

Ablauf des Datamining-Prozesses

Automatisierung in der Papierindustrie

⟨Algorithmus⟩

0 LAUFZEITBEREINIGUNG
Transformation **physikalischer** Zeit t an Prozeßstation P_i via $\tau = t + \Delta t_i$
Meßwertvektoren $\tilde{\boldsymbol{x}}_t \in \mathbb{R}^{27} \rightsquigarrow$ Fälle $\boldsymbol{x}_\tau \in \mathbb{R}^{27}$ mit **synchronisierter** Referenzzeit

1 DATENSATZBEREINIGUNG
Ungültige Einträge markieren · Ausreißer nach 4σ-Regel markieren
Fälle mit markierten Werten tilgen

2 NORMIERUNG
Jedes der 27 Merkmale wird auf $\mathcal{N}(0,1)$ normiert.

3 DEPENDENZANALYSE
Untersuche Abhängigkeiten der Form (x_i, x_{27}) und (x_i, x_j, x_{27}).

4 REGRESSIONSANSATZ
Linear oder stückweise linear · zwei Elliptotype-Cluster

5 REGELERZEUGUNG
Überlagerung lokaler Modelle · Zugehörigkeitsfunktion $\rightsquigarrow$ Regelprämisse

⟨zumdtinoglA⟩

Was ist (maschinelles) Lernen ? Beispielanwendungen Repräsentationsformalismen Data Mining Σ

Vernetzte Systeme

Datenanalyse in granularen Transportsystemen

Aufgabenstellungen

- **Monitoring** · Erfassung des aktuellen Zustandes
- **Modellierung** · Gesetzmäßigkeiten in Transportströmen
- **Prognose** · Vorhersage der Netzbelastung
- **Routing** · Bestimmung optimaler Wege
- **Optimierung** · Verbesserung des Netzzustandes/Netzflusses

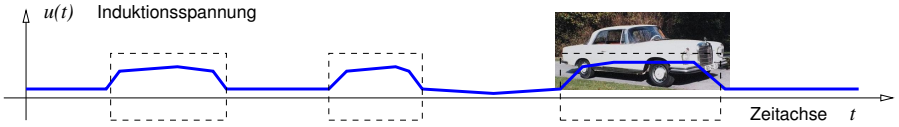
Anwendungsgebiete

- Güter- und Personenverkehr
- Telekommunikation
- Energieversorgung
- Rohstoffzufuhr im Fertigungsprozeß

Was ist (maschinelles) Lernen ? Beispielanwendungen Repräsentationsformalismen Data Mining Σ

Beispiel Verkehrsplanung und -lenkung

Dienstgüteanalyse der Verkehrszustände auf Autobahnstrecken



Meßverfahren

- **Meßwertreihe** $u(t)$ — Induktionsspannung
  Impulsfunktion der Induktionsschleife auf der Fahrbahn
- **Verkehrsstärke** q — Fahrzeuge/Stunde
  Zählung der Anzahl q von Impulsen (in $[1/h]$)
- **Streckenbelegung** β — Zeitanteil
  Summe der Impulsbreiten $\beta = \frac{1}{u_{\max} \cdot \Delta T} \int_T^{T+\Delta T} u(t)\,dt$
- **Verkehrsdichte** ρ — Fahrzeuge/Kilometer
  $\rho \approx \rho_{\max} \cdot \beta$ und gleichzeitig auch $q \approx \bar{v} \cdot \rho$, aber $\rho_{\max}$ und $\bar{v}$ unbekannt

Was ist (maschinelles) Lernen ? Beispielanwendungen Repräsentationsformalismen Data Mining Σ

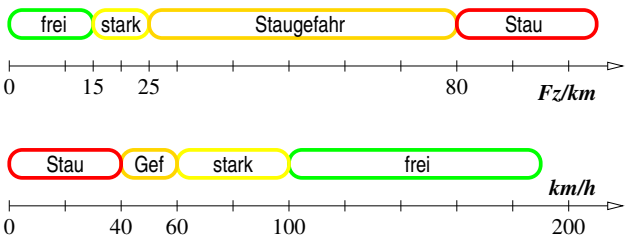
Beispiel Verkehrsplanung und -lenkung

Verkehrsflussmodell und Dienstgütestufen

Mathematisches Verkehrsflussmodell

Den Idealfall einer funktionalen Abhängigkeit $q(\rho) = v(\rho) \cdot \rho$ liefert:

$$v(\rho) = v_0 \cdot \rho \cdot \left(1 - \left(\rho/\rho_{\max}\right)^{\ell-1}\right)^{\frac{1}{1-m}}$$

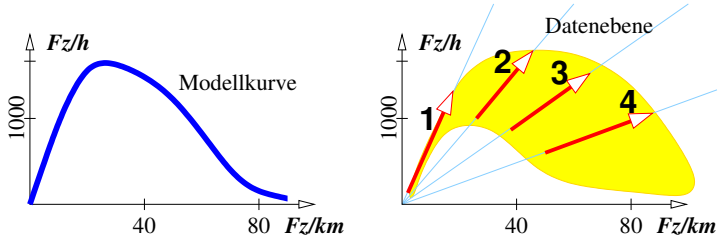


Dienstgütestufen („*levels of service*“)

1 freier Verkehr · 2 starker Vekehr · 3 Staugefahr · 4 Stau

Beispiel Verkehrsplanung und -lenkung

Modellierung und Interpretation der Meßdatensätze



Tagesgangkurven

Viertelstündige Verkehrsstärkemessung — 96 Werte/Tag
Medianglättung · Datensätze für Wochenkerntage — $M = 5$; Mo,Di,Mi,Do
Clustering in drei prototypische Gruppen:
1 Urlaubstag · 2 Durchschnittstag · 3 Großveranstaltungstag

Struktur der (ρ, q)-Datenebene

Konzentrische Geradenstücke $\hat{=}$ Verkehrssituationen gleicher Geschwindigkeit
4 Dienstgüten $\Leftrightarrow$ konzentrische Längscluster

Beispiel Marketing

Welche Datamining-Methoden für welche Fragestellung ?

Segmentierung

Welche Idealtypen von Kunden besitzt die Firma?

Klassifikation

Ist die konkrete Person ein potentieller Neukunde?

Konzeptualisierung

Welche Attribute charakterisieren ein Kundensegment?

Prädiktion

Welcher Umsatz ist im Folgejahr zu erwarten?

Deviation

Wo und warum ist Kundenverhalten verändert?

Dependenz

Wie beeinflußt eine Marketingaktion das Kundenverhalten?

Beispiel Marketing

Aktive Orientierung an Kundenwünschen $\rightsquigarrow$ Wettbewerbsvorteil

Relationale Datenbank eines Versandhauses

Kundentabelle — KuNr, PLZ, GJ (Geburtsjahr), ...
Umsatztabelle — BestNr, KuNr, Betrag, ...

Datamining-Schritte

Clusteranalyse der Verbundtabelle

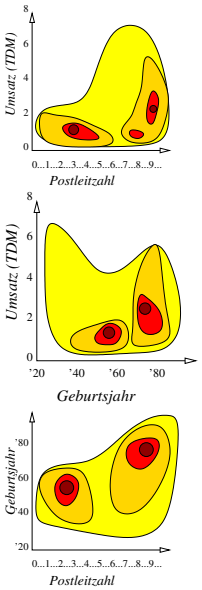
$$(PLZ, GJ, Umsatz) \in \mathbb{R}^3$$

Gewichteter euklidischer Abstand
$\boldsymbol{g} = (10^{-5}, 10^{-2}, 10^{-4})$

$$\mu^{(1)} = \begin{pmatrix} 27\,374 \\ 1954.16 \\ 1122.44 \end{pmatrix}, \quad \mu^{(2)} = \begin{pmatrix} 86\,356 \\ 1969.35 \\ 1618.99 \end{pmatrix}$$

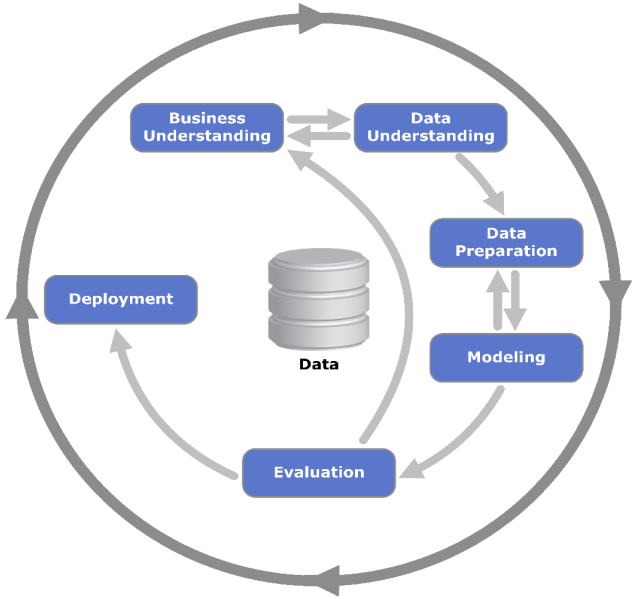
Risiken und Nebenwirkungen

„Alter“ $\Leftarrow$ *„Geburtsdatum“* $\Leftarrow$ *„1.1.1970“*



Cross-Industry Standard Process for Datamining

CRISP-DM (NCR & Daimler & SPSS/IBM)



SEMMA (SAS)

Sample
Explore
Modify
Model
Assess

WEKA et al.

data acquisition
data preprocessing
data modeling
data evaluation

Datamining-Projekte

Arbeitsphasen & Grundbausteine eines Datamining-Prozesses

Materialbeschaffung (I)

Planung
Datensammlung
Merkmalberechnung
Datenauswahl

Vorverarbeitung (II)

Normierung
Säuberung
Filterung
Ergänzung
Korrektur

Strukturanalyse (III)

Korrelation
Regression
Modellierung
Klassifikation
Gruppierung

Auswertung (IV)

Visualisierung
Interpretation
Dokumentation

(Kommerzielle) Softwaresysteme

Allroundpakete — nicht anwendungsspezifisch, viele Werkzeuge

Paket (Anbieter)	Implementierte Methoden
Clementine (SPSS & IBM)	`EB Reg MLP Rul kNN SOM Clus`
Enterprise Miner (SAS)	`EB Reg MLP Rul Seq Clus`
Darwin (Thinking Machines)	`EB MLP kNN`
WEKA (OSS/FSW)	`EB Reg MLP Rul SOM Clus`
'R'-Projekt (OSS/FSW)	`... das alles und noch viel mehr ...`

EB Statistische Entscheidungsbäume (CART)
Reg Regressionsmodelle für Vorhersage & Kategorisierung
MLP Mehrschichtenperzeptron
Rul Assoziations- und Fuzzyregelsysteme
kNN *k*-nächster-Nachbar Klassifikation
SOM Selbstorganisierende Merkmalkarten
Clus (Hierarchische) Gruppierungsverfahren
Seq Statistische Zeitreihenanalyse

Kommerzielle Softwaresysteme

Anwendungsspezifische Werkzeuge — integrierte Speziallösung

Fälschungsschutz

HNC Falcon/Eagle, Neuraltech Nestor/Minotaur, Nestor

Kreditkontrolle

FairIsaacs, Sigma Analytics, Neuraltech Decider

Kundenbindung

SLP InfoWare, Neuraltech Churn Manager

Kundenprofil

HNC ProfitMax, Neuraltech Gold, RightPoint, AppliedMetrix

Kommerzielle Softwaresysteme

Methodenspezifische Werkzeuge — die Welt sieht aus wie ein Nagel ...

Neuronale Netze

PittNet, NN/XNN, SNNS

Nächster-Nachbar-Klassifikator

SGI MLC++, Condor PEBLS

Abhängigkeitsanalyse

SGI MineSet, XPertRule Miner

Graphische Modelle

LEDA, LINK, ViCLAS, Precision Crimelink

bayes.stat.washington.edu · www.ncl.ac.uk · www.fammed.uokhsc.edu

Was ist (maschinelles) Lernen ? Beispielanwendungen Repräsentationsformalismen Data Mining Σ

Zusammenfassung (1)

1. **Maschinelles Lernen** verknüpft empirische *Beobachtungen*, menschliches *Vorwissen* und überlegene *Rechnerleistung* zu einer neuen Qualität intelligenter Informationsverarbeitung.
2. **Induktives Lernen**, die Verallgemeinerung auf Basis von Einzelfällen, ist eine unverzichtbare, gleichwohl unbeweisbare Schlußtechnik.
3. Die **Lernbeispiele** zu einem **Begriff** und ihre **Etikettierung** werden vom **Lehrer** und/oder dem **Lernprogramm** vorgegeben.
4. Die Frage nach einer (geeigneten) **Repräsentation** stellt sich bei den präsentierten **Datenobjekten**, den zugrundeliegenden **Begriffen** („*Konzepten*“) und den zu lernenden **Hypothesen**.
5. Die Objektrepräsentation umfasst **numerische**, **symbolische**, **prozedurale**, **relationale** und **metrisch-topologische** Darstellungen.
6. Zur Lösung der Lernaufgabe wird ein **Erfolgskriterium** optimiert.
7. **Datamining** ist die (oft interaktive) Anwendung von ML-, Statistik- und Visualisierungsmethoden auf **große Datenbestände**.
8. Das Anliegen ist das Aufdecken von **Gruppenstrukturen** und **Abhängigkeiten**, das Ermitteln von **Kategoriezugehörigkeiten** sowie Vorhersage und Abgleich zukünftiger oder unzugänglicher **Attributwerte**.
9. Datamining ist ein **zyklischer Prozess** der Schritte **Akquisition**, **Bereinigung**, **Modellierung** und **Evaluierung**.