

# Modul Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

WS 2024/25

Lernziele nach Modulbeschreibung:

*Die Studierenden kennen Grundlagen und praktische Anwendungen der Wissensverarbeitung und der Künstlichen Intelligenz.*

*Sie können basierend auf den Kenntnissen zu ausgewählten Formen der Darstellung von Wissen und zu Problemlösungsverfahren einfache Probleme aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz analysieren und lösen.*

statt:

*Diese Reaktionen auf ELIZA haben mir deutlicher als alles andere bis dahin Erlebte gezeigt, welche enorm übertriebenen Eigenschaften selbst ein gebildetes Publikum einer Technologie zuschreiben kann oder sogar will, von der es nichts versteht.*

Weizenbaum 1976 in „Computer Power and Human Reason“:

# Lehrinhalte im WS 2024/25

- ▶ Einteilung symbolische / statistische KI
- ▶ Zustandsübergangssysteme, Planen (symb)
- ▶ Heuristische Suche (symb /stat)
- ▶ Spiele (symb /stat)
- ▶ logische Programmierung (symb)
- ▶ Nichtmonotones Schließen (symb)
- ▶ Künstliche neuronale Netze / maschinelles Lernen (stat)

# Prüfung

- ▶ Prüfung (laut Modulbeschreibung: Klausur 90 min)  
Freitag, 28. Februar 2025 um 8:00-9:30  
in TRA 140 + kleinere Räume  
(Raumverteilung ab ca. 7:45 Uhr vor TRA 140)
- ▶ Inhalt:
  - ▶ Vorlesungsinhalt
  - ▶ Übungsaufgaben
  - ▶ Aufgabentypen wie Übungsaufgaben
- ▶ Prüfungsvorleistung Beleg (PVB):
  - ▶  $\geq 3$  Punkte für Vorrechnen in Übungen und
  - ▶  $\geq \lfloor 11/2 \rfloor = 5$  Punkte für Pflichtaufgaben im Autotool
- ▶ zur Prüfung (ausschließlich) zulässiges Hilfsmittel:  
A4-Blatt (beidseitig) handbeschrieben

Studentenbefragung

# Daten, Wissen, Intelligenz

Umwelt		Reize, Eindrücke
Agent	Wahrnehmen, Beobachten	Daten
	Erkennen, Verstehen	Information
	Anwenden, Können	Wissen
	Lernen	Wissenserwerb
	Verstehen, Reflektieren, Begründen, Erklären, Erkennen der Grenzen	Intelligenz

# Daten, Information, Wissen, Intelligenz

**Daten** Darstellungsform (Syntax)  
Zeichenketten, Bilder, Ton, ...

**Information** Bedeutung der Daten (Semantik)  
in einem bestimmten Kontext

**Wissen** Information mit einem Nutzen,  
trägt zur Lösung eines Problemes bei,  
Nutzen abhängig von vorhandenem Kontextwissen

**Wissenserwerb** Erkennen der Grenzen  
des eigenen Wissens in verschiedenen Kontexten,  
Erweiterung durch (konsistente) Integration neuer  
Informationen, Lernen

**Intelligenz** Fähigkeit zur Begründung,  
(vorherige) Einschätzen der Wirkung von Aktionen /  
Interventionen  
Reflexion, Retrospektive  
Betrachtung alternativer „Welten“  
(Was wäre eingetreten, wenn im gegebenen Kontext eine  
Eigenschaft nicht oder anders erfüllt gewesen wäre?)

# Künstliche Intelligenz / Wissensverarbeitung

Verarbeitung von Wissen:

- ▶ Speichern und Abrufen
- ▶ Herleitung neuen Wissens (mit Begründungen)
- ▶ sinnvolle Verwaltung von Erweiterungen

grundlegende Voraussetzung:

sinnvolle Formalisierung zur (maschinell lesbaren) **Repräsentation**

# Wissensrepräsentation und -verarbeitung

## Repräsentation

Aussagenlogik

Prädikatenlogik

definites logisches Programm  
(Prolog, Datalog)

normal logisches Programm  
(mit Negation im Rumpf)

Zustandsgraph

(trainiertes) KNN

kreative Leistung

## Verarbeitung

aussagenlogische Resolution

prädikatenlogische Resolution

(SLD-)Resolution, Prolog-Interpreter,  
Konsequenzoperator

Konsequenzoperator

Suche (vollständig oder heuristisch)

Anwendung der im KNN gespeicherten  
Funktion auf fallspezifische Daten

Standardverfahren

# Themenbereiche

- ▶ Zustandsübergangssysteme, Planen, Spiele (symb)
  - ▶ Heuristische Suche (symb /stat)
  - ▶ Spielbäume
- ▶ aussagenlogische Repräsentationen (symb)  
Entscheidungsbaum, -tabelle, BDD
- ▶ logische Programme (symb)
  - ▶ definite logische Programme
  - ▶ normal logische Programme
  - ▶ Prolog, Datalog
- ▶ Künstliche neuronale Netze (stat)
  - ▶ künstliche Neuronen
  - ▶ FFN-Netze
  - ▶ rekurrente Netze
  - ▶ Assoziativspeicher
  - ▶ Hopfield-Netze



# Zustandsübergangssysteme – Formalisierung

Formalisierung des Kontextes:

Problembeschreibung (Modellierung) durch  
Zustandsgraphen:

- ▶ Knoten: Zustände
- ▶ Kanten: zulässige Übergänge zwischen Zuständen
- ▶ ausgezeichnete Startzustände
- ▶ Eigenschaften der Zielzustände

mögliche gewünschte **Lösung**:

- ▶ ein Zielzustand (bei definierten Zielbedingungen)
- ▶ alle Zielzustände
- ▶ Zielzustände mit guter Bewertung (Zusatzinformation)
- ▶ Pfade zu Zielzuständen (Pläne, Strategien)

Anwendungen, z.B.

- ▶ Verifikation
- ▶ kombinatorische Suchprobleme
- ▶ Planen
- ▶ Spielsituationen

# Zustandsübergangssysteme – Verarbeitung

Suchverfahren in Zustandsgraphen:

**Tiefensuche** (uninformiert)

Verwaltung entdeckter, aber noch nicht abgearbeiteter Knoten in Stack

**Breitensuche** (uninformiert)

Verwaltung entdeckter, aber noch nicht abgearbeiteter Knoten in Queue

**heuristische Suche**

Bestensuche nach Lösungen mit zusätzlichen (Optimalitäts-)Eigenschaften oder zur Beschleunigung der Suche

Verwaltung entdeckter, aber noch nicht abgearbeiteter Knoten in Priority-Queue mit geeignet gewählten Prioritäten (bisherige, geschätzte zukünftige Kosten)  
Greedy, A\*

**Spielbaum-Suche** (Zwei-Personen-Spiele)

Minimax-Suche,  $\alpha$ - $\beta$ -Pruning

# Aussagenlogik – Formalisierung

Formalisierung:

Problembeschreibung (Modellierung) durch

- ▶ Definition der Aussagenvariablen
- ▶ Formeln für Zusammenhänge zwischen den Aussagen oft in speziellen Darstellungen, z.B. als
  - ▶ Menge aussagenlogischer Formeln, insbesondere Regeln (ohne Alternative)
  - ▶ Formeln in spezieller Form, z.B. CNF
  - ▶ Entscheidungstabelle
  - ▶ Entscheidungsbaum (Regeln mit Alternative)
  - ▶ Entscheidungsdiagramm (BDD, OBDD)

WH: aussagenlogisches Modell = erfüllende Belegung  $\beta : P \rightarrow \{0, 1\}$  der Aussagenvariablen (aus Menge  $P$ ) mit Wahrheitswerten (neu: alternative Darstellung als Menge  $\beta^{-1}(1)$  von Aussagenvariablen)

Fragen / **Lösungen:**

- ▶ Ist eine gegebene Belegung ein Modell?
- ▶ Existiert ein Modell?
- ▶ Finde ein Modell / Menge aller Modelle

# Aussagenlogik – Verarbeitung

semantische Verfahren:

- ▶ Wahrheitswerttabellen
- ▶ Spalte in Entscheidungstabelle finden
- ▶ Pfad in Entscheidungsbaum folgen
- ▶ Pfad in BDD folgen

syntaktische Verfahren:

- ▶ äquivalente Umformungen
- ▶ aussagenlogische Resolution

# Prädikatenlogik – Formalisierung

Formalisierung:

Problembeschreibung (Modellierung) durch

- ▶ Signatur zur Problembeschreibung:  
Funktions- und Relationssymbole mit Typ  
(abstrakter Datentyp, Interface)
- ▶ Formeln für Zusammenhänge zwischen den Aussagen (Axiome)

WH: prädikatenlogisches Modell (Interpretation) =

- ▶ algebraische Struktur und
- ▶ Belegung der Individuenvariablen mit Elementen der Trägermenge der Struktur

Fragen / **Lösungen**:

- ▶ Ist eine gegebene Interpretation ein Modell?
- ▶ Existiert ein Modell?
- ▶ ein Modell bzw. alle Modelle (i.A. unendlich)
- ▶ alle intendierten Modelle
  
- ▶ Haben zwei Formeln (Formelmengen) dieselben Modelle?
- ▶ Folgt eine Formel aus einer Formelmenge (Wissensbasis)?

# Prädikatenlogik Verarbeitung

syntaktische Verfahren:

- ▶ prädikatenlogische Resolution mit Unifikation
- ▶ andere Kalküle
- ▶ äquivalente Umformungen

semantische Verfahren nur bei Strukturen mit **endlichen Trägermengen** möglich

1. Grundinstanziierung:  
Ersetzung aller Formeln durch die Menge aller ihrer Grundinstanzen  
Betrachtung der Grundatome als aussagenlogische Atome
2. Anwendung aussagenlogischer Verfahren

# Regelsysteme

Regel (ohne Alternative):

$b \rightarrow h$  (Rumpf  $b$ , Kopf  $h$ )

Regelsystem : endliche Menge von Regeln

besprochene Spezialfälle:

definite Regeln Kopf (Folgerung): Atom

Rumpf (Bedingungen) : Konjunktion von Atomen  
(Regel in Klauselform: Horn-Klausel)

normale Regeln (schwach negierte Atome im Rumpf)

Kopf: Atom

Rumpf: Konjunktion positiver und (schwach)  
negierter Bedingungen

# Regelsysteme – Formalisierung

Formalisierung:

Kontext:

- ▶ Faktenbasis: Menge von Fakten (evtl. Datenbank)
- ▶ Regelmenge: Menge von Regeln

evtl. Anfrage

Fragen / Lösungen:

- ▶ Folgt eine Aussage aus der Wissensbasis?
- ▶ Ist die Wissensbasis konsistent?
- ▶ Menge aller (oder bestimmter) Aussagen, die aus der Wissensbasis folgen



# Regelsysteme – Verarbeitung

**Rückwärtsverkettung** (zielorientiert, mit Anfrage):

schrittweises Generieren von Hypothesen aus  
Regelrümpfen, aus deren Wahrheit die Wahrheit der  
Anfrage folgt  
analog automatische Beweisverfahren

**Vorwärtsverkettung** (datenorientiert):

schrittweise Erweiterung der Faktenbasis um neue  
Fakten durch Anwendung feuernder Regeln

Konflikte: feuernde Regeln mit widersprechenden Köpfen

Konfliktlösestrategien

# Logische Programmierung

Spezialfall (prädikatenlogischen) Schließens

Formalisierung:

- ▶ logische Programme: Mengen von
  - ▶ Fakten (Atome)
  - ▶ Regeln (Implikation)
- ▶ Anfrage (Konjunktion von Atomen)
- ▶ Lösung: Antwort auf Anfrage (ja / nein),  
evtl. mögliche Belegung der Individuenvariablen,  
für welche die Anfrage aus dem Programm folgt

Verarbeitung:

- ▶ Rückwärtsverkettung (PROLOG):  
prädikatenlogische Resolution (Unifikation)
- ▶ Vorwärtsverkettung (DATALOG):  
Fixpunkte von Konsequenzoperatoren

# Nichtmonotones Schließen

Grundannahmen (entsprechend menschlicher Intuition):

- ▶ closed world assumption (CWA):  
Was nicht in Wissensbasis (Programm / Regelmenge), gilt nicht.
- ▶ schwache Negation:  
Was nicht aus der Wissensbasis abgeleitet werden kann, gilt nicht.
- ▶ starke Negation:  
Genau die Aussagen, deren Negation aus der Wissensbasis abgeleitet werden kann, gelten nicht.

Semantik: Menge möglicher (intuitiver) Modelle

- ▶ definite Programme (Hornklauseln):  
(immer eindeutiges) minimales Herbrand-Modell  
Bestimmung: = kleinster Fixpunkt des Konsequenzoperators
- ▶ normal logische Programme (mit negativen Bedingungen):  
hat nicht immer genau ein minimales Herbrand-Modell,  
Konsequenzoperator hat nicht immer einen Fixpunkt,  
selbst wenn, müssen diese nicht übereinstimmen,  
intuitive Modelle: stabile Modelle

# Maschinelles Lernen

- ▶ überwacht
  - ▶ korrigierend:  
Trainingsmengen enthalten Paare (Eingabe, Ausgabe)
  - ▶ bestärkend (reinforcement learning):  
Training mit Menge von Eingaben und  
Funktion : (Eingabe, Ausgabe)  $\rightarrow$  richtig / falsch
- ▶ unüberwacht  
Trainingsmengen enthalten nur Eingaben

# Künstliche Neuronen

- ▶ biologisches Vorbild
- ▶ mathematisches Modell
- ▶ prominente Eingangs-, Aktivierungs-, Ausgangsfunktionen
- ▶  $\Delta$ -Lernregel
- ▶ McCullochs-Pitts-Neuron
- ▶ Schwellwert-Neuron
- ▶ Faltungs-Neuron
- ▶ ...
- ▶ geometrische Interpretationen

# Künstliche Neuronale Netze

- ▶ Schichten-Struktur
- ▶ Ein-, Mehr-Schicht-FFN
- ▶ rekurrente Netze, LSTM
- ▶ Assoziativspeicher, BAM, Hopfield-Netz
- ▶ Lernverfahren / Training
- ▶ Anwendungen