

Modul Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

WS 2022/23

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.

Lehrinhalte im WS 2022/23

- ▶ Einteilung symbolische / statistische KI
- ▶ Zustandsübergangssysteme, Planen (symb)
- ▶ Heuristische Suche (symb /stat)
- ▶ Spiele1 (symb /stat)
- ▶ logische Programmierung (symb)
- ▶ Nichtmonotones Schließen (symb)
- ▶ Künstliche neuronale Netze (stat)

Prüfung

- ▶ Prüfung (laut Modulbeschreibung: Klausur 90 min)
Mittwoch, 15.02.2023 um 8:00-9:30 in G119
- ▶ Inhalt:
 - ▶ Vorlesungsinhalt
 - ▶ Übungsaufgaben
 - ▶ Aufgabentypen wie Übungsaufgaben
- ▶ Prüfungsvorleistung Beleg (PVB):
 - ▶ ≥ 3 Punkte für Vorrechnen in Übungen und
 - ▶ $\geq \lfloor 14/2 \rfloor = 7$ Punkte für Pflichtaufgaben im Autotool
- ▶ zur Prüfung (ausschließlich) zulässiges Hilfsmittel:
A4-Blatt (beidseitig) handbeschrieben

Daten, Wissen, Intelligenz

Umwelt		Reize, Eindrücke
Agent	Wahrnehmen, Beobachten	Daten
	Erkennen, Verstehen	Information
	Anwenden, Können	Wissen
	Lernen	Wissenserwerb (Intelligenz?)
	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
 - ▶ rekurrent
 - ▶ Assoziativspeicher

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, α - β -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)

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: minimale Herbrand-Modelle,
die auch Fixpunkt des Konsequenzoperators sind

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
- ▶ Δ -Lernregel, Lernregel von Hebb
- ▶ McCullochs-Pitts-Neuron
- ▶ Schwellwert-Neuron
- ▶ ...
- ▶ geometrische Interpretationen

Künstliche Neuronale Netze

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

Chatbots – ELIZA

entwickelt 1966 von Joseph Weizenbaum (1923 – 2008)

- ▶ transformiert Anfragen in Antworten
Kontext: simuliert Gesprächspsychotherapie (GPT)
- ▶ Funktionsweise: identifiziert und bewertet Schlüsselwörter in der Anfrage, Antwort entsteht durch eine der Möglichkeiten
 - ▶ Transformation der Anfrage
 - ▶ Einsetzen des wichtigsten Schlüsselwortes in Satzschablonen
 - ▶ „Verlegenheitsantworten“, z.B.
Please go on / continue / explain.
That's quite interesting.
What is it you really want to know?
What answer would please you most?

Auswahl unter mehreren verschiedenen Formulierungen abhängig vom bisherigen Verlauf (Gedächtnis)

Weizenbaum 10 Jahre später in „Computer Power and Human Reason“:
„Diese Reaktionen auf ELIZA haben mir deutlicher als alles andere bis dahin Erlebte gezeigt, welch enorm übertriebenen Eigenschaften selbst ein gebildetes Publikum einer Technologie zuschreiben kann oder sogar will, von der es nichts versteht.“

Chatbots – ChatGPT

Chat Generative Pre-trained Transformer 2022

- ▶ transformiert Anfragen in Antworten,
Kontext: öffentlich zugängliche große ungefilterte Datenmengen,
simuliert Auskunfts-Agentur (ohne semantisches Verständnis von Frage / Antwort)
- ▶ Large language model (LLM)
Repräsentation von Wortvorkommen durch Merkmalsvektoren
(Information über Co-occurezenzen, Position im Satz usw.)
statistisches Modell zur Vorhersage des nächsten Wortes / Satzes
gewichtete (bidirektionale) Kanten zwischen jedem Tokenpaar
(probabilistischer Automat)
- ▶ Überwachtes Lernen in zwei Schritten soll unerwünschte Antworten vermeiden,
Trainingsmengen, Feedback durch sehr viele „labeler“ (Menschen)
 - ▶ beantworten typische Eingaben manuell (korrigierend),
 - ▶ bewerten die Antworten (reinforcement learning)
- ▶ Zustände ermöglichen Bezug auf vorangegangene Anfragen und Antworten (Gedächtnis)