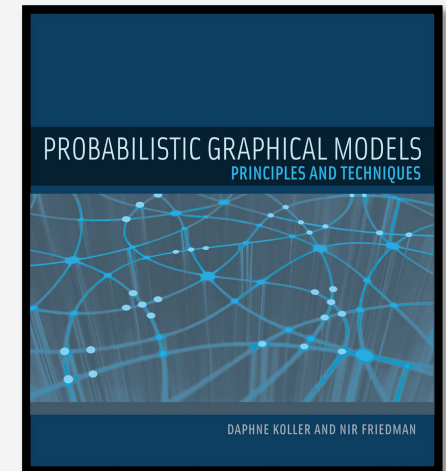
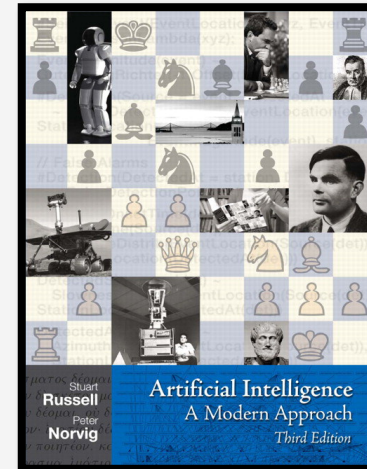




Abschluss

Einführung in die
Künstliche Intelligenz



Inhalte

1. Künstliche Intelligenz & Agenten

- Agentenabstraktion, Rationalität
- Aufgabenumgebung

2. Episodische PGMs

- Gerichtetes Modell: Bayes Netze (BNs)
- Ungerichtete Modelle

3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeits- und Zustandsanfragen
- Direkt auf den Modellen, mittels Hilfsstrukturen

4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeitsanfragen
- Deterministische, stochastische Algorithmen

5. Lernalgorithmen für episodische PGMs

- Bei (nicht) vollständigen Daten, (un)bekannter Struktur

6. Sequentielle PGMs und Inferenz

- Dynamische BNs, Hidden-Markov-Modelle
- filtering / prediction / hindsight Anfragen, wahrscheinlichste Zustandssequenz
- Exakter, approximativer Algorithmus

7. Entscheidungstheoretische PGMs

- Präferenzen, Nutzenprinzip
- PGMs mit Entscheidungs- und Nutzenknoten
- Berechnung der besten Aktion (Aktionssequenz)

8. Abschlussbetrachtungen

Überblick: 8. Abschlussbetrachtungen

A. Modell- und nutzenbasierter Agent mittels PGMs

- Überblick über die Vorlesungsinhalte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten
- Überblick weiterer Aspekte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten

B. Rückbezug auf die Einleitung

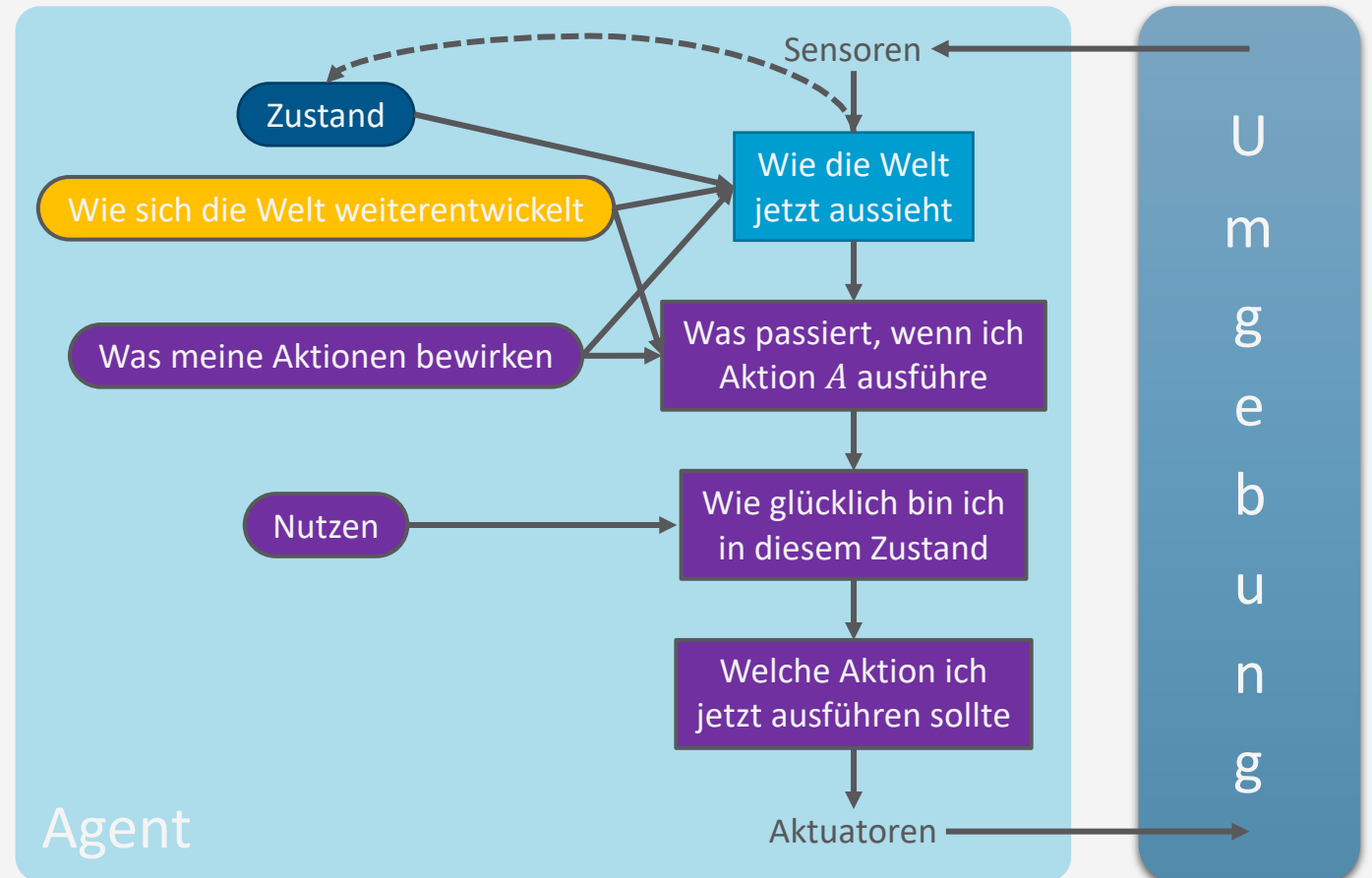
- Lernziele
- Literatur

C. Organisatorisches

- Vorlesung
- Klausur

Einordnung der Vorlesung: *Modell- und nutzenbasierter Agent*

- Nachfolgende Themen der Vorlesung
 2. Episodische PGMs
 3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs
 4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs
 5. Lernalgorithmen für episodische PGMs
 6. **Sequentielle PGMs und Inferenz**
 7. Entscheidungstheoretische PGMs



Entscheidungen treffen und danach handeln

- Zurückweichender **Horizont**:
 - Einen meu-Algorithmus aufrufen, um eine temporale Aktionszuweisung π für die nächsten k Schritte zu berechnen, zu erhalten, erste Aktion ausführen; meu aufrufen, ...
- Nützlich, wenn unvorhersehbare Dinge häufig bzw. wahrscheinlich passieren
 - Unmittelbar neue Aktionszuweisung berechnen
- Mögliches Problem:
 - Kann wiederholt zu Unterbrechungen führen, während die Routine darauf wartet, dass meu die neue Aktionszuweisung zurückgibt

Run-MEU (M, k)

```

while  $e \leftarrow$  new evidence do
  absorb  $e$  in  $M$ 
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )
  perform  $a$ 
  update  $M$  with  $a$ 
  
```



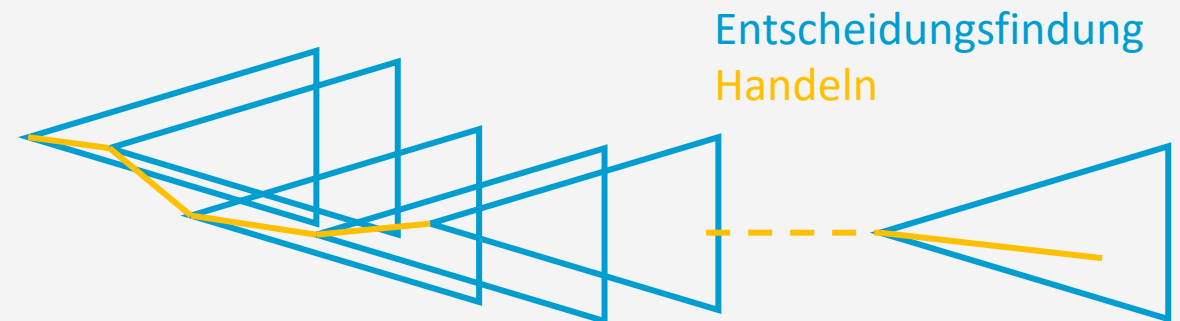
Entscheidungen treffen und danach handeln

- Modellierung der Umgebung benötigt
 - Repräsentation von Unsicherheiten
 - (Entscheidungen über) Handlungen im System
 - Effekte / Ausgänge der Handlungen
 - Nutzen / Zufriedenheit mit dem Ergebniszustand
 - Zeitliches Modell
 - Änderungen durch Handlungen im System
 - Änderungen aus dem System selbst heraus
- Lösungsansätze beantworten u.a. Wahrscheinlichkeitsanfragen zur Bestimmung der besten Handlungen
 - Exakte oder approximative Algorithmen

Run-MEU (M, k)

```

while  $e \leftarrow$  new evidence do
  absorb  $e$  in  $M$ 
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )
  perform  $a$ 
  update  $M$  with  $a$ 
  
```



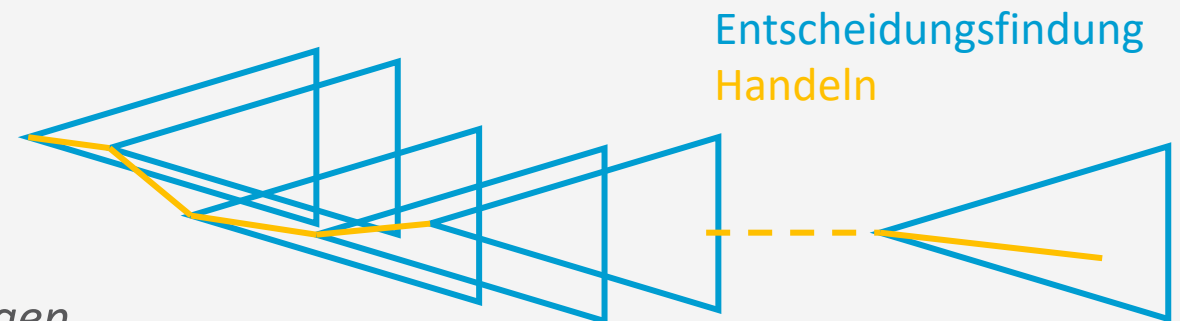
Entscheidungen treffen und danach handeln

- Exakt
 - VE als grundlegender Algorithmus zur Anfragebeantwortung
 - JT als Algorithmus zur Multi-Anfragebeantwortung
 - PP direkt auf azyklischem Modell
 - Algorithmen für sequentielle oder entscheidungstheoretische Inferenz greifen Ideen bzw. Algorithmen wieder auf
- Approximativ
 - Sampling-Algorithmen (direkt, MCMC)
 - Unabhängigkeitsannahmen zur Vereinfachung
 - (episodisch: BP direkt auf generellem Modell);
 - (sequentiell: Boyen-Koller Alg.);
 - entscheidungstheoretisch: vereinfachte *EU-Anfragen*

Run-MEU (M, k)

```

while  $e \leftarrow$  new evidence do
  absorb  $e$  in  $M$ 
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )
  perform  $a$ 
  update  $M$  with  $a$ 
  
```



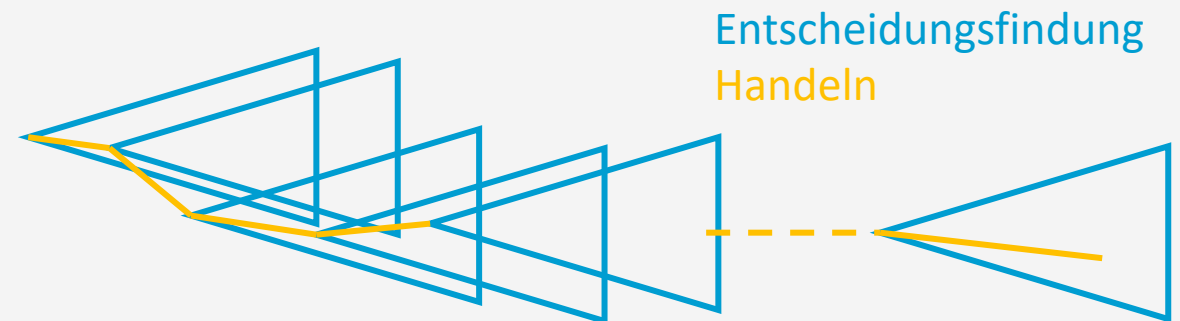
Monte Carlo vs. Las Vegas

- Agent muss mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen arbeiten, benötigt eine Antwort in einer gegebenen Zeit θ
- **Monte Carlo** → Approximative Inferenz (Sampling)
 - Das bestmögliche aber nicht zwangsweise richtige Ergebnis, welches in der gegebenen Zeit generiert werden konnte
- **Las Vegas** → Exakte Inferenz
 - Entweder das richtige Ergebnis in der gegebenen Zeit erhalten oder Pech gehabt
- Kombiniere Monte Carlo & Las Vegas
 - Bis θ erreicht ist
 - Ein Thread arbeitet mit exakter Inferenz
 - Ein Thread arbeitet mit approximativer Inferenz
 - Wenn exakte Inferenz ein Ergebnis erhält, bevor θ erreicht ist, breche ab und gebe Ergebnis aus
 - Nutze Ergebnis der approximativen Inferenz, welches zum Ablauf von θ zur Verfügung steht

Run-MEU (M, k)

```

while  $e \leftarrow$  new evidence do
  absorb  $e$  in  $M$ 
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )
  perform  $a$ 
  update  $M$  with  $a$ 
    
```



Offline vs. Online Entscheidungsfindung

- Online Entscheidungsfindung: Abhängig davon, wie weit man in die Zukunft (k) schaut
 - Horizont immer mehr erweitern und zukünftige Effekte zurückpropagieren bis zum Fixpunkt π^*
- Offline decision making
 - Entscheidungen nicht im laufenden Betrieb (*online*) neu berechnen, sondern im Vorhinein den besten Kompromiss π^* berechnen (*offline*)
 - Lösen eines **partiell beobachtbaren Markov Entscheidungsproblems** (*partially observable Markov decision process, POMDP*) – Kap. 17 in AIMA(de)
 - Kaum Faktorisierung: Übergangsmodell über Zustandsraum, Sensormodell für Beobachtungen
 - π^* quasi Tabelle zum Nachschlagen der besten Aktion
 - Schnell während des Handelns (*online*), riesiger Overhead vorher (*offline*)
 - Reagieren auf extreme Situationen / Evidenz nicht möglich

Teil der Master-Vorlesung: *Automated Planning and Acting* (WiSe 2023/24)

Entscheidungen treffen und danach handeln

- Woher kommt das Modell als Basis?
- Modell über Expertenwissen per Hand aufstellen
- Lernalgorithmen für PGMs
 - Gegeben Daten als Evidenz für Verteilung
 - ML-basiert: „Zählen der Vorkommnisse“
 - EM: Bei nicht beobachtbaren Variablen, erwartete Zähler aus den Daten heraus und mit geratenen Parametern bestimmen und dann die Parameter optimieren
 - Struktur lernen und sequentielles lernen nach gleichem Prinzip möglich
- Expertenwissen und Lernalgorithmen kombinieren
- Achtung: Korrelation vs. Kausalität

Run-MEU (M, k)

```

while  $e \leftarrow$  new evidence do
  absorb  $e$  in  $M$ 
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )
  perform  $a$ 
  update  $M$  with  $a$ 
  
```



Entscheidungen treffen und danach handeln

- Verwandtes Forschungsgebiet: **Reinforcement Learning**
 - Agent soll in einer unbekanntem Umgebung lernen optimal zu handeln
 - Modell nicht bekannt
 - Keine Daten (anfangs) zur Verfügung um Modell zu lernen
 - Zwei Ziele im Konflikt: *exploration vs. exploitation*
 - Exploration:
 - Neue Dinge ausprobieren: Umgebung erkunden
 - Neues lernen, aber verursacht Kosten
 - Exploitation:
 - Gelernte Dinge anwenden: Rewards sammeln
 - Bringt Gewinn / Nutzen, Agent lernt nichts Neues (besseres)
 - Anwendungen: (Staubsaug-, Mars-)Roboter

```
Run-MEU ( $M, k$ )
```

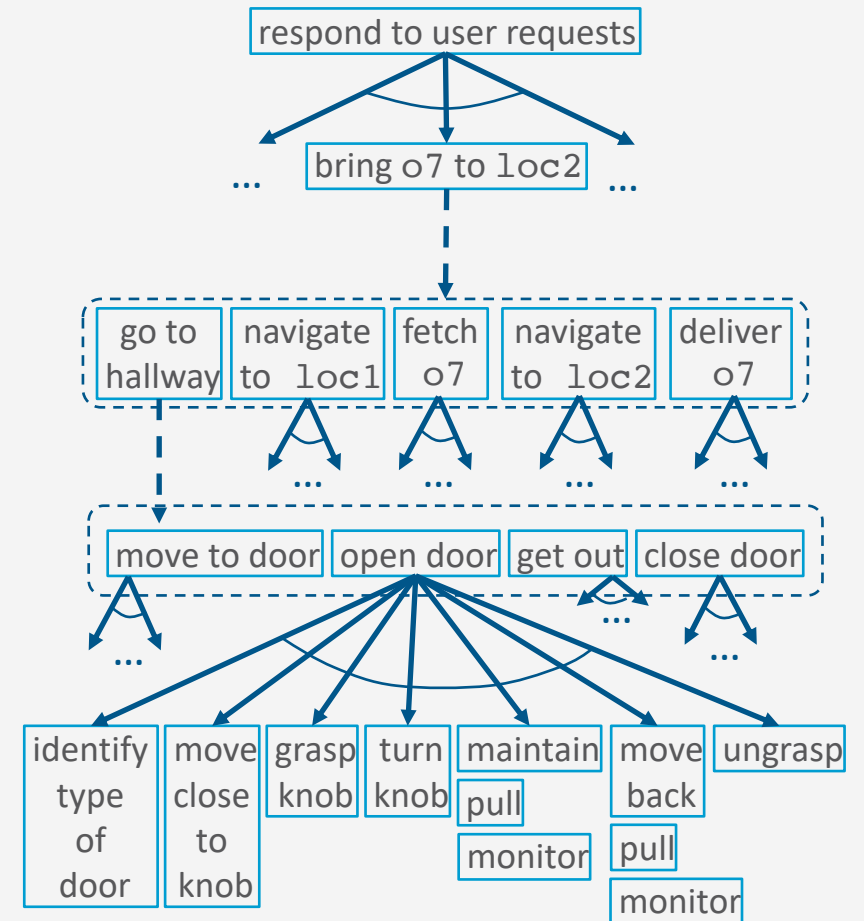
```
while  $e \leftarrow$  new evidence do  
  absorb  $e$  in  $M$   
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )  
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )  
  perform  $a$   
  update  $M$  with  $a$ 
```

Einblick in Grundlagen auch in der Master-Vorlesung:
Automated Planning and Acting (WiSe 2023/24)
Dazu gibt es nächstes Semester vom neuen Kollegen
Malte Schilling etwas in der Richtung.

Umsetzung von Handlungen

- Forschungsgebiet **Refinement**
 - Von der abstrakten Planung mit Black-Box-Aktionen zur technischen Umsetzung mittels iterativen Prozeduren und Befehlen an die Ausführungsinstanz
 - Technische Umsetzung: Aktuatoren
 - Motoren (**Ingenieurwesen**); Ausgabeschnittstelle / GUI (**Mensch-Maschine-Interaktion**)
- Inverses gilt für die Beziehung zwischen Evidenz und dem, was die Sensoren aufnehmen
 - Datenvorverarbeitung
 - Beispiele: Diskretisierung, Bereinigung
 - Technische Umsetzung der Sensoren:
 - Kamera, Taster, Fühler, etc. (**Ingenieurwesen**), Eingabeschnittstellen (**Mensch-Maschine-Interaktion**)

Refinement der Master-Vorlesung: *Automated Planning and Acting* (WiSe 2023/24)

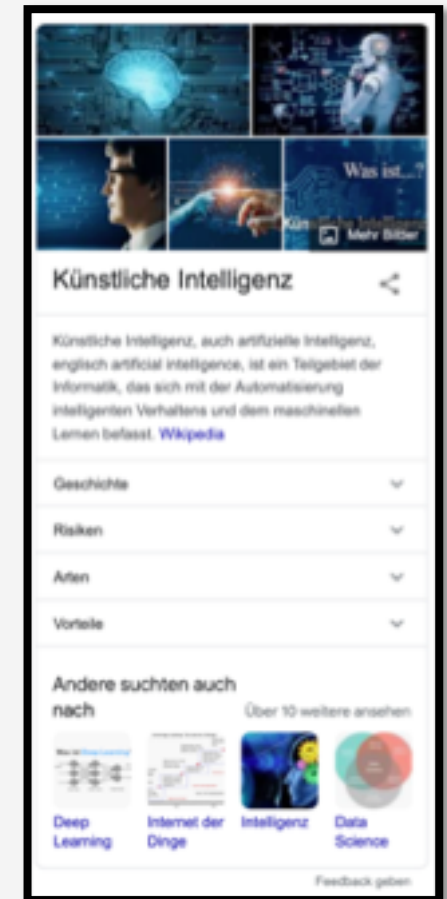
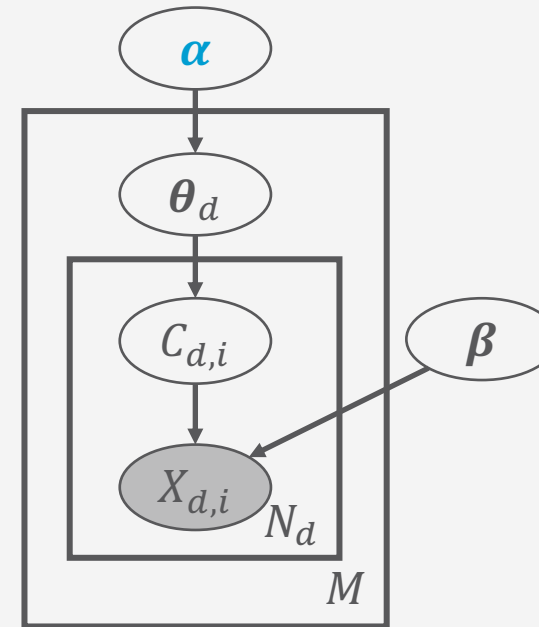


Planning

Acting

~~Entscheidungen treffen und danach handeln~~ Informationen zurückgeben

- Informationsbeschaffung
 - Beispiel: relevante Dokumente suchen
 - Eingaben: Suchstring / Dokument
 - Beispiel: relevante Informationen mit Google suchen
 - Eingaben: Suchstring
- Benötigt erstmal kein zeitliches, entscheidungstheoretisches Modell
 - Beispiel: Topic-Modellierung
 - Ausgabe: Dokumente mit ähnlichen Topic-Verteilungen
 - Beispiel: Google
 - Zusätzliche Informationen zu identifizierten Entitäten aus Suchstring anzeigen, basierend auf deren *Knowledge Graph*



~~Entscheidungen treffen und danach handeln~~ Informationen zurückgeben

- Nutzenorientierter Agent wird es dann, wenn man ein Optimierungskriterium definiert
 - Rückkehr von Nutzer*innen für erneute Anfragen
 - Anstieg von Anfragezahlen
- Man kann sich auch überlegen ein Modell über die Präferenzen von Nutzer*innen zu lernen
 - Wird heutzutage durchaus gemacht → Cookies
 - Neue Probleme: Woher Feedback bekommen, wenn man nicht die Daten per Cookies abgreifen möchte? Wie mit unsicherem, inkonsistentem Feedback umgehen?
 - Evidenz bisher immer sicher / faktisch korrekt

Run-MEU (M, k)

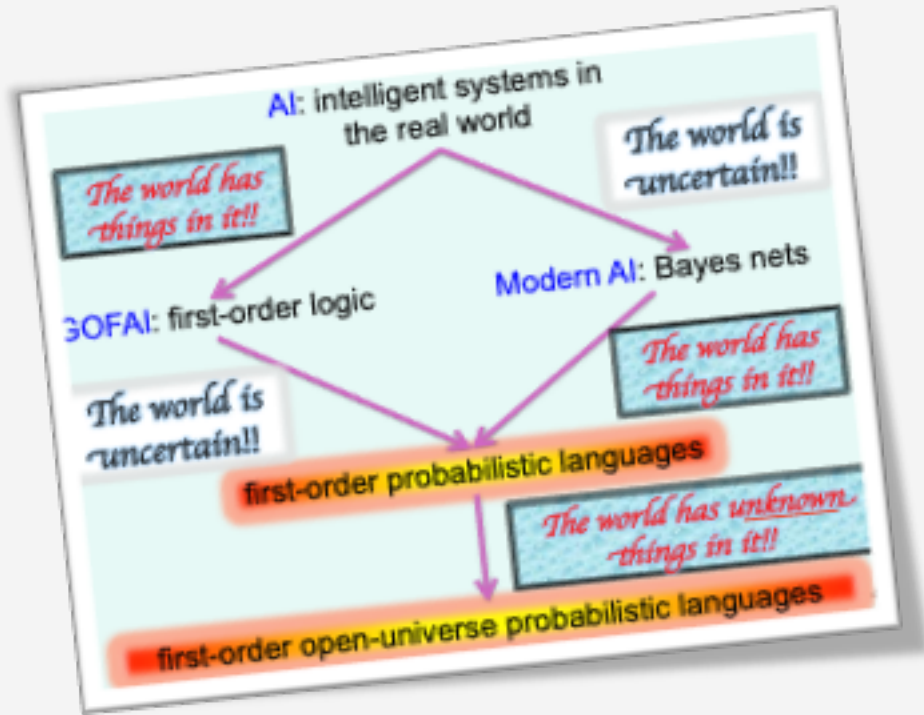
```

while  $e \leftarrow$  new evidence do
  absorb  $e$  in  $M$ 
   $\pi \leftarrow$  meu( $M, k$ )
   $a \leftarrow$  pop-first( $\pi$ )
  perform  $a$ 
  update  $M$  with  $a$ 
  
```

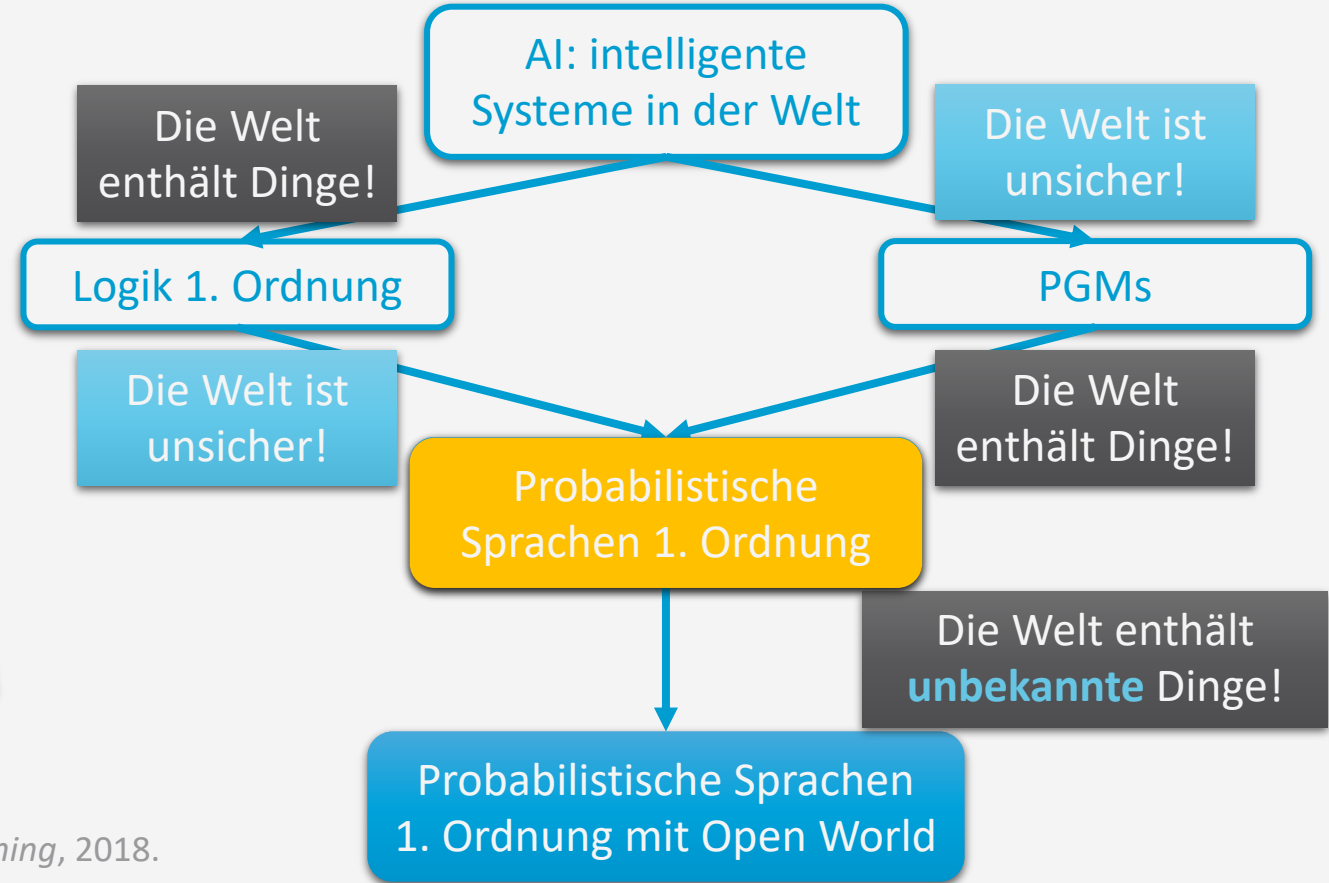


Weitere Modellierungsdimensionen

Master-Vorlesung: *Advances in AI – Relational Inference* (WiSe 2022/23)



Stuart Russell: Probabilistic Programming and AI.
Talk@The International Conference on Probabilistic Programming, 2018.



Inhalte

1. Künstliche Intelligenz & Agenten

- Agentenabstraktion, Rationalität
- Aufgabenumgebung

2. Episodische PGMs

- Gerichtetes Modell: Bayes Netze (BNs)
- Ungerichtete Modelle

3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeits- und Zustandsanfragen
- Direkt auf den Modellen, mittels Hilfsstrukturen

4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs

- Wahrscheinlichkeitsanfragen
- Deterministische, stochastische Algorithmen

5. Lernalgorithmen für episodische PGMs

- Bei (nicht) vollständigen Daten, (un)bekannter Struktur

6. Sequentielle PGMs und Inferenz

- Dynamische BNs, Hidden-Markov-Modelle
- filtering / prediction / hindsight Anfragen, wahrscheinlichste Zustandssequenz
- Exakter, approximativer Algorithmus

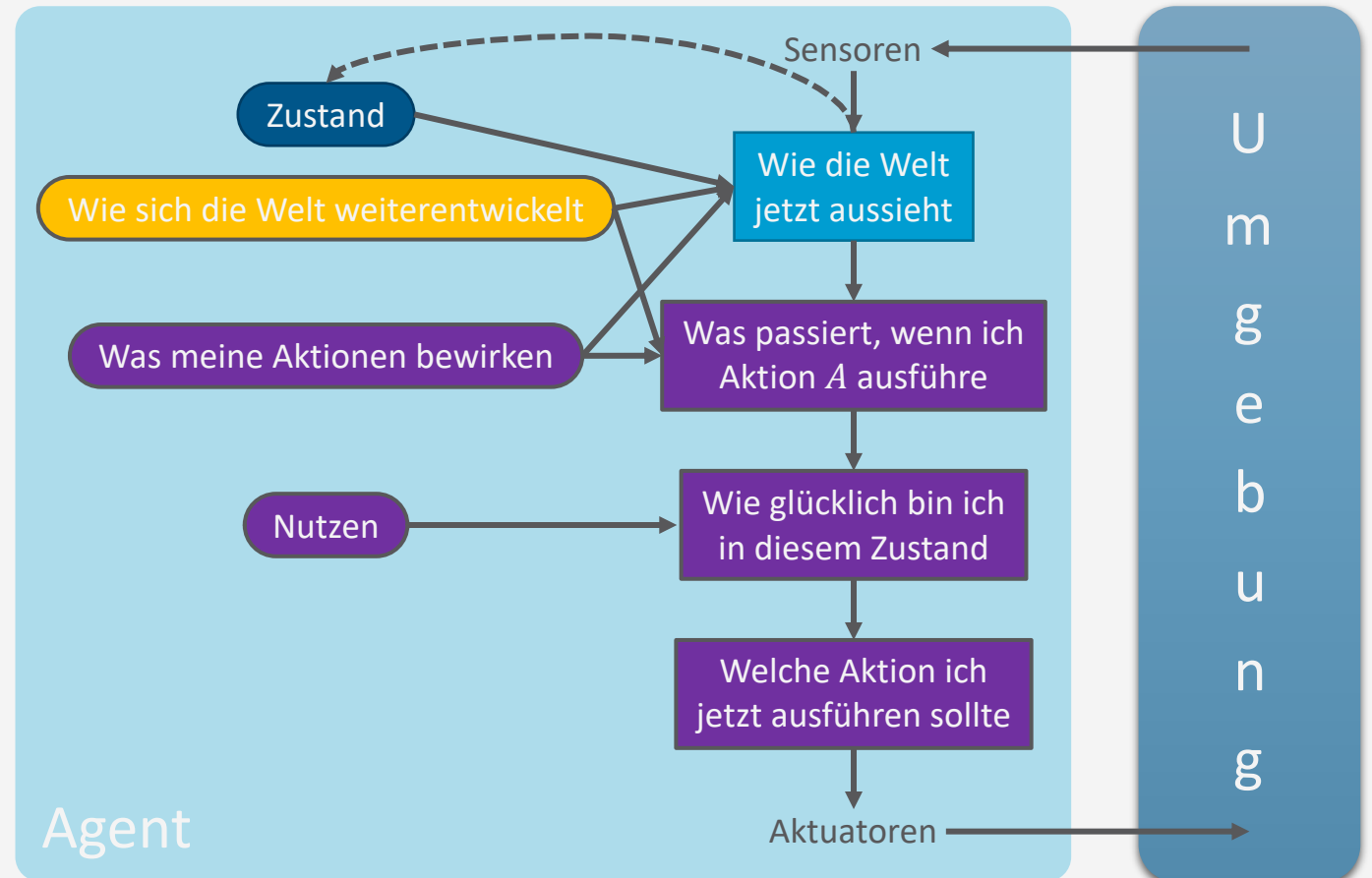
7. Entscheidungstheoretische PGMs

- Präferenzen, Nutzenprinzip
- PGMs mit Entscheidungs- und Nutzenknoten
- Berechnung der besten Aktion (Aktionssequenz)

8. Abschlussbetrachtungen

Einordnung der Vorlesung: *Modell- und nutzenbasierter Agent*

- Nachfolgende Themen der Vorlesung
 2. Episodische PGMs
 3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs
 4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs
 5. Lernalgorithmen für episodische PGMs
 6. **Sequentielle PGMs und Inferenz**
 7. Entscheidungstheoretische PGMs



Überblick: 8. Abschlussbetrachtungen

A. *Modell- und nutzenbasierter Agent mittels PGMs*

- Überblick über die Vorlesungsinhalte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten
- Überblick weiterer Aspekte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten

B. **Rückbezug auf die Einleitung**

- Lernziele
- Literatur

C. *Organisatorisches*

- Vorlesung
- Klausur

Inhaltliche Ziele

- Einordnung bzgl. „*Was macht KI aus?*“
 - *Agent* als Abstraktion eines intelligenten Systems, das in einer Umwelt *handelt*
 - Umsetzung eines Agenten mittels *probabilistischer graphischer Modelle (PGMs)*
 - PGMs zur Repräsentation der Wissens bzw. der Umwelt
 - Modelltypen: Statisch, temporal, entscheidungstheoretisch
 - Lernalgorithmen um aus Beobachtungen aus der Umwelt ein PGM zu lernen
 - Daten: vollständig, nicht vollständig
 - Struktur: bekannt, unbekannt
 - Inferenzalgorithmen zur Anfragebeantwortung auf PGMs
 - Fragen zur Wahrscheinlichkeit von Ereignissen, zum wahrscheinlichsten Zustand der Umwelt, zur Entwicklung über die Zeit, zur *besten Aktion*
 - Inferenz: Exakt, approximativ
- Foliensatz 1: Künstliche Intelligenz & Agenten
- Foliensatz 2: Episodische PGMs
Foliensatz 6.A: Sequentielle PGMs
Foliensatz 7: Entscheidungstheoretische PGMs
- Foliensatz 5: Lernalgorithmen für episodische PGMs
Foliensatz 6.C: HMMs lernen
Foliensatz 7.A: Nutzenfunktionen lernen
- Foliensatz 3: Exakte Inferenz in episodischen PGMs
Foliensatz 4: Approximative Inferenz in episodischen PGMs
Foliensatz 6.B+C: Sequentielle Inferenz
Foliensatz 7.B+C: Entscheidungstheoretische Inferenz

Lernergebnisse

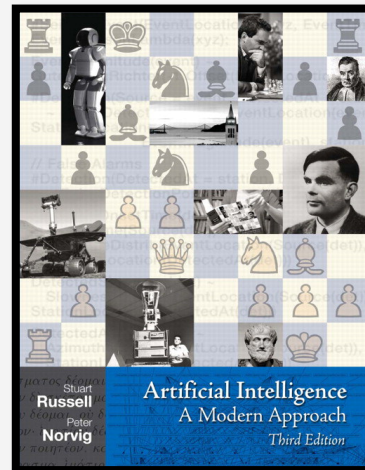
- KI im Allgemeinen
 - Fähigkeit Problemstellungen (und aktuelle Forschungsarbeiten) hinsichtlich ihrer Einordnung in den KI-Kontext zu beurteilen
 - Verständnis des Umfangs und der Schwere des Problems der Umsetzung von KI
 - Aufgezeigt anhand der Umsetzung eines Agenten mittels PGMs
- PGMs im Speziellen
 - Verständnis der theoretischen Grundlagen von PGMs und ihren Algorithmen
 - Verständnis der Möglichkeiten und Einschränkungen der PGMs und ihrer Algorithmen
 - Fähigkeit PGMs aufzustellen bzw. ein gegebenes PGM zu beurteilen
 - Fähigkeit die Algorithmen auf gegebene Modelle zum Problemlösen anzuwenden
- Meta-Ebene: Neue komplexe Zusammenhänge erarbeiten können, Zugang zu englischer Literatur des Themas finden

Genauere Beschreibungen, welche Unterkapitel inhaltlich in der Vorlesung behandelt worden sind, finden sich zu Beginn der Foliensätze.

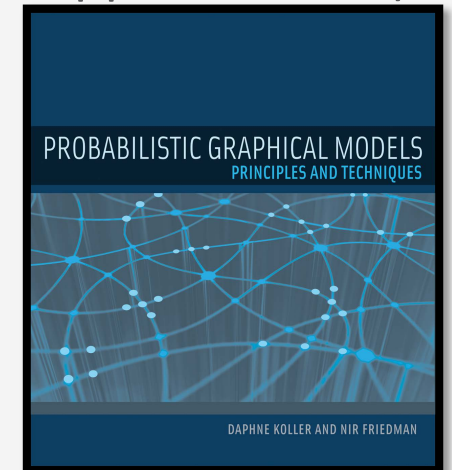
Literatur

- **Artificial Intelligence – A Modern Approach** (3. Auflage; kurz *AIMA*)
 - Stuart Russell, Peter Norvig
 - Deutsche Übersetzung: Künstliche Intelligenz – Ein moderner Ansatz (kurz *AIMAde*)
 - Genutzte Inhalte:
 - Kap. 2 (KI + Agenten)
 - Kap. 13-16, 17.1, 20 (Unsicheres Wissen & Folgern, Lernen)

Beschreibungen etwas knapp,
daher mit PGM unterfüttert



- **Probabilistic Graphical Models – Principles and Techniques** (kurz *PGM*)
 - Daphne Koller, Nir Friedman
 - Soweit mir bekannt, keine deutsche Übersetzung (außer in diesen Folien)
 - Genutzte Inhalte (eher Überapproximation):
 - Kap. 3-4, 6.2 (Modelle)
 - Kap. 9, 10, 12, (13), 15 (Inferenz)
 - [Teil III (Lernen) nicht für Vorlesung genutzt]
 - Kap. 22, 23 (Entscheidungsfindung)



Überblick: 8. Abschlussbetrachtungen

A. *Modell- und nutzenbasierter Agent mittels PGMs*

- Überblick über die Vorlesungsinhalte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten
- Überblick weiterer Aspekte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten

B. *Rückbezug auf die Einleitung*

- Lernziele
- Literatur

C. **Organisatorisches**

- Vorlesung
- Klausur

Organisatorisches: Vorlesung

- Letzter Termin: Fragerunde → wird nicht aufgezeichnet!
 - Wir beginnen, wie immer, um 12.15 Uhr
 - Termin endet um 13.45 Uhr oder wenn Sie keine Fragen mehr haben

| # | Mo | | Mi | |
|----------|-------|------------------|--------------|---------------------|
| 1 | 4.4. | Vorlesung | 6.4. | Repetitorium |
| 2 | 11.4. | Vorlesung | 13.4. | Übung |
| 3 | 18.4. | -- (Ostermontag) | 20.4. | Vorlesung |
| 4 | 25.4. | Vorlesung | 27.4. | Übung |
| 5 | 2.5. | Vorlesung | 4.5. | Vorlesung |
| 6 | 9.5. | Vorlesung | 11.5. | Übung |
| 7 | 16.5. | Vorlesung | 18.5. | Vorlesung |

| # | Mo | | Mi | |
|-----------|-------|--------------------|--------------|--------------|
| 8 | 23.5. | Vorlesung | 25.5. | Übung |
| 9 | 30.5. | Vorlesung | 1.6. | Vorlesung |
| 10 | 6.6. | -- (Pfingstmontag) | 8.6. | -- (Ferien) |
| 11 | 13.6. | Vorlesung | 15.6. | Übung |
| 12 | 20.6. | Vorlesung | 22.6. | Vorlesung |
| 13 | 27.6. | Vorlesung | 29.6. | Übung |
| 14 | 4.7. | Vorlesung | 6.7. | Fragerunde |

Organisatorisches: Prüfung

- 1. Termin: 14.7.2022, 8.00 s.t.
 - Raum: M1
- 2. Termin: 7.9.2022, 10 s.t.
 - Raum: M2

- Dauer: 90 Minuten
- Keine weiteren Hilfsmittel zugelassen

- Altklausuren gibt es keine, da die Vorlesung neu ist
 - Aus Gründen der Fairness wird die Klausur vom ersten Termin nicht zum zweiten Termin veröffentlicht

Zur Klausur (gilt für beide Termine)

- Insgesamt 80 Punkte, 40 Punkte zum Bestehen
- Inhaltlich bis Folie 7.64 (episodische Entscheidungsfindung)
 - Aufgaben orientieren sich an den Übungsaufgaben, aber auch Aufgaben zur Vorlesung
 - Eher Verständnisfragen
 - Keine reinen Definitionsaufgaben
 - Keine Fragen zu Topic Modellierung
 - Kein Taschenrechner nötig
 - *Sie werden nichts rechnen brauchen*
- 6 Aufgaben zu den Themen
 1. KI & Agenten (& Einordnung von PGMs in den Kontext) (ca. 15%)
 2. Episodische PGMs (ca. 15%)
 3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs (ca. 25%)
 4. Sampling und Lernen von episodischen PGMs (ca. 20%)
 5. Sequentielle PGMs und Inferenz (ca. 15%)
 6. Entscheidungstheoretische PGMs und Inferenz (ca. 10%)
 - Rund 2-3 Unteraufgaben

Bei Fragen zwischen jetzt und der Klausur

- Fragerunde am 6.7.2022, 12.15 Uhr
- Nutzen Sie sonst am besten das *Forum* im Learnweb-Kurs
 - Dann kann jede*r an der Frage und den Antworten partizipieren
 - Jede*r hat die Möglichkeit zur Klärung der Frage beizusteuern
- Bei Emails an mich bemühe ich mich um eine zeitnahe Antwort.
 - Es kann aber passieren, dass vor allem das Antwort-Schreiben im allgemeinen Stress untergeht (es liegen viele tote Linien in nächster Zeit).
 - Schreiben Sie mir von daher nach zwei-drei Tagen ruhig eine freundliche Erinnerung hinterher.

Überblick: 8. Abschlussbetrachtungen

A. *Modell- und nutzenbasierter Agent mittels PGMs*

- Überblick über die Vorlesungsinhalte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten
- Überblick weiterer Aspekte in Bezug auf die Umsetzung eines Agenten

B. *Rückbezug auf die Einleitung*

- Lernziele
- Literatur

C. *Organisatorisches*

- Vorlesung
- Klausur

Ende

Einordnung der Vorlesung: *Modell- und nutzenbasierter Agent*

- Nachfolgende Themen der Vorlesung
 2. Episodische PGMs
 3. Exakte Inferenz in episodischen PGMs
 4. Approximative Inferenz in episodischen PGMs
 5. Lernalgorithmen für episodische PGMs
 6. **Sequentielle PGMs und Inferenz**
 7. Entscheidungstheoretische PGMs

