

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

9. Klassische Suche: Baumsuche und Graphensuche

Malte Helmert

Universität Basel

13. März 2015

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

13. März 2015 — 9. Klassische Suche: Baumsuche und Graphensuche

9.1 Einführung

9.2 Baumsuche

9.3 Graphensuche

9.4 Bewertung von Suchalgorithmen

9.5 Zusammenfassung

Klassische Suche: Überblick

Kapitelüberblick klassische Suche:

- ▶ 5.–7. Grundlagen
- ▶ 8.–12. Basisalgorithmen
 - ▶ 8. Datenstrukturen für Suchalgorithmen
 - ▶ 9. Baumsuche und Graphensuche
 - ▶ 10. Breitensuche
 - ▶ 11. uniforme Kostensuche
 - ▶ 12. Tiefensuche und iterative Tiefensuche
- ▶ 13.–20. heuristische Algorithmen

9.1 Einführung

Suchalgorithmen

Suchalgorithmen allgemein

- ▶ Ausgehend vom **Anfangszustand**,
- ▶ **expandiere** wiederholt einen Zustand durch **Erzeugen** seiner **Nachfolger**.
- ▶ Höre auf, wenn ein **Zielzustand** expandiert wird
- ▶ oder **alle erreichbaren Zustände** betrachtet wurden.

In diesem Kapitel betrachten wir zwei wesentliche Klassen von Suchalgorithmen:

- ▶ **Baumsuche** und
- ▶ **Graphensuche**

(Zu jeder Klasse gehört eine Vielzahl konkreter Algorithmen.)

9.2 Baumsuche

Baumsuche

Baumsuche

- ▶ mögliche Pfade, die exploriert werden können, sind in einem Baum (**Suchbaum**) organisiert
- ▶ **Suchknoten** entsprechen 1:1 den **Pfaden** vom Anfangszustand
- ▶ **Duplikate** (auch: **Transpositionen**) sind möglich, d. h. mehrere Knoten mit demselben Zustand
- ▶ Suchbaum kann unbegrenzt in die Tiefe wachsen

Generischer Baumsuchalgorithmus

Generische Baumsuche

```

open := new OpenList
open.insert(make_root_node())
while not open.is_empty():
    n := open.pop()
    if is_goal(n.state):
        return extract_path(n)
    for each <a, s'> ∈ succ(n.state):
        n' := make_node(n, a, s')
        open.insert(n')
return unsolvable

```

Generischer Baumsuchalgorithmus: Diskussion

Diskussion:

- ▶ **generisches Muster** für Baumsuchalgorithmen
- ↪ für konkreten Algorithmus müssen wir (mindestens) entscheiden, wie Open-Liste implementiert wird
- ▶ konkrete Algorithmen oft leicht anders implementiert (aus Effizienzgründen), folgen aber **konzeptuell** dem Muster (= bauen denselben Suchbaum auf)

9.3 Graphensuche

Erinnerung: Baumsuche

Erinnerung:

Baumsuche

- ▶ mögliche Pfade, die exploriert werden können, sind in einem Baum (**Suchbaum**) organisiert
- ▶ **Suchknoten** entsprechen 1:1 den **Pfaden** vom Anfangszustand
- ▶ **Duplikate** (auch: **Transpositionen**) sind möglich, d. h. mehrere Knoten mit demselben Zustand
- ▶ Suchbaum kann unbegrenzt in die Tiefe wachsen

Graphensuche

Graphensuche

Unterschiede zur Baumsuche:

- ▶ erkenne **Duplikate**: wenn ein Zustand auf mehreren Pfaden erreichbar ist, erzeuge nur einen Suchknoten
- ▶ **Suchknoten** entsprechen 1:1 den **erreichbaren Zuständen**
- ▶ Suchbaum beschränkt, da es nur endlich viele Zustände gibt

Anmerkungen:

- ▶ einige Graphensuchalgorithmen (↪ später) eliminieren nicht alle Duplikate sofort
- ▶ ein möglicher Grund: optimale Lösungen finden, wenn ein später gefundener Pfad zum Zustand s billiger ist als ein früher gefundener

Generischer Graphensuchalgorithmus

Generische Graphensuche

```

open := new OpenList
open.insert(make_root_node())
closed := new ClosedList
while not open.is_empty():
    n := open.pop()
    if closed.lookup(n.state) = none:
        closed.insert(n)
        if is_goal(n.state):
            return extract_path(n)
        for each  $\langle a, s' \rangle \in \text{succ}(n.state)$ :
            n' := make_node(n, a, s')
            open.insert(n')
return unsolvable

```

Generischer Graphensuchalgorithmus: Diskussion

Diskussion:

- ▶ Kommentare zur Baumsuche gelten analog
- ▶ im „reinen“ Algorithmus muss die Closed-Liste nicht notwendigerweise die Suchknoten speichern
 - ▶ es reicht, *closed* als Menge von Zuständen zu implementieren
 - ▶ fortgeschrittene Algorithmen benötigen die Knoten, daher ist hier gleich der allgemeine Fall dargestellt
- ▶ einige Varianten führen Ziel- und Duplikatstests an anderen Stellen (früher) aus
 - ↪ Vorteile? Nachteile?

9.4 Bewertung von Suchalgorithmen

Kriterien: Vollständigkeit

Vier Kriterien für Bewertung von Suchalgorithmen:

Vollständigkeit

Findet der Algorithmus garantiert eine Lösung, wenn eine existiert?
Terminiert er, wenn keine Lösung existiert?

erste Eigenschaft: **semi-vollständig**

beide Eigenschaften: **vollständig**

Kriterien: Optimalität

Vier Kriterien für Bewertung von Suchalgorithmen:

Optimalität

Sind die vom Algorithmus berechneten Lösungen immer optimal?

Kriterien: Zeitaufwand

Vier Kriterien für Bewertung von Suchalgorithmen:

Zeitaufwand

Wieviel **Zeit** benötigt der Algorithmus, um eine Lösung zu finden?

- ▶ üblicherweise **Worst-Case**-Betrachtung
- ▶ üblicherweise gemessen in **erzeugten Knoten**

oft als Funktion der folgenden Größen:

- ▶ **b**: **Verzweigungsgrad** (**branching factor**) des Zustandsraums (max. Anzahl Nachfolger eines Zustands)
- ▶ **d**: **Suchtiefe** (Länge des längsten Pfads im erzeugten Suchbaum)

Kriterien: Speicheraufwand

Vier Kriterien für Bewertung von Suchalgorithmen:

Speicheraufwand

Wieviel **Speicher** benötigt der Algorithmus, um eine Lösung zu finden?

- ▶ üblicherweise **Worst-Case**-Betrachtung
- ▶ üblicherweise gemessen in **gespeicherten Knoten**

oft als Funktion der folgenden Größen:

- ▶ **b**: **Verzweigungsgrad** (**branching factor**) des Zustandsraums (max. Anzahl Nachfolger eines Zustands)
- ▶ **d**: **Suchtiefe** (Länge des längsten Pfads im erzeugten Suchbaum)

Analyse der generischen Suchalgorithmen

Generischer Baumsuchalgorithmus

- ▶ Ist er vollständig? Ist er semi-vollständig?
- ▶ Ist er optimal?
- ▶ Was ist der Zeitaufwand im worst case?
- ▶ Was ist der Speicheraufwand im worst case?

Generischer Graphensuchalgorithmus

- ▶ Ist er vollständig? Ist er semi-vollständig?
- ▶ Ist er optimal?
- ▶ Was ist der Zeitaufwand im worst case?
- ▶ Was ist der Speicheraufwand im worst case?

9.5 Zusammenfassung

Zusammenfassung (1)

Baumsuche:

- ▶ Suchknoten entsprechen 1:1 Pfaden vom Anfangszustand

Graphensuche:

- ▶ Suchknoten entsprechen 1:1 erreichbaren Zuständen
- ▶ $\rightsquigarrow$ Duplikateliminierung

generische Verfahren mit vielen möglichen Varianten

Zusammenfassung (2)

Bewertung von Algorithmen:

- ▶ Vollständigkeit und Semi-Vollständigkeit
- ▶ Optimalität
- ▶ Zeit- und Speicheraufwand