

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

8. Suchalgorithmen: Lokale Suche

Malte Helmert

Universität Basel

5. April 2013

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

5. April 2013 — 8. Suchalgorithmen: Lokale Suche

8.1 Einleitung

8.2 Lokale Suchverfahren

8.3 Zusammenfassung

8.1 Einleitung

Suchprobleme: Überblick

Kapitelüberblick klassische Suchprobleme:

- ▶ Formalisierung von Suchproblemen (↔ Kapitel 3)
- ▶ blinde Suchverfahren (↔ Kapitel 4)
- ▶ Heuristiken (↔ Kapitel 5)
- ▶ Bestensuche (↔ Kapitel 6)
- ▶ Eigenschaften von A^* (↔ Kapitel 7)
- ▶ **Lokale Suche** (↔ dieses Kapitel)

Lokale Suchverfahren

Lokale Suchverfahren arbeiten nur mit **einem** (oder wenigen) aktuellen Knoten, statt systematisch Pfade zu untersuchen.

Besonders geeignet für **kombinatorische Optimierungsprobleme**:

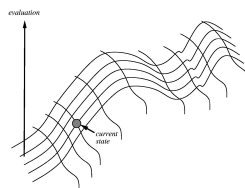
- ▶ Lösung ist ein **Zustand**, nicht der Pfad dorthin.
Es gibt keine Aktionskosten, aber **Zielzustände** können verschiedene Kosten/Nutzen haben
- ▶ Definition der **Suchnachbarschaft** ist frei wählbar, nur Menge der **Zustände** ist durch die Problemdefinition vorgegeben (und ob sie Lösungen und wie teuer sie sind)
- ▶ **Beispiele**:
 - ▶ Timetabling
 - ▶ Konfigurationsprobleme
 - ▶ kombinatorische Auktionen

⇒ **Fokus im Folgenden auf solchen Problemen**,
aber auch für allgemeine klassische Suchprobleme anwendbar

8.2 Lokale Suchverfahren

Lokale Suchverfahren: Ideen

- ▶ Heuristik schätzt ab, wie weit eine Lösung entfernt ist und/oder wie gut diese Lösung ist
- ▶ es werden keine Pfade gemerkt, nur Zustände
- ▶ normalerweise **ein** aktueller Zustand ⇒ sehr speicherfreundlich (dafür nicht vollständig oder optimal)
- ▶ oft Initialisierung mit **zufälligem** Zustand
- ▶ schrittweise Verbesserung durch „Bergsteigen“ (**hill-climbing**)



Beispiel: 8-Damen-Problem

Aufgabe: Platziere 8 Damen so, dass sie sich nicht bedrohen

Heuristik: Anzahl Damenpaare, die sich bedrohen

Nachbarschaft: bewege eine Dame in ihrer Spalte

18	12	14	13	13	12	14	14
14	16	13	15	12	14	12	16
14	12	18	13	15	12	14	14
15	14	14	13	16	13	16	16
17	14	17	15	14	16	16	16
17	16	18	15	15	15	15	15
18	14	15	15	14	14	16	16
14	14	13	17	12	14	12	18

Hill-Climbing

```

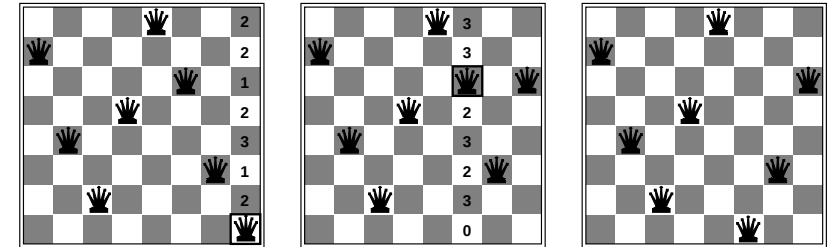
function HILL-CLIMBING(problem) returns a state that is a local maximum
  current ← MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
  loop do
    neighbor ← a highest-valued successor of current
    if neighbor.VALUE ≤ current.VALUE then return current.STATE
    current ← neighbor

```

Hier als **Maximierung** von **Qualität** (value) formuliert.
Minimierung von **Kosten**/Heuristik analog.

Beispiel: Hill-Climbing für 8-Damen-Problem

Eine mögliche Variation von Hill-Climbing:
 wähle **zufällig** eine Spalte und setze Dame dort
 auf Feld mit minimal vielen Konflikten.



Gute lokale Suchverfahren kombinieren oft
Zufall (Exploration) mit **Heuristik (Exploitation)**.

Probleme von lokalen Suchverfahren

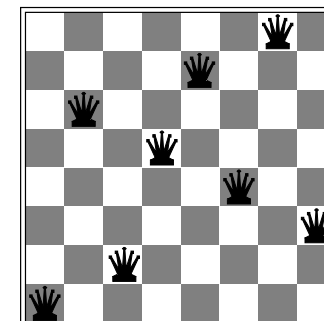
- ▶ **Lokale Minima:**
 alle Nachbarn schlechter als aktueller Zustand
 - ▶ Algorithmus bleibt auf diesem Zustand stecken
 - ▶ = lokale **Maxima**, wenn es um Maximierung von Nutzen/Qualität geht statt um Minimierung von Kosten
- ▶ **Plateaus:**
 viele Nachbarn gleich gut wie aktueller Zustand; keiner besser
 - ▶ keine Führung zum Zielzustand möglich

Massnahmen: zufällige Bewegung, Breitensuche oder Neustart

Beispiel: lokales Minimum im 8-Damen-Problem

Lokales Minimum:

- ▶ Zustand hat 1 Konflikt
- ▶ alle Nachbarn haben mindestens 2



Performance-Zahlen für 8-Damen-Problem

- ▶ Problem hat $8^8 \approx 17$ Millionen Zustände.
- ▶ Nach zufälliger Initialisierung findet Hill-Climbing in etwa 14% der Fälle direkt eine Lösung.
- ▶ Im Durchschnitt nur etwa 4 Schritte!
- ▶ bessere Verfahren: „Seitwärtsbewegung“ (Schritte ohne Verbesserung) erlauben und Anzahl Schritte beschränken
- ▶ Bei max. 100 erlaubten Schritten: Lösung in 94% der Fälle, im Durchschnitt 21 Schritte zur Lösung

Simulierte Abkühlung

Simulierte Abkühlung (**simulated annealing**) ist ein lokales Suchverfahren, bei dem systematisch „Rauschen“ injiziert wird: erst viel, dann immer weniger.

```

function SIMULATED-ANNEALING(problem, schedule) returns a solution state
  inputs: problem, a problem
           schedule, a mapping from time to “temperature”

  current  $\leftarrow$  MAKE-NODE(problem.INITIAL-STATE)
  for t = 1 to  $\infty$  do
    T  $\leftarrow$  schedule(t)
    if T = 0 then return current
    next  $\leftarrow$  a randomly selected successor of current
     $\Delta E \leftarrow$  next.VALUE – current.VALUE
    if  $\Delta E > 0$  then current  $\leftarrow$  next
    else current  $\leftarrow$  next only with probability  $e^{\Delta E/T}$ 

```

Sehr erfolgreich in bestimmten Anwendungen, z. B. VLSI-Layout.

Genetische Algorithmen

Die Evolution findet sehr erfolgreich gute Lösungen.

Idee: Simuliere Evolution durch **Selektion**, **Kreuzen** und **Mutation** von Individuen.

Zutaten:

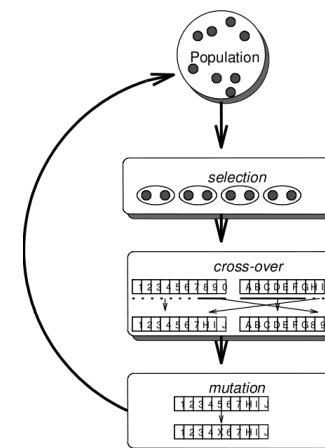
- ▶ Kodierung von Zuständen durch einen String von Symbolen (oder Bits)
- ▶ **Fitness-Funktion:** bewertet die Güte von Zuständen (entspricht Heuristik)
- ▶ Eine **Bevölkerung** von *k* (z. B. 10–1000) „Individuen“ (Zuständen)

Beispiel 8-Damen-Problem: Kodierung als String von 8 Zahlen. Fitness ist Anzahl nicht-attackierender Paare. Population besteht aus 100 derartigen Zuständen.

Selektion, Mutation und Kreuzung

Viele Varianten:

Wie wird selektiert? Wie wird gekreuzt? Wie wird mutiert?



Selektion anhand von Fitness-Funktion; anschliessend Paarung

Bestimmung von Punkten, an denen gekreuzt wird, dann Rekombination

Mutation: String-Elemente werden mit bestimmter Wahrscheinlichkeit verändert.

8.3 Zusammenfassung

Zusammenfassung

- ▶ **lokale Suchverfahren** betrachten einen oder wenige Zustände auf einmal und versuchen, schrittweise Verbesserungen zu erzielen
- ▶ besonders häufig im Einsatz für **kombinatorische Optimierungsprobleme**, wo der Pfad zum Ziel nicht wichtig ist, sondern nur der gefundene Zielzustand
- ▶ **Simuliertes Abkühlung** und **genetische Algorithmen** sind komplexere Suchverfahren, die typische Ideen aus der lokalen Suche aufgreifen (Randomisierung, Weiterverfolgung von vielversprechenden Zuständen)