Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

16. Klassische Suche: Gierige Bestensuche, A*, Weighted A*

Malte Helmert

Universität Basel

23. März 2015

Klassische Suche: Überblick

Kapitelüberblick klassische Suche:

- 5.–7. Grundlagen
- 8.–12. Basisalgorithmen
- 13.–20. heuristische Algorithmen
  - 13. Heuristiken
  - 14. Analyse von Heuristiken
  - 15. Bestensuche als Graphensuche
  - 16. Gierige Bestensuche, A*, Weighted A*
  - 17. IDA*
  - 18. A*: Optimalität, Teil I
  - 19. A*: Optimalität, Teil II
  - 20. A*: Vollständigkeit und Komplexität

Einführung

Worum geht's?

In diesem Kapitel schauen wir uns die Algorithmen aus dem letzten Kapitel genauer an:

- Gierige Bestensuche
- A*
- Weighted A*

Gierige Bestensuche

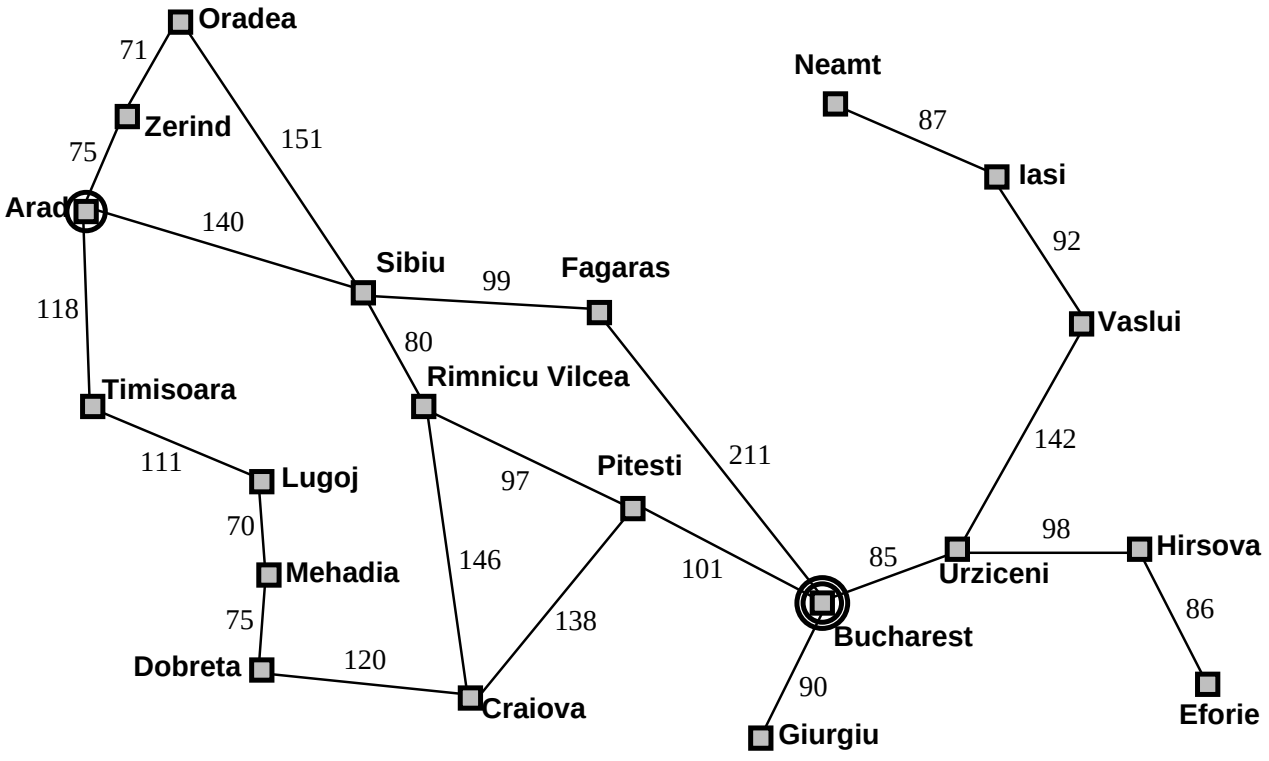
Gierige Bestensuche

Gierige Bestensuche

Berücksichtige nur die Heuristik: $f(n) = h(n.\text{state})$

Anmerkung: normalerweise ohne Reopening (aus Effizienzgründen)

Beispiel: Gierige Bestensuche für Routenplanung



Arad	366
Bucharest	0
Craiova	160
Drobeta	242
Eforie	161
Fagaras	176
Giurgiu	77
Hirsova	151
Iasi	226
Lugoj	244
Mehadia	241
Neamt	234
Oradea	380
Pitesti	100
Rimnicu Vilcea	193
Sibiu	253
Timisoara	329
Urziceni	80
Vaslui	199
Zerind	374

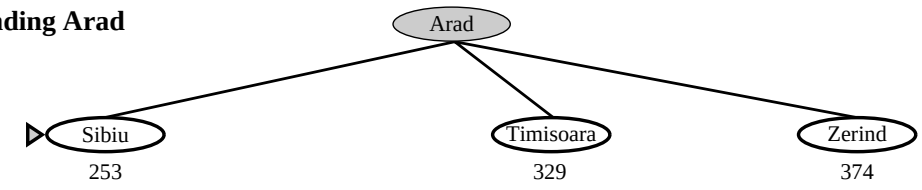
Beispiel: Gierige Bestensuche für Routenplanung

(a) The initial state

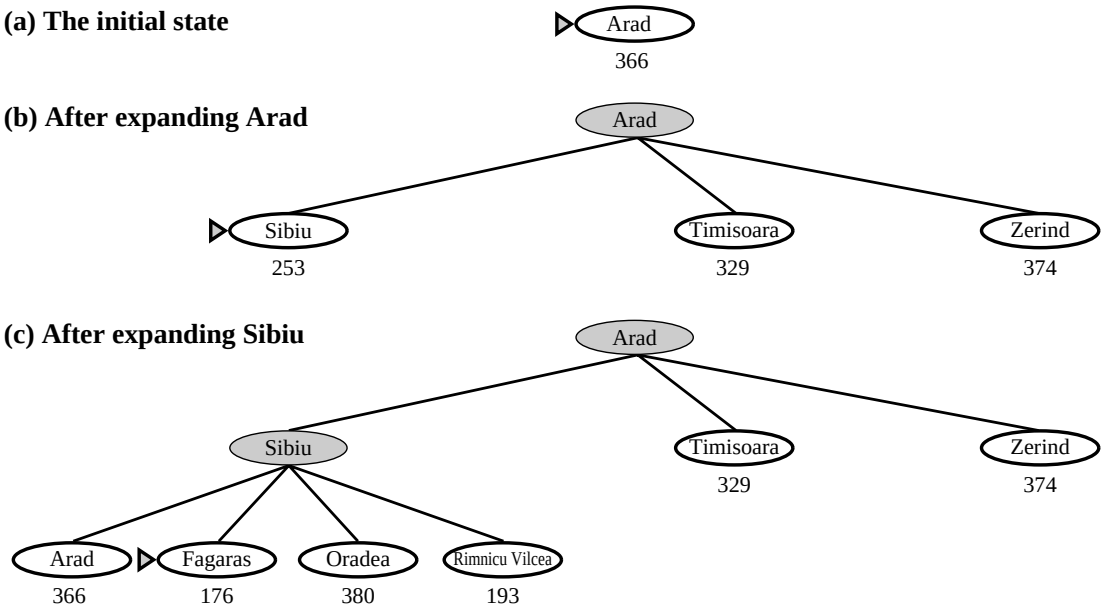
Beispiel: Gierige Bestensuche für Routenplanung

(a) The initial state

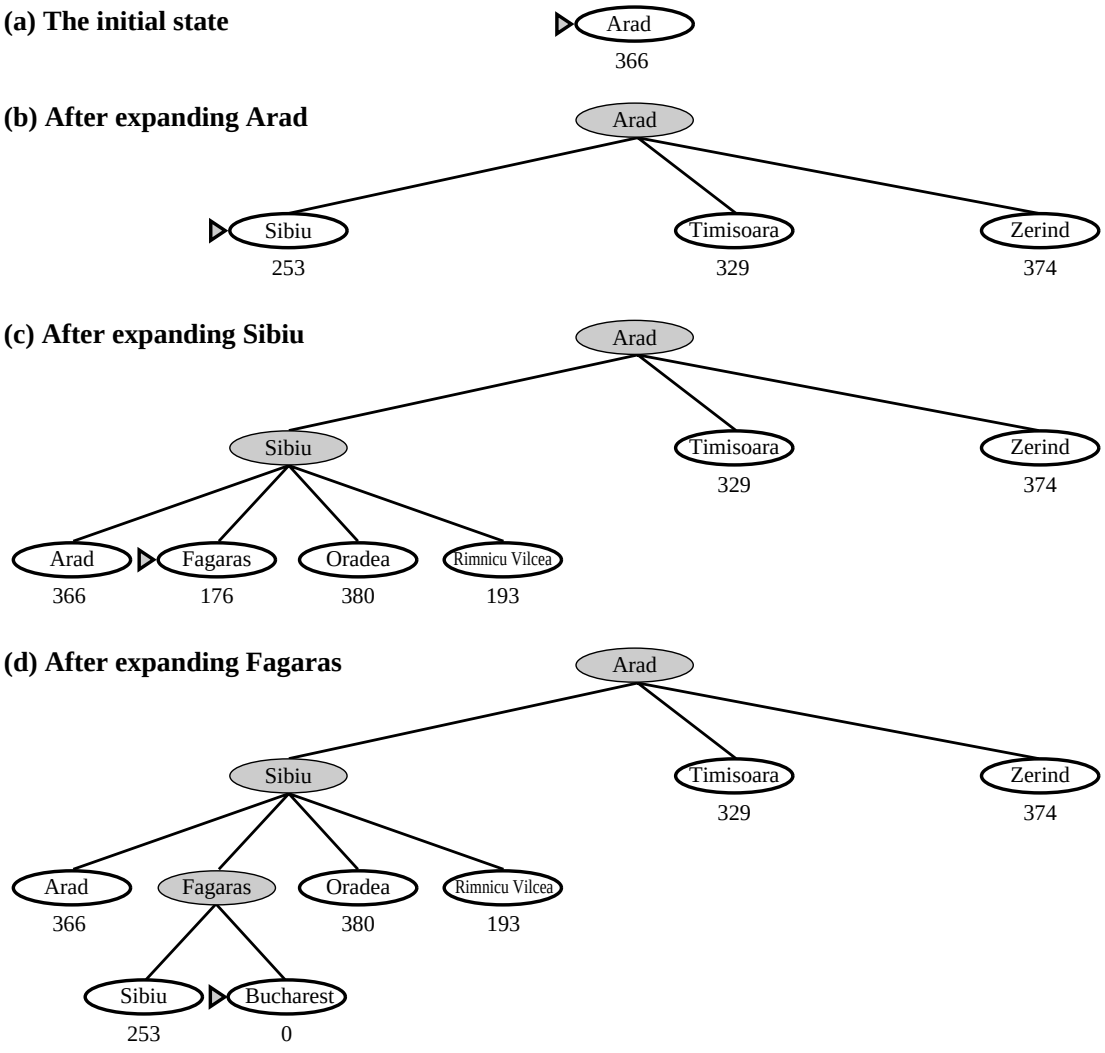
(b) After expanding Arad



Beispiel: Gierige Bestensuche für Routenplanung



Beispiel: Gierige Bestensuche für Routenplanung



Gierige Bestensuche: Eigenschaften

- vollständig für sichere Heuristiken
  (wie alle Varianten der Bestensuche als Graphensuche)
- suboptimal: Lösungen können beliebig schlecht sein
- oft sehr schnell:
  in der Praxis einer der schnellsten Suchalgorithmen
- monotone Transformation von h (z. B. Skalierung, additive Konstante) beeinflusst nicht das Verhalten
  (Warum ist das interessant?)

A*

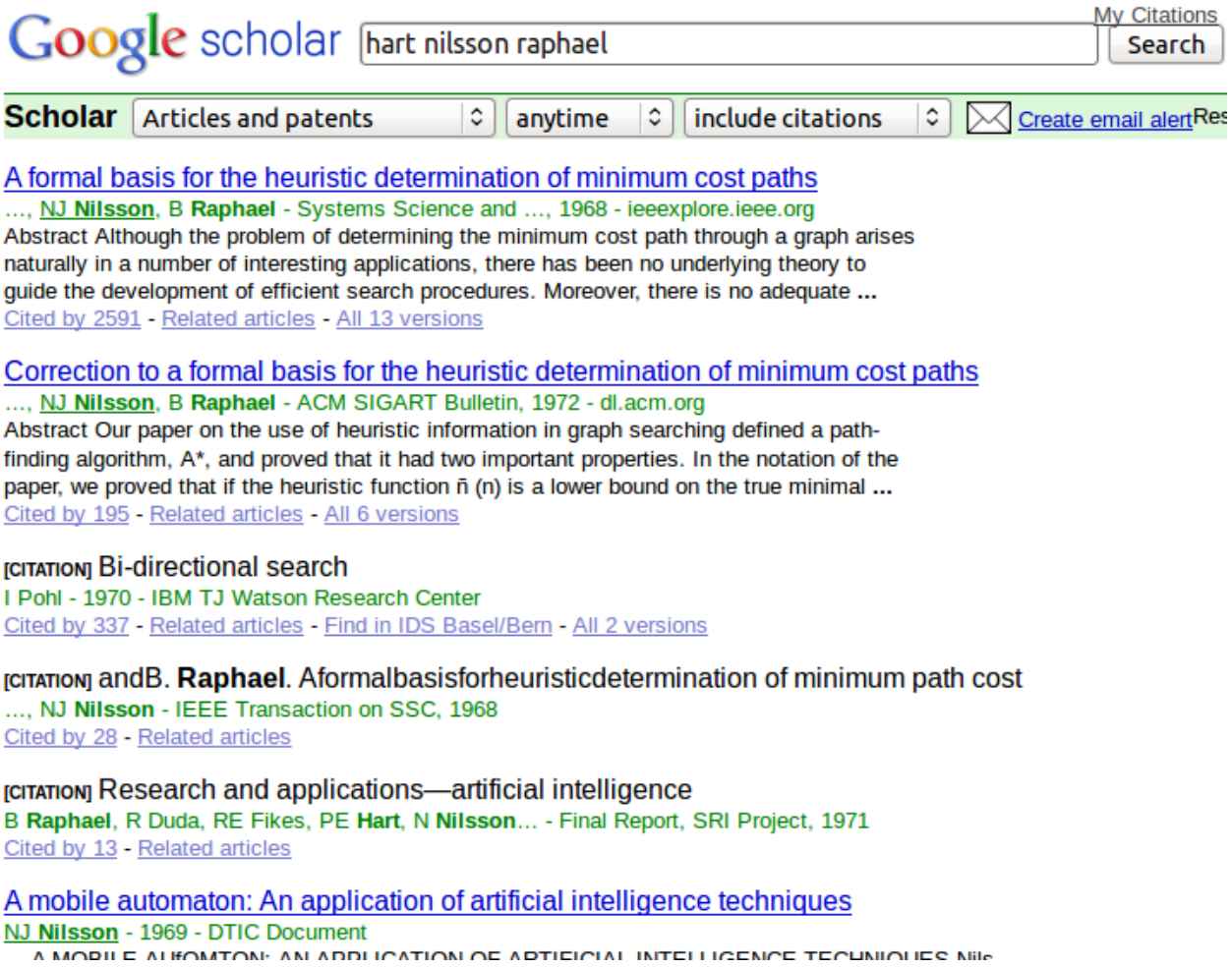
A*

A*

Verbinde gierige Bestensuche mit uniformer Kostensuche:
$f(n) = g(n) + h(n.\text{state})$

- Abwägen zwischen Pfadkosten und Nähe zum Ziel
- $f(n)$ schätzt Gesamtkosten der billigsten Lösung vom Anfangszustand über n zum Ziel

A*: Zitate



Google scholar hart nilsson raphael Search — My Citations

Scholar | Articles and patents | anytime | include citations | Create email alert

A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths
..., NJ **Nilsson**, B **Raphael** - Systems Science and ..., 1968 - ieeexplore.ieee.org
Abstract Although the problem of determining the minimum cost path through a graph arises naturally in a number of interesting applications, there has been no underlying theory to guide the development of efficient search procedures. Moreover, there is no adequate ...
Cited by 2591 - Related articles - All 13 versions

Correction to a formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths
..., NJ **Nilsson**, B **Raphael** - ACM SIGART Bulletin, 1972 - dl.acm.org
Abstract Our paper on the use of heuristic information in graph searching defined a path-finding algorithm, A*, and proved that it had two important properties. In the notation of the paper, we proved that if the heuristic function ñ (n) is a lower bound on the true minimal ...
Cited by 195 - Related articles - All 6 versions

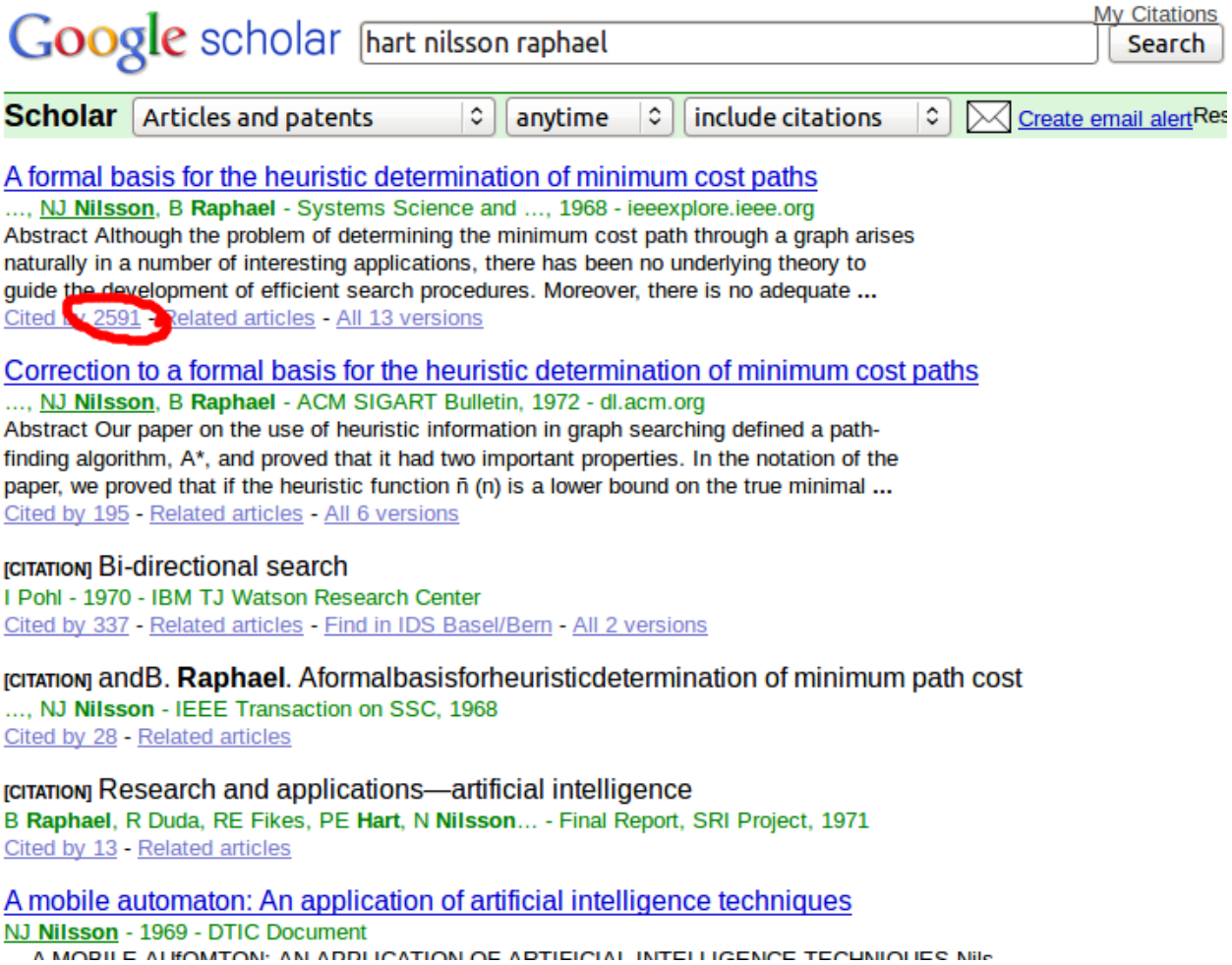
[CITATION] Bi-directional search
I Pohl - 1970 - IBM TJ Watson Research Center
Cited by 337 - Related articles - Find in IDS Basel/Bern - All 2 versions

[CITATION] andB. **Raphael**. Aformalbasisforheuristicdetermination of minimum path cost
..., NJ **Nilsson** - IEEE Transaction on SSC, 1968
Cited by 28 - Related articles

[CITATION] Research and applications—artificial intelligence
B **Raphael**, R Duda, RE Fikes, PE **Hart**, N **Nilsson**... - Final Report, SRI Project, 1971
Cited by 13 - Related articles

A mobile automaton: An application of artificial intelligence techniques
NJ **Nilsson** - 1969 - DTIC Document
A MOBILE AUTOMATON: AN APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES Nils

A*: Zitate



Google scholar hart nilsson raphael Search

My Citations

Scholar Articles and patents anytime include citations Create email alert

A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths
..., NJ Nilsson, B Raphael - Systems Science and ..., 1968 - ieeexplore.ieee.org
Abstract Although the problem of determining the minimum cost path through a graph arises naturally in a number of interesting applications, there has been no underlying theory to guide the development of efficient search procedures. Moreover, there is no adequate ...
Cited by 2591 - Related articles - All 13 versions

Correction to a formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths
..., NJ Nilsson, B Raphael - ACM SIGART Bulletin, 1972 - dl.acm.org
Abstract Our paper on the use of heuristic information in graph searching defined a path-finding algorithm, A*, and proved that it had two important properties. In the notation of the paper, we proved that if the heuristic function ñ (n) is a lower bound on the true minimal ...
Cited by 195 - Related articles - All 6 versions

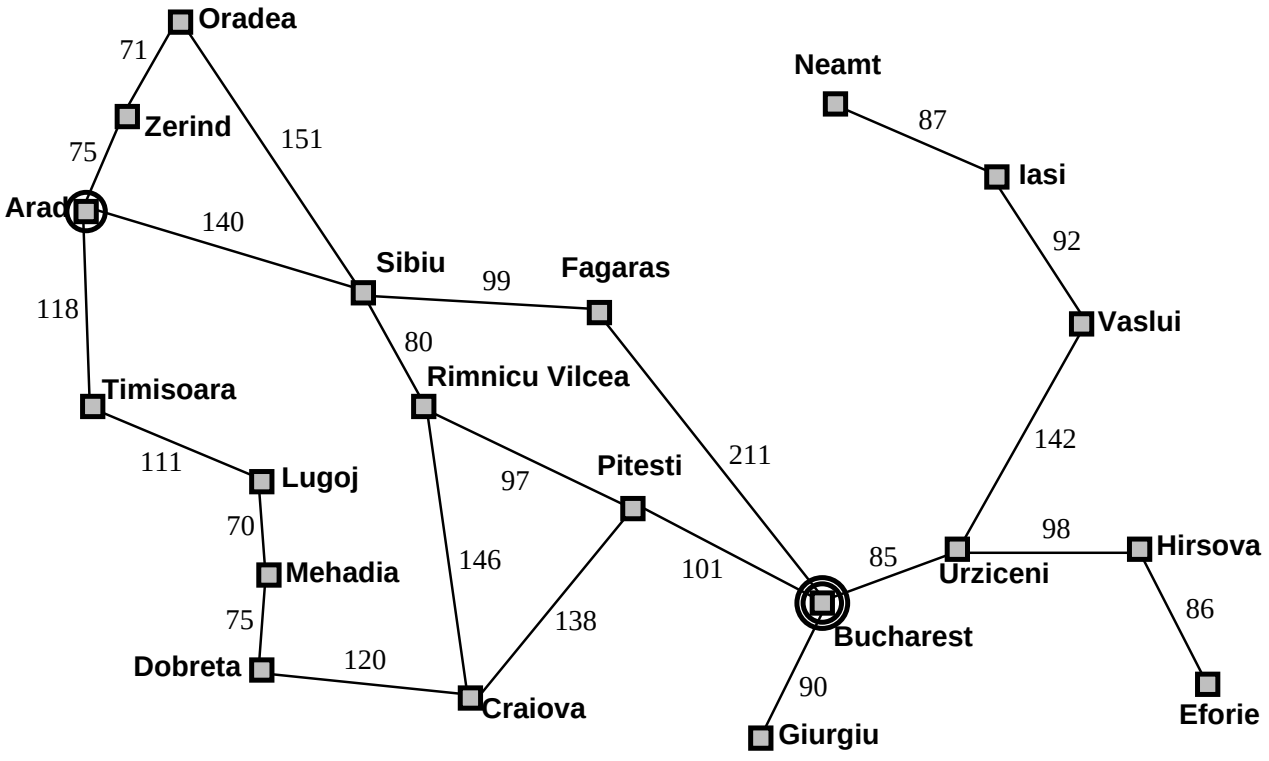
[CITATION] Bi-directional search
I Pohl - 1970 - IBM TJ Watson Research Center
Cited by 337 - Related articles - Find in IDS Basel/Bern - All 2 versions

[CITATION] andB. Raphael. Aformalbasisforheuristicdetermination of minimum path cost
..., NJ Nilsson - IEEE Transaction on SSC, 1968
Cited by 28 - Related articles

[CITATION] Research and applications—artificial intelligence
B Raphael, R Duda, RE Fikes, PE Hart, N Nilsson... - Final Report, SRI Project, 1971
Cited by 13 - Related articles

A mobile automaton: An application of artificial intelligence techniques
NJ Nilsson - 1969 - DTIC Document
A MOBILE AUTOMATON: AN APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES Nils

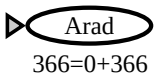
Beispiel: A* für Routenplanung



Arad	366
Bucharest	0
Craiova	160
Drobeta	242
Eforie	161
Fagaras	176
Giurgiu	77
Hirsova	151
Iasi	226
Lugoj	244
Mehadia	241
Neamt	234
Oradea	380
Pitesti	100
Rimnicu Vilcea	193
Sibiu	253
Timisoara	329
Urziceni	80
Vaslui	199
Zerind	374

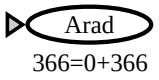
Beispiel: A* für Routenplanung

(a) The initial state

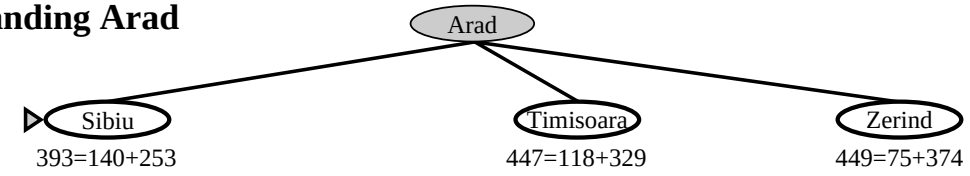


Beispiel: A* für Routenplanung

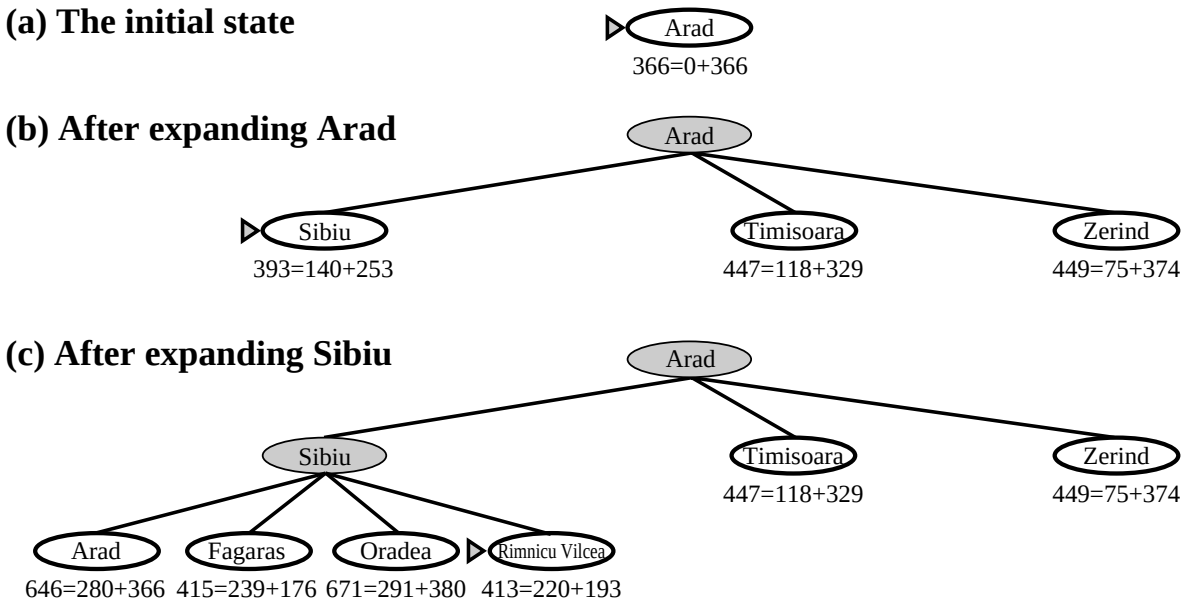
(a) The initial state



(b) After expanding Arad

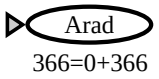


Beispiel: A* für Routenplanung

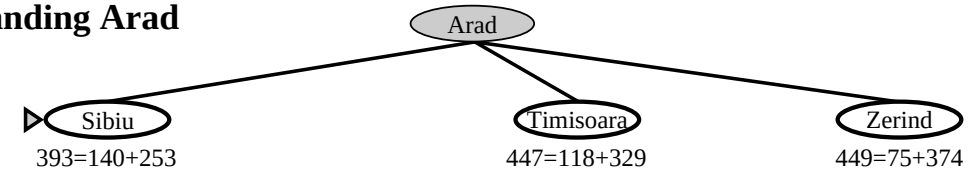


Beispiel: A* für Routenplanung

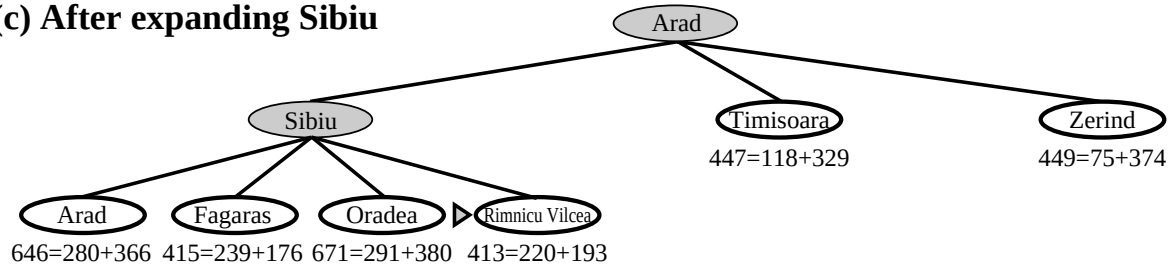
(a) The initial state



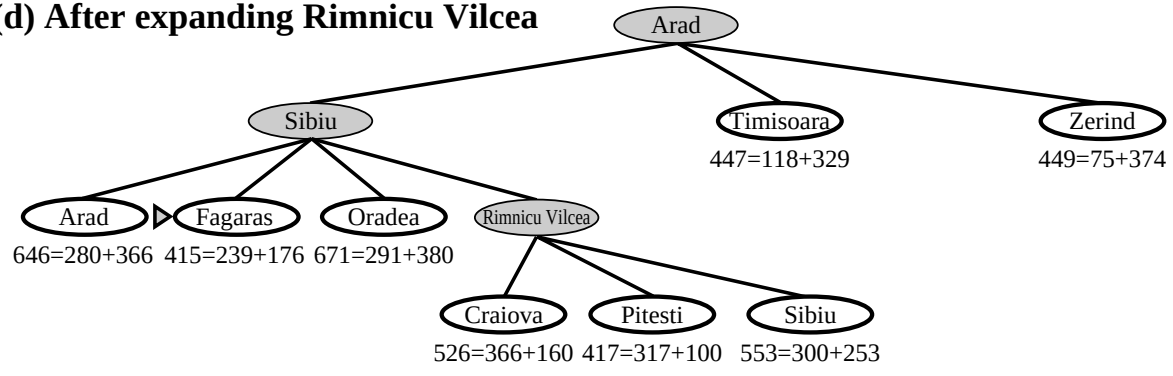
(b) After expanding Arad



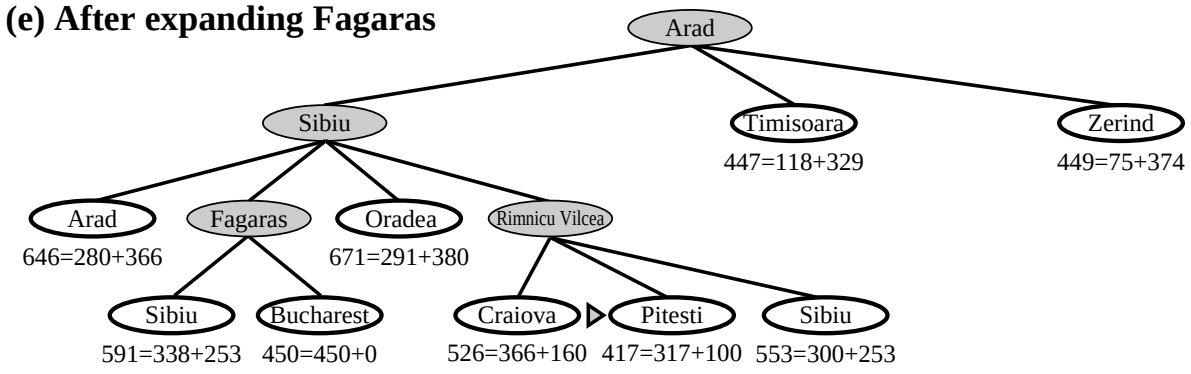
(c) After expanding Sibiu



(d) After expanding Rimnicu Vilcea

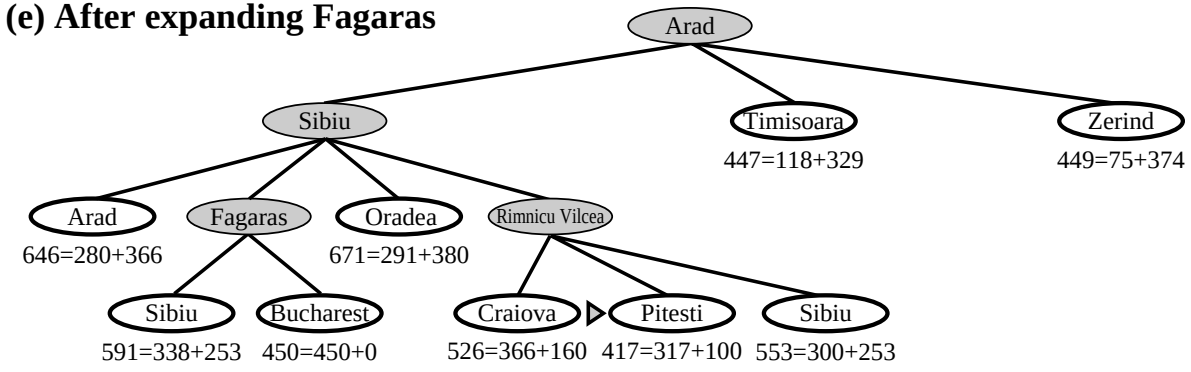


Beispiel: A* für Routenplanung

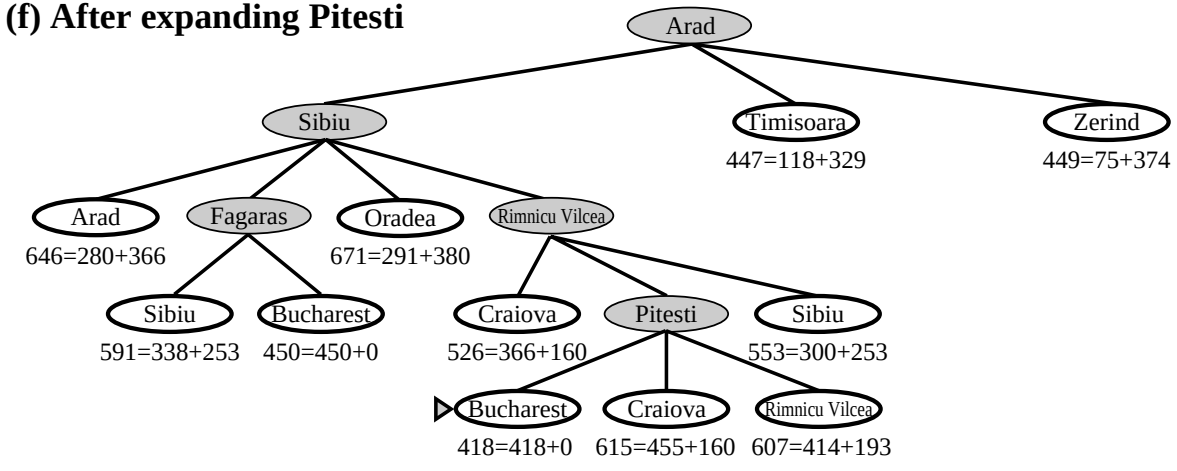


Beispiel: A* für Routenplanung

(e) After expanding Fagaras



(f) After expanding Pitesti



A*: Eigenschaften

- vollständig für sichere Heuristiken
  (wie alle Varianten der Bestensuche als Graphensuche)
- mit Reopening:
  optimal, wenn Heuristik zulässig
- ohne Reopening:
  optimal, wenn Heuristik konsistent und zulässig

$\rightsquigarrow$ Beweise: Kapitel 18 und 19

A*: Implementierungsaspekte

Einige praktische Anmerkungen für die Implementierung von A*:

- häufiger Bug: kein Reopening implementiert, obwohl die Heuristik nicht konsistent ist
- häufiger Bug: Duplikatstest „zu früh“ (beim Erzeugen der Suchknoten)
- häufiger Bug: Zieltest „zu früh“ (beim Erzeugen der Suchknoten)
- all diese Bugs führen zum Verlust der Optimalität und können lange unentdeckt bleiben

Weighted A*

Weighted A*

Weighted A*

A* mit stärker gewichteter Heuristik: $f(n) = g(n) + w \cdot h(n.\text{state})$, wobei Gewicht $w \in \mathbb{R}_0^+$ mit $w \geq 1$ ein frei wählbarer Parameter ist

Anmerkung: $w < 1$ ist denkbar, aber meist keine gute Idee (Warum nicht?)

Weighted A*: Eigenschaften

Gewichtsparameter kontrolliert "Gierigkeit" der Suche:

- $w = 0$: wie uniforme Kostensuche
- $w = 1$: wie A*
- $w \to \infty$: wie gierige Bestensuche

Mit $w \geq 1$ analoge Eigenschaften zu A*:

- *h* zulässig:
  gefundene Lösung garantiert höchstens Faktor *w* so teuer wie Optimum, wenn Reopening verwendet wird
- *h* konsistent und zulässig:
  gefundene Lösung garantiert höchstens Faktor *w* so teuer wie Optimum; kein Reopening nötig

(ohne Beweis)

Zusammenfassung

Zusammenfassung

Bestensuche als Graphensuche mit Bewertungfunktion f:

- $f = h$: gierige Bestensuche
  suboptimal, oft sehr schnell
- $f = g + h$: A*
  optimal, wenn h zulässig und konsistent
  oder wenn h zulässig und Reopening verwendet wird
- $f = g + w \cdot h$: Weighted A*
  für $w \geq 1$ Suboptimalitätsfaktor höchstens w
  unter den gleichen Bedingungen wie für Optimalität von A*