Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

42. Brettspiele: Alpha-Beta-Suche und Ausblick

Malte Helmert

Universität Basel

29. Mai 2015

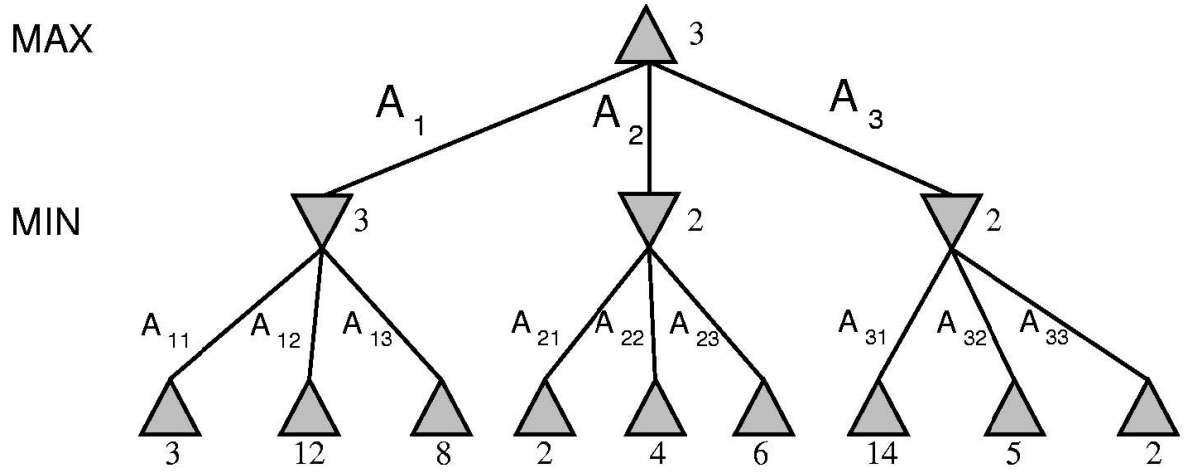
Brettspiele: Überblick

Kapitelüberblick:

- 41. Einführung und Minimax-Suche
- 42. Alpha-Beta-Suche und Ausblick

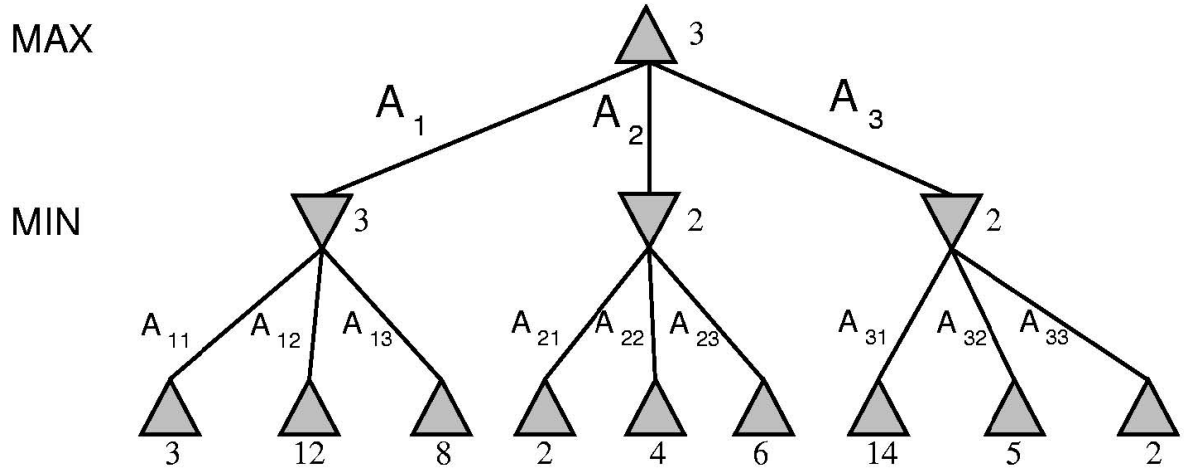
Alpha-Beta-Suche

Alpha-Beta-Suche



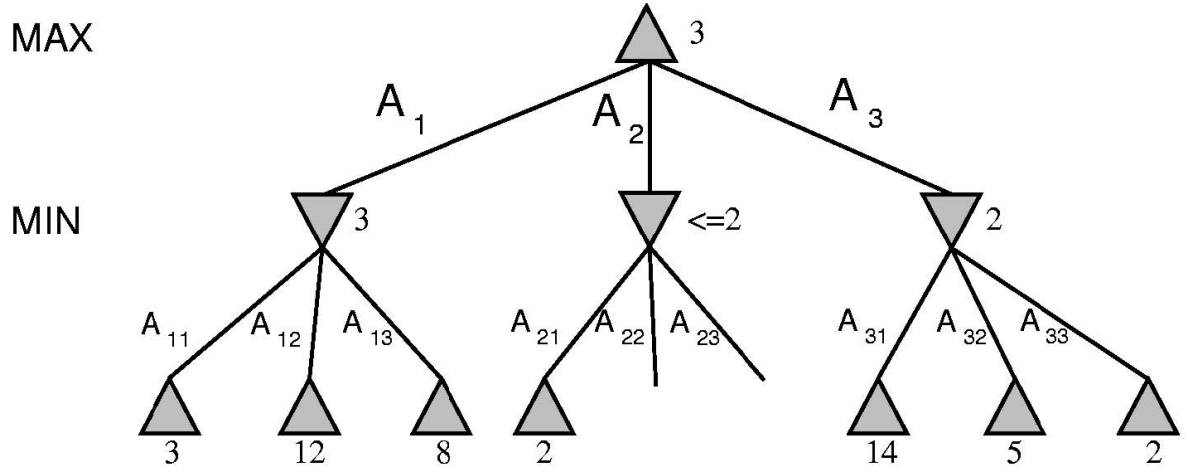
Kann man Sucharbeit sparen?

Alpha-Beta-Suche

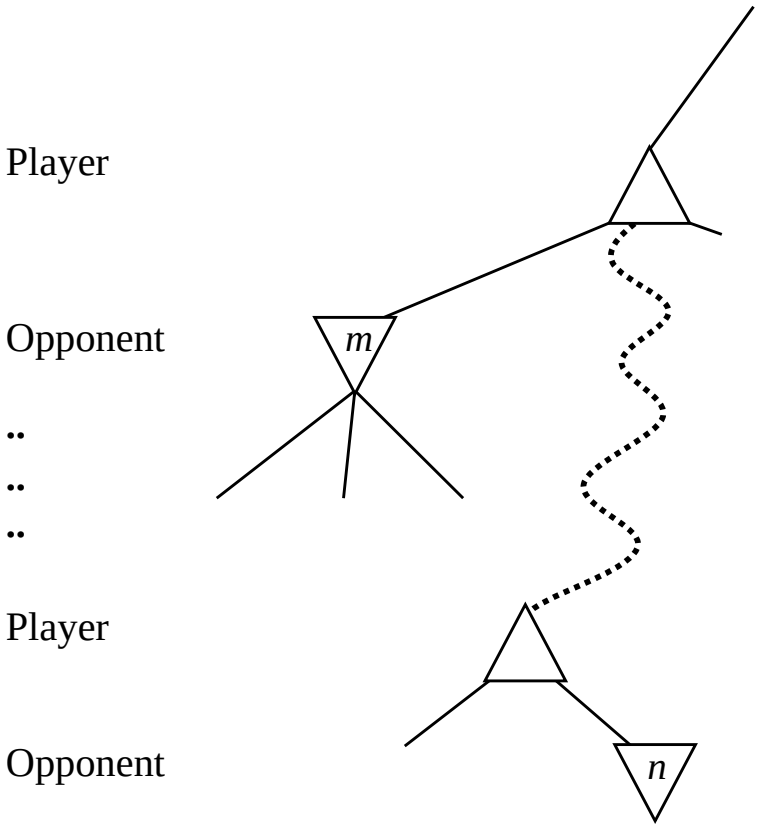


Kann man Sucharbeit sparen?

Nicht alle Knoten müssen betrachtet werden!



Alpha-Beta-Suche: allgemein



Falls $m > n$ gilt, wird Knoten mit Nutzen in n bei perfektem Spiel nie erreicht!

Alpha-Beta-Suche: Idee

Idee: Führe in Minimax-Tiefensuche zwei Zahlenwerte α und β mit, so dass für jeden rekursiven Aufruf gilt:

Alpha-Beta-Suche: Idee

Idee: Führe in Minimax-Tiefensuche zwei Zahlenwerte α und β mit, so dass für jeden rekursiven Aufruf gilt:

- Wenn der Nutzen im aktuellen Teilbaum $\leq \alpha$ ist, interessiert er uns nicht, weil MAX dann bei perfektem Spiel diesen Teilbaum nicht betreten muss
- Wenn der Nutzen im aktuellen Teilbaum $\geq \beta$ ist, interessiert er uns nicht, weil MIN dann bei perfektem Spiel diesen Teilbaum nicht betreten muss

Alpha-Beta-Suche: Idee

Idee: Führe in Minimax-Tiefensuche zwei Zahlenwerte α und β mit, so dass für jeden rekursiven Aufruf gilt:

- Wenn der Nutzen im aktuellen Teilbaum $\leq \alpha$ ist, interessiert er uns nicht, weil MAX dann bei perfektem Spiel diesen Teilbaum nicht betreten muss
- Wenn der Nutzen im aktuellen Teilbaum $\geq \beta$ ist, interessiert er uns nicht, weil MIN dann bei perfektem Spiel diesen Teilbaum nicht betreten muss

Wenn $\alpha \geq \beta$ im Teilbaum gilt, ist der Teilbaum uninteressant und muss nicht weiter durchsucht werden (α-β-Pruning).

Alpha-Beta-Suche: Idee

Idee: Führe in Minimax-Tiefensuche zwei Zahlenwerte α und β mit, so dass für jeden rekursiven Aufruf gilt:

- Wenn der Nutzen im aktuellen Teilbaum $\leq \alpha$ ist, interessiert er uns nicht, weil MAX dann bei perfektem Spiel diesen Teilbaum nicht betreten muss
- Wenn der Nutzen im aktuellen Teilbaum $\geq \beta$ ist, interessiert er uns nicht, weil MIN dann bei perfektem Spiel diesen Teilbaum nicht betreten muss

Wenn $\alpha \geq \beta$ im Teilbaum gilt, ist der Teilbaum uninteressant und muss nicht weiter durchsucht werden (α-β-Pruning).

Wird Alpha-Beta-Suche mit $\alpha = -\infty$ und $\beta = +\infty$ gestartet, ist Ergebnis identisch zu Minimax bei weniger Suchaufwand.

Alpha-Beta-Suche: Pseudo-Code

function ALPHA-BETA-SEARCH($state$) **returns** an action
  $v \leftarrow$ MAX-VALUE($state, -\infty, +\infty$)
  return the $action$ in ACTIONS($state$) with value v

---

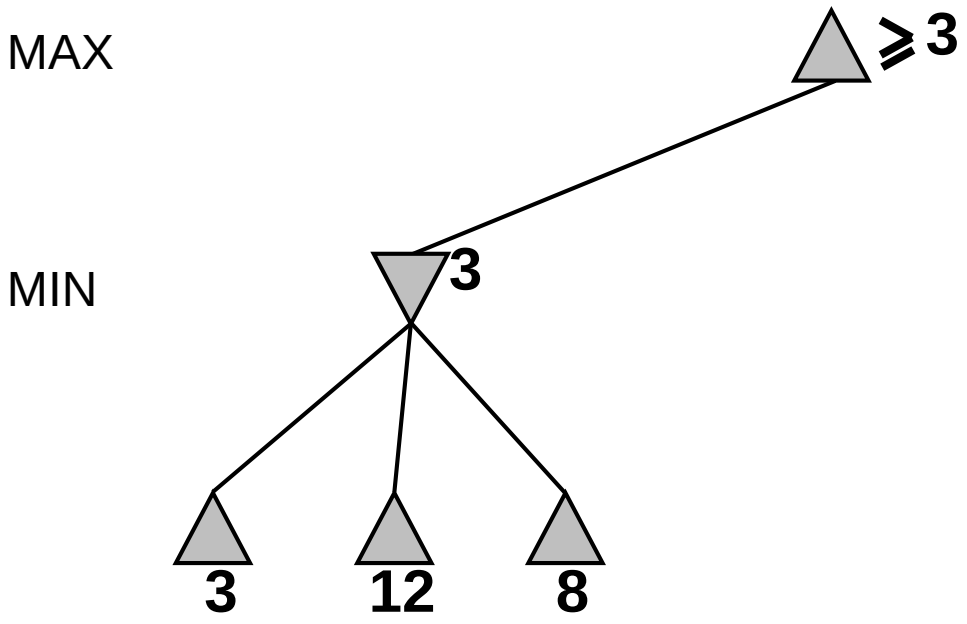
function MAX-VALUE($state, \alpha, \beta$) **returns** a $utility$ $value$
  if TERMINAL-TEST($state$) **then return** UTILITY($state$)
  $v \leftarrow -\infty$
  for each a **in** ACTIONS($state$) **do**
    $v \leftarrow$ MAX(v, MIN-VALUE(RESULT(s,a), α, β))
    if $v \geq \beta$ **then return** v
    $\alpha \leftarrow$ MAX(α, v)
  return v

---

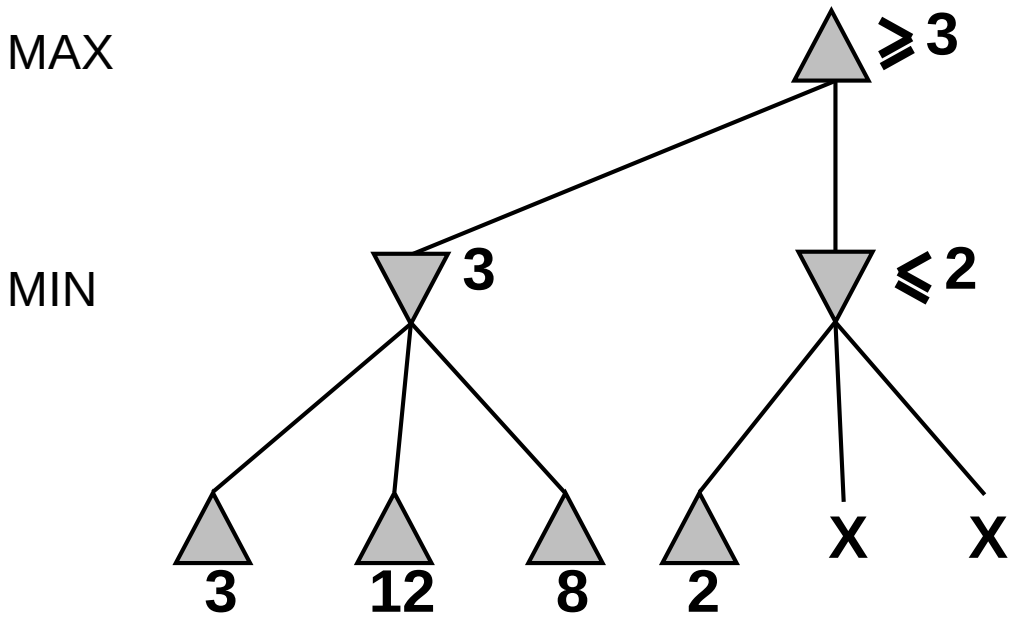
function MIN-VALUE($state, \alpha, \beta$) **returns** a $utility$ $value$
  if TERMINAL-TEST($state$) **then return** UTILITY($state$)
  $v \leftarrow +\infty$
  for each a **in** ACTIONS($state$) **do**
    $v \leftarrow$ MIN(v, MAX-VALUE(RESULT(s,a) , α, β))
    if $v \leq \alpha$ **then return** v
    $\beta \leftarrow$ MIN(β, v)
  return v

Anmerkung: bei mehreren identisch bewerteten Zügen muss ALPHA-BETA-SEARCH den ersten Maximierer wählen.

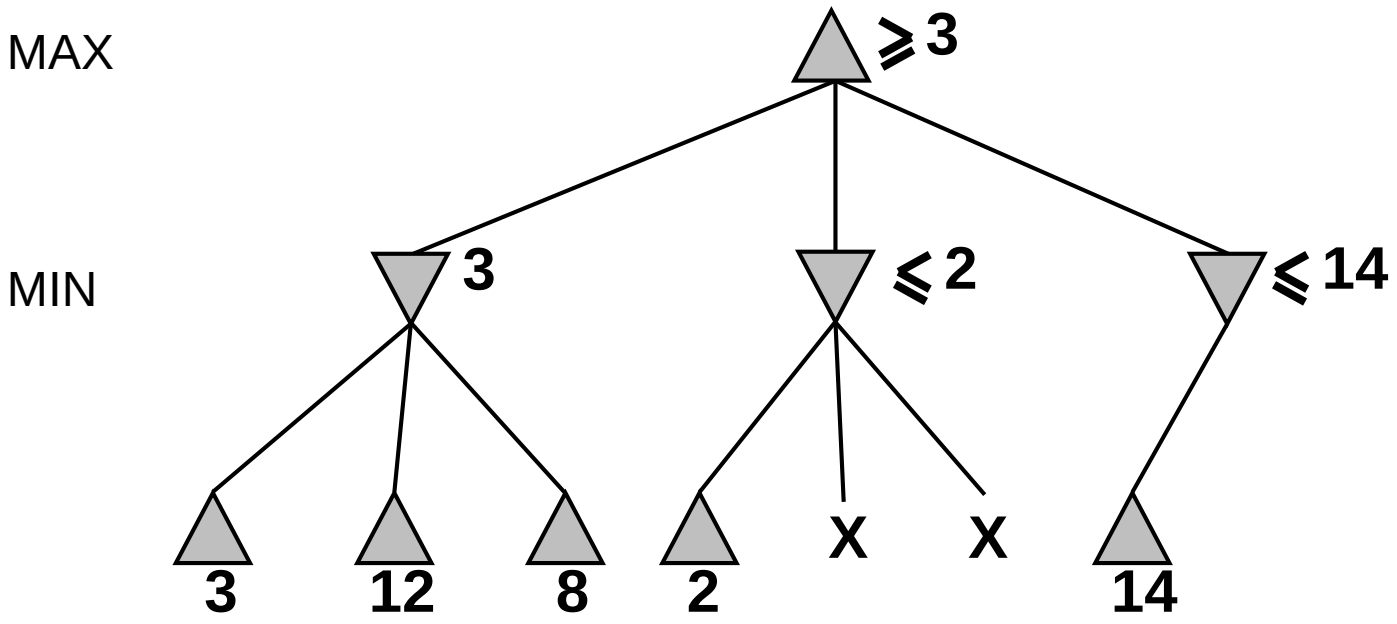
Alpha-Beta-Suche: Beispiel



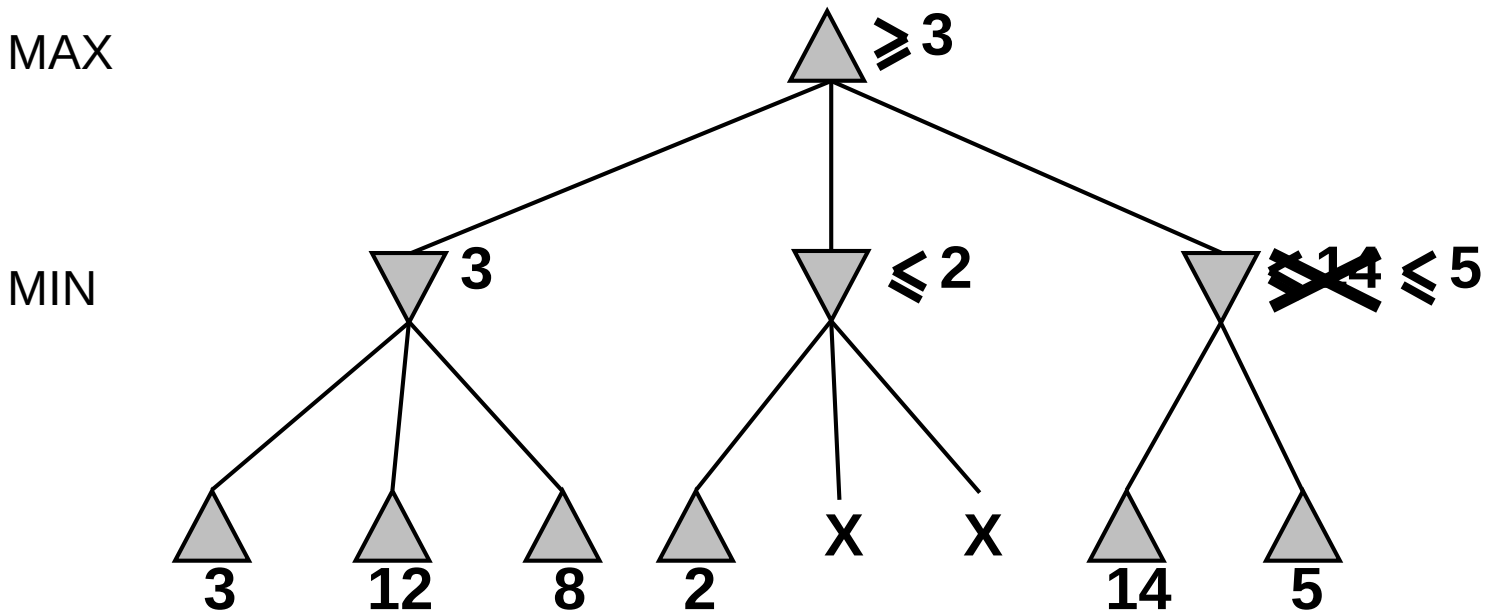
Alpha-Beta-Suche: Beispiel



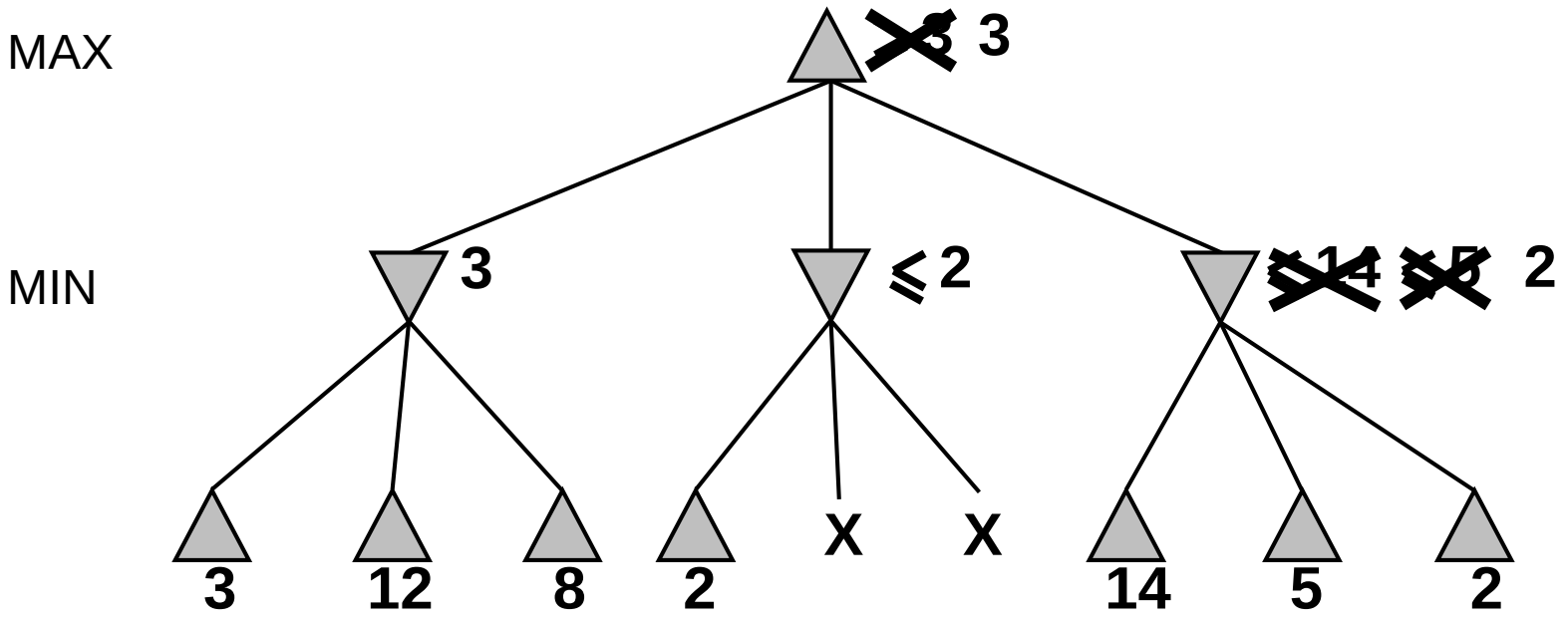
Alpha-Beta-Suche: Beispiel



Alpha-Beta-Suche: Beispiel



Alpha-Beta-Suche: Beispiel



Wie viel bringt Alpha-Beta-Suche?

Annahme: uniformer Spielbaum, Tiefe d, Verzweigungsgrad $b \geq 2$; MAX- und MIN-Positionen immer abwechselnd

- Alpha-Beta-Suche ist am erfolgreichsten, wenn bester Zug für den Spieler am Zug immer als erstes betrachtet wird
  - also ein maximierender Zug bei MAX, ein minimierender Zug bei MIN

$\rightsquigarrow$ Aufwand reduziert sich in diesem besten Fall von $O(b^d)$ (Minimax) auf $O(b^{d/2})$

$\rightsquigarrow$ doppelte Suchtiefe in derselben Zeit möglich

- in der Praxis kommt man oft sehr nah an das Optimum heran

Stand der Wissenschaft

Stand der Wissenschaft

einige bekannte Brettspiele:

- Schach: $\rightsquigarrow$ nächste Folien
- Othello: Logistello besiegt 1997 menschlichen Weltmeister; beste Computer-Spieler deutlich stärker als beste Menschen
- Dame (Checkers): Chinook offizieller Weltmeister (seit 1994); 2007 Unbesiegbarkeit gezeigt (Spiel „gelöst“)
- Go: Die besten Programme (Zen, Mogo, Crazystone) verwenden Monte-Carlo-Techniken (UCT) und sind in etwa auf dem Niveau starker Amateure (1 kyu/1 dan)

Computerschach

Weltmeister Garri Kasparov 1997 durch Deep Blue
in 6 Partien 3,5 : 2,5 besiegt

- spezialisierte Schach-Hardware, 30 Knoten mit je 16 Chips
- Alpha-Beta-Suche (mit Erweiterungen)
- Eröffnungsdatenbank aus Millionen von Schachpartien

Heutzutage spielt normale PC-Hardware auf Weltmeisterniveau.

Computerschach: Zitate

Claude Shannon (1949)

The chess machine is an ideal one to start with, since

1. the problem is sharply defined both in allowed operations (the moves) and in the ultimate goal (checkmate),
2. it is neither so simple as to be trivial nor too difficult for satisfactory solution,
3. chess is generally considered to require "thinking" for skilful play, [...]
4. the discrete structure of chess fits well into the digital nature of modern computers.

Computerschach: Zitate

Claude Shannon (1949)

The chess machine is an ideal one to start with, since

1. the problem is sharply defined both in allowed operations (the moves) and in the ultimate goal (checkmate),
2. it is neither so simple as to be trivial nor too difficult for satisfactory solution,
3. chess is generally considered to require "thinking" for skilful play, [...]
4. the discrete structure of chess fits well into the digital nature of modern computers.

Alexander Kronrod (1965)

Chess is the drosophila of Artificial Intelligence.

Computerschach: noch ein Zitat

John McCarthy (1997)

In 1965, the Russian mathematician Alexander Kronrod said, “Chess is the Drosophila of artificial intelligence.”

Computerschach: noch ein Zitat

John McCarthy (1997)

In 1965, the Russian mathematician Alexander Kronrod said, "Chess is the Drosophila of artificial intelligence."

However, computer chess has developed much as genetics might have if the geneticists had concentrated their efforts starting in 1910 on breeding racing Drosophilae. We would have some science, but mainly we would have very fast fruit flies.

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Alpha-Beta-Suche merkt sich, welchen Nutzen beide Spieler anderswo im Baum erzwingen können und vermeidet so viele unnötige Berechnungen
- im besten Fall Aufwand $O(b^{d/2})$ bei uniformen Bäumen

$\rightsquigarrow$ doppelt so tiefe Suche wie bei Minimax möglich