18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

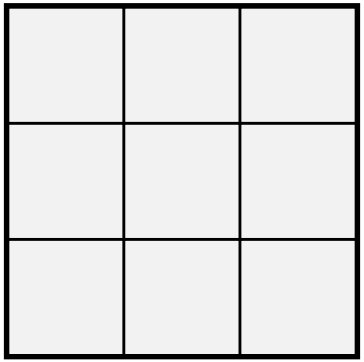
- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

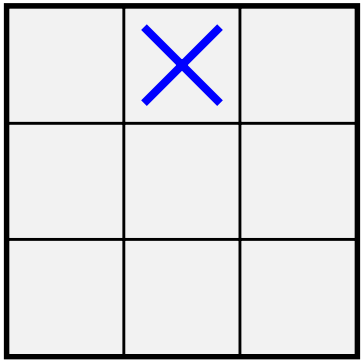


18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

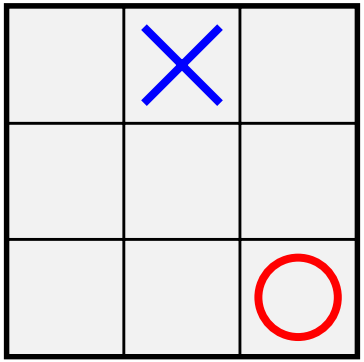


18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

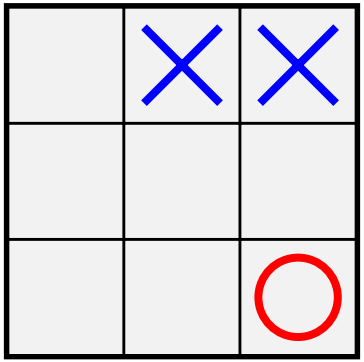


18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

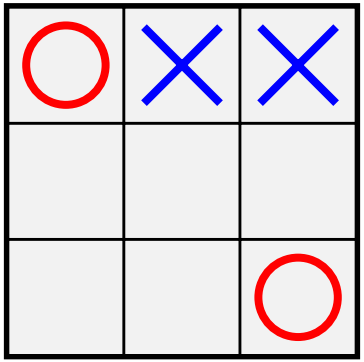


18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

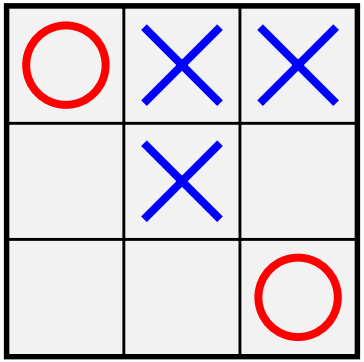


18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

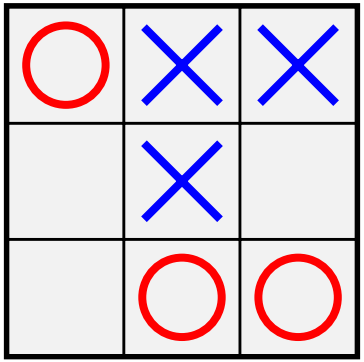


18 Tic-Tac-Toe

Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel

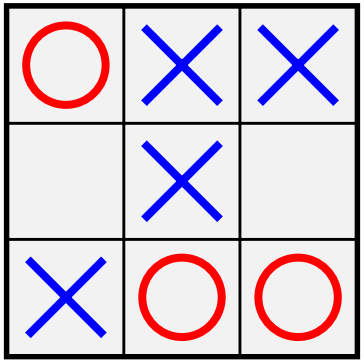


18 Tic-Tac-Toe

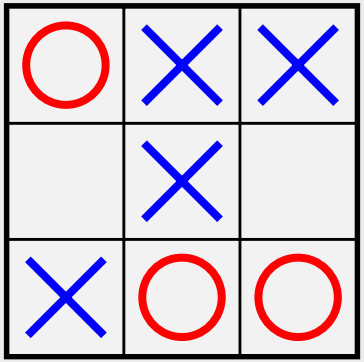
Regeln:

- Zwei Personen setzen abwechselnd Steine auf ein (3×3)-Spielfeld.
- Wer zuerst drei Steine in einer Reihe erreicht, gewinnt.
- Zeilen, Spalten und Haupt-Diagonalen sind Reihen.

Beispiel



Beispiel



Analyse

. . . offenbar hat die anziehende Partei gewonnen.

Fragen

- Ist das immer so? D.h. kann die anziehende Partei immer gewinnen?
- Wie implementiert man ein Tic-Tac-Toe-Programm, das
  - ...möglichst oft gewinnt?
  - ...eine ansprechende Oberfläche bietet?

Hintergrund — Zwei-Personen-Nullsummenspiele

Tic-Tac-Toe ist ein endliches Zwei-Personen-Nullsummen-Spiel, mit perfekter Information. Das heißt:

- Zwei Personen spielen gegeneinander.
- Was der eine gewinnt, verliert der andere.
- Es gibt eine endliche Menge von Spiel-Konfigurationen.
- Die Spieler ziehen abwechselnd. Ein Zug wechselt die Konfiguration, bis eine Endkonfiguration erreicht ist.
- Jede Endkonfiguration ist mit einem Gewinn aus $\mathbb{R}$ bewertet.
- Person 0 gewinnt, wenn Endkonfiguration mit negativem Gewinn erreicht wird; sonst gewinnt Person 1.

Analyse

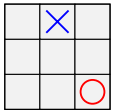
. . . offenbar hat die anziehende Partei gewonnen.

Fragen

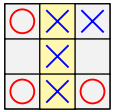
- Ist das immer so? D.h. kann die anziehende Partei immer gewinnen?
- Wie implementiert man ein Tic-Tac-Toe-Programm, das
  - ...möglichst oft gewinnt?
  - ...eine ansprechende Oberfläche bietet?

...im Beispiel

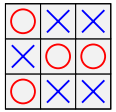
Konfiguration:



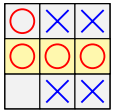
Endkonfigurationen:



Gewinn -1



Gewinn 0



Gewinn +1

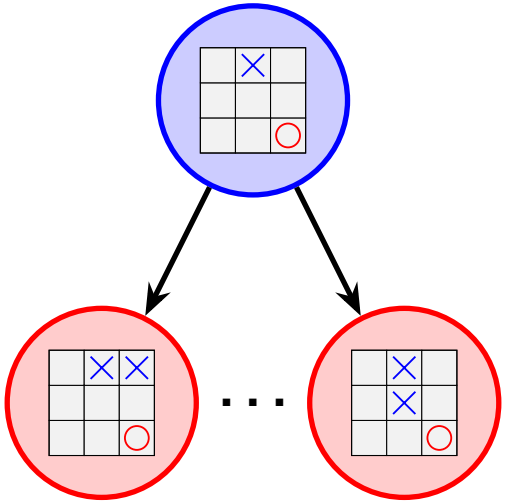
Hintergrund — Zwei-Personen-Nullsummenspiele

Tic-Tac-Toe ist ein endliches Zwei-Personen-Nullsummen-Spiel, mit perfekter Information. Das heißt:

- Zwei Personen spielen gegeneinander.
- Was der eine gewinnt, verliert der andere.
- Es gibt eine endliche Menge von Spiel-Konfigurationen.
- Die Spieler ziehen abwechselnd. Ein Zug wechselt die Konfiguration, bis eine Endkonfiguration erreicht ist.
- Jede Endkonfiguration ist mit einem Gewinn aus $\mathbb{R}$ bewertet.
- Person 0 gewinnt, wenn Endkonfiguration mit negativem Gewinn erreicht wird; sonst gewinnt Person 1.

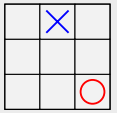
...im Beispiel

Spielzug:

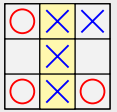


...im Beispiel

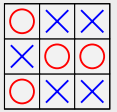
Konfiguration:



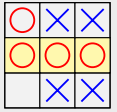
Endkonfigurationen:



Gewinn -1



Gewinn 0



Gewinn +1

Spielbaum

Ein Spielbaum wird folgendermassen (rekursiv) konstruiert:

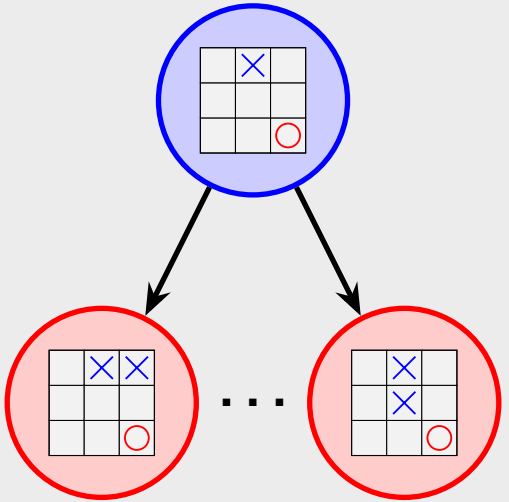
- gegeben ein Knoten v, der eine Spielkonfiguration repräsentiert
- für jede mögliche Nachfolgekonfiguration erzeugen wir einen Kindknoten, den wir mit v verbinden;
- dann starten wir den Prozess rekursiv für alle Kindknoten.

Eigenschaften:

- jeder Knoten repräsentiert eine Konfiguration; allerdings kann dieselbe Konfiguration sehr oft vorkommen
- Blattknoten repräsentieren Endkonfigurationen
- Kanten repräsentieren Spielzüge
- jedes Spiel ist ein Pfad von der Wurzel zu einem Blatt

...im Beispiel

Spielzug:



Spielbaum

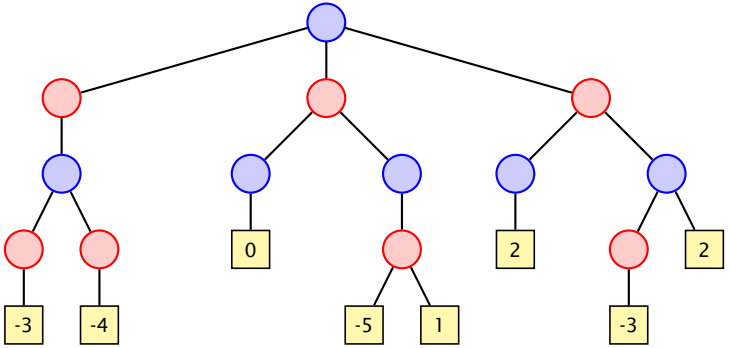
Ein Spielbaum wird folgendermassen (rekursiv) konstruiert:

- gegeben ein Knoten v, der eine Spielkonfiguration repräsentiert
- für jede mögliche Nachfolgekonfiguration erzeugen wir einen Kindknoten, den wir mit v verbinden;
- dann starten wir den Prozess rekursiv für alle Kindknoten.

Eigenschaften:

- jeder Knoten repräsentiert eine Konfiguration; allerdings kann dieselbe Konfiguration sehr oft vorkommen
- Blattknoten repräsentieren Endkonfigurationen
- Kanten repräsentieren Spielzüge
- jedes Spiel ist ein Pfad von der Wurzel zu einem Blatt

Beispiel — Spielbaum

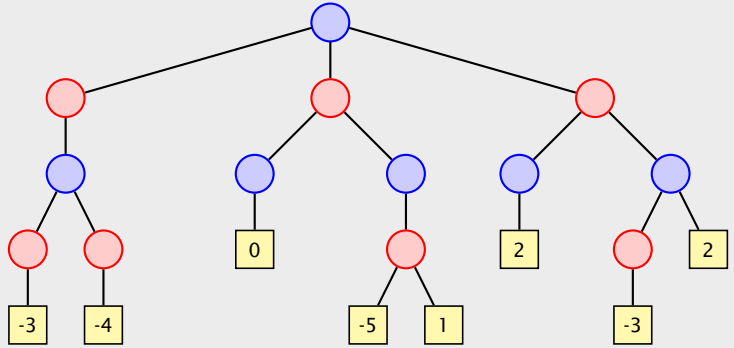


Spielbaum

Fragen:

- Wie finden wir uns (z.B. als blaue Person) im Spielbaum zurecht?
- Was müssen wir tun, um sicher ein negatives Blatt zu erreichen?

Beispiel — Spielbaum



Spielbaum

Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

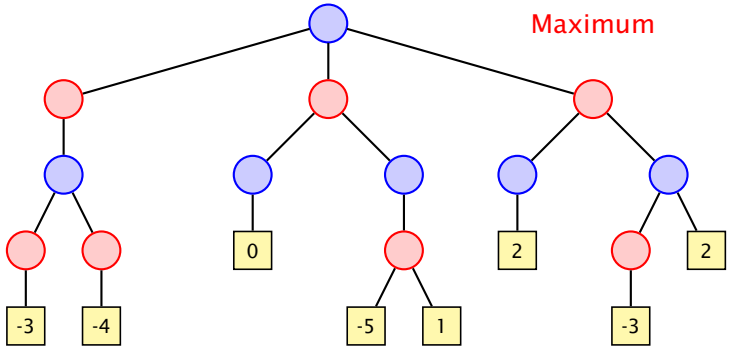
Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Spielbaum

Fragen:

- Wie finden wir uns (z.B. als blaue Person) im Spielbaum zurecht?
- Was müssen wir tun, um sicher ein negatives Blatt zu erreichen?

Beispiel — Spielbaum



Spielbaum

Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Spielbaum

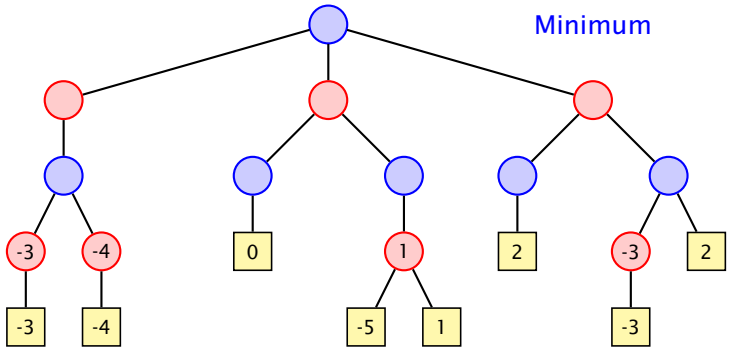
Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Beispiel — Spielbaum



Spielbaum

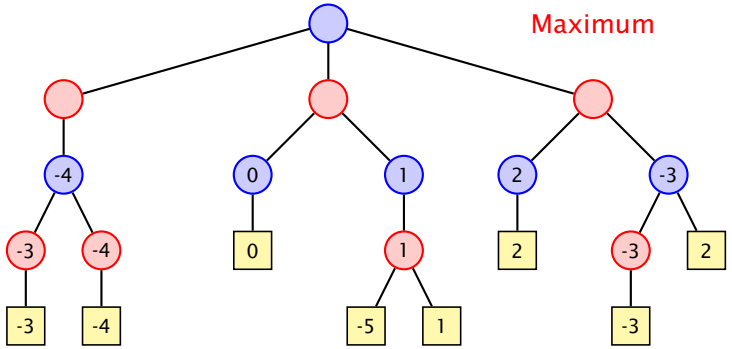
Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Beispiel — Spielbaum



Spielbaum

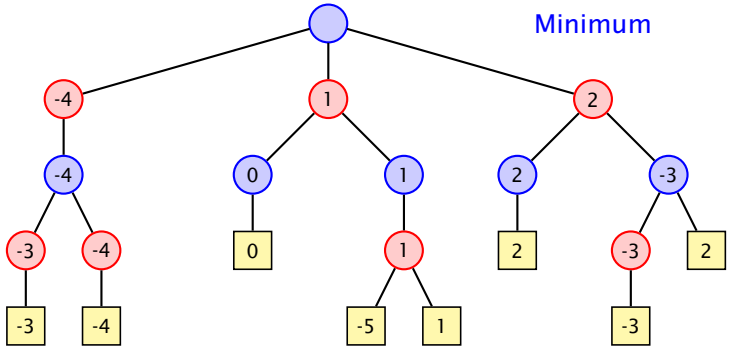
Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Beispiel — Spielbaum



Spielbaum

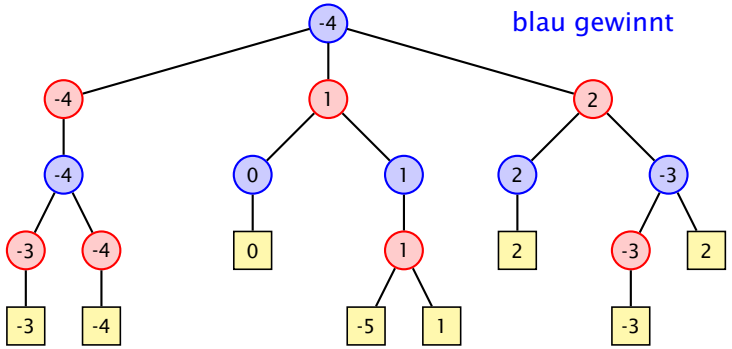
Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Beispiel — Spielbaum



Spielbaum

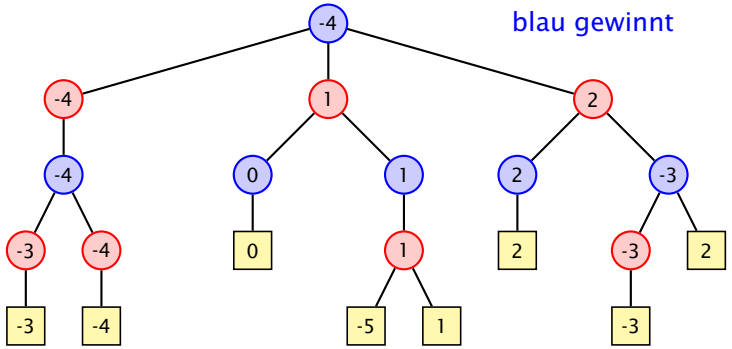
Idee:

- Wir ermitteln für jede Konfiguration den jeweils besten zu erzielenden Gewinn.
- Seien die Gewinne für sämtliche Nachfolger einer Konfiguration bereits ermittelt.

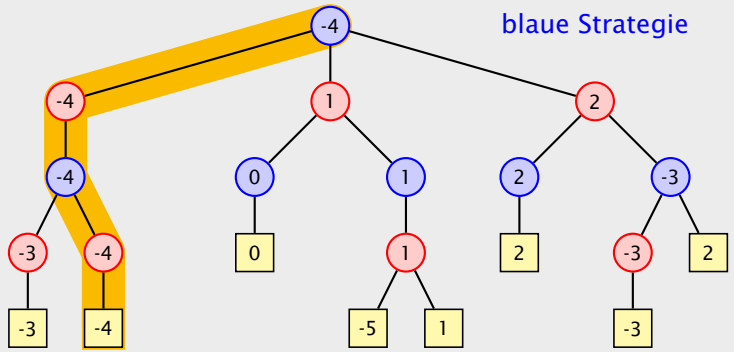
Fall 1 Die Konfiguration ist blau: wir sind am Zug. Wir können garantiert das Minimum der Gewinne der Söhne erzielen.

Fall 2 Die Konfiguration ist rot: der Gegner ist am Zug. Er kann garantiert das Maximum der Gewinne der Söhne erzielen.

Beispiel — Spielbaum



Beispiel — Spielbaum



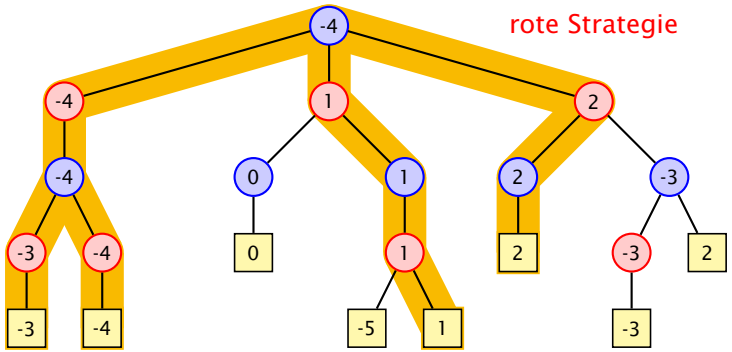
Strategien

Eine Strategie ist eine Vorschrift, die uns in jeder (erreichbaren) Konfiguration mitteilt, welchen Nachfolger wir auswählen sollen.

Eine optimale Strategie ist eine, deren Anwendung garantiert zu einer Endkonfiguration führt, deren Wert mindestens so groß ist wie der berechnete garantierte Gewinn.

Eine akzeptable Strategie ist eine, deren Anwendung einen Verlust des Spiels verhindert, wann immer das möglich ist ...

Beispiel — Spielbaum



Strategien

Eine Strategie ist eine Vorschrift, die uns in jeder (erreichbaren) Konfiguration mitteilt, welchen Nachfolger wir auswählen sollen.

Eine optimale Strategie ist eine, deren Anwendung garantiert zu einer Endkonfiguration führt, deren Wert mindestens so groß ist wie der berechnete garantierte Gewinn.

Eine akzeptable Strategie ist eine, deren Anwendung einen Verlust des Spiels verhindert, wann immer das möglich ist ...

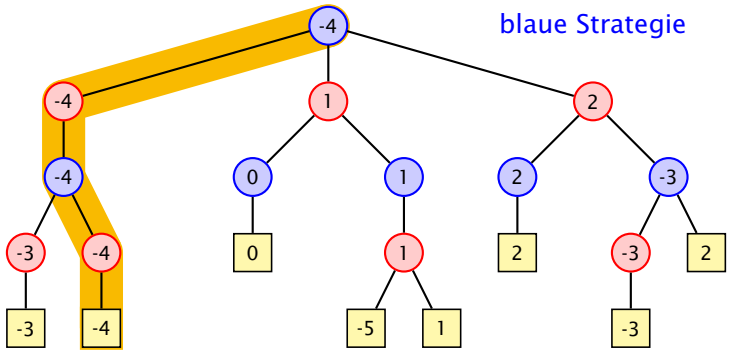
Strategien

Eine Strategie ist eine Vorschrift, die uns in jeder (erreichbaren) Konfiguration mitteilt, welchen Nachfolger wir auswählen sollen.

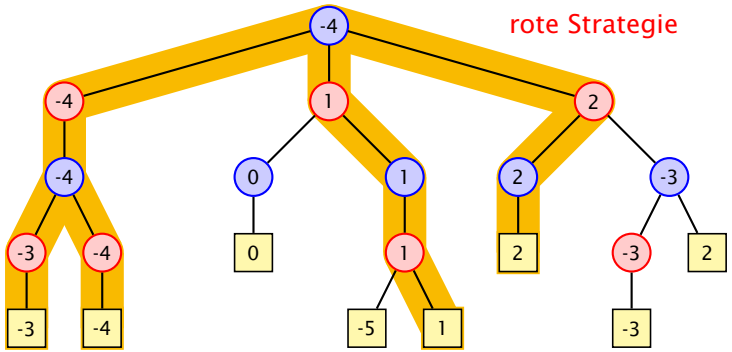
Eine optimale Strategie ist eine, deren Anwendung garantiert zu einer Endkonfiguration führt, deren Wert mindestens so groß ist wie der berechnete garantierte Gewinn.

Eine akzeptable Strategie ist eine, deren Anwendung einen Verlust des Spiels verhindert, wann immer das möglich ist ...

Beispiel — Spielbaum



Beispiel — Spielbaum



Strategien

Eine Strategie ist eine Vorschrift, die uns in jeder (erreichbaren) Konfiguration mitteilt, welchen Nachfolger wir auswählen sollen.

Eine optimale Strategie ist eine, deren Anwendung garantiert zu einer Endkonfiguration führt, deren Wert mindestens so groß ist wie der berechnete garantierte Gewinn.

Eine akzeptable Strategie ist eine, deren Anwendung einen Verlust des Spiels verhindert, wann immer das möglich ist ...

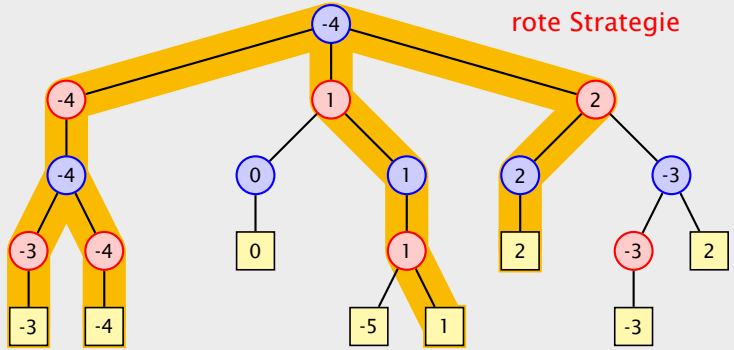
Struktur

GameTreeNode
- pos : Position - type : int - value : int - child : GameTreeNode[]
+ GameTreeNode (Position p) + bestMove () : int

Position
- playerToMove : int - arena : int[]
+ Position () + Position (Position p) + won () : int + getMoves () : Iterator<Integer> + makeMove (int m) + movePossible (int m) : boolean + getPlToMv () : int

Game
- g : GameTreeNode - p : Position
+ makeBestMove () + makePlayerMove () + movePossible () : boolean + finished () : boolean

Beispiel — Spielbaum



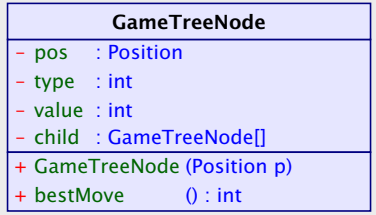
Implementierung – SpielbaumA

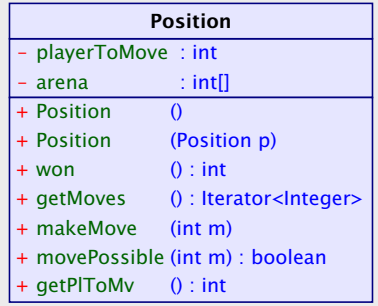
```java
import java.util.*;
public class GameTreeNode implements PlayConstants {
    static public int nodeCount = 0;

    private int value;
    private int type;
    private int bestMove = -1;
    private Position pos;
    private GameTreeNode[] child = new GameTreeNode[9];

    public int bestMove() {
        return bestMove;
    }
```

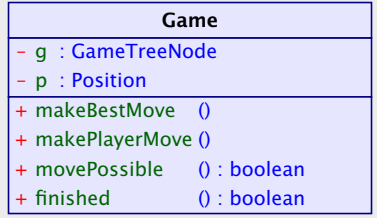
"GameTreeNodeA.java"

- das interface `PlayConstants` definiert die Konstanten `MIN` = -1, `NONE` = 0, `MAX` = 1;

Struktur







Implementierung – SpielbaumA

```
14      public GameTreeNode(Position p) { nodeCount++;
15          pos = p; type = p.playerToMove;
16          // hab ich schon verloren?
17          if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
18          // no more moves --> no winner
19          Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
20          if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
21          value = -2*type;
22          while (moves.hasNext()) {
23              int m = moves.next();
24              child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m));
25              if (type == MIN && child[m].value < value ||
26                  type == MAX && child[m].value > value) {
27                  value = child[m].value;
28                  bestMove = m;
29  }   }   }   }
```

"GameTreeNodeA.java"

Implementierung – SpielbaumA

```
1  import java.util.*;
2  public class GameTreeNode implements PlayConstants {
3      static public int nodeCount = 0;
4
5      private int value;
6      private int type;
7      private int bestMove = -1;
8      private Position pos;
9      private GameTreeNode[] child = new GameTreeNode[9];
10
11     public int bestMove() {
12         return bestMove;
13     }
```

"GameTreeNodeA.java"

- das interface PlayConstants definiert die Konstanten MIN = -1, NONE = 0, MAX = 1;

Implementierung – SpielbaumA

Die einzigen TicTacToe-spezifischen Informationen in der Klasse `GameTreeNode` sind

- die Größe des Arrays `child`; wir wissen, dass wir höchstens 9 Züge machen können
- wir kennen die Gewinnwerte:

  `MIN` gewinnt : `value` = -1
  unentschieden : `value` = 0
  `MAX` gewinnt : `value` = +1

  deswegen könne wir z.B. `value` mit `-2*type` initialisieren.

Die anderen Regeln werden in die Klasse `Position` ausgelagert.

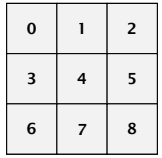
Implementierung – SpielbaumA

```
14      public GameTreeNode(Position p) { nodeCount++;
15          pos = p; type = p.playerToMove;
16          // hab ich schon verloren?
17          if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
18          // no more moves --> no winner
19          Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
20          if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
21          value = -2*type;
22          while (moves.hasNext()) {
23              int m = moves.next();
24              child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m));
25              if (type == MIN && child[m].value < value ||
26                  type == MAX && child[m].value > value) {
27                  value = child[m].value;
28                  bestMove = m;
29  }   }   }   }
```

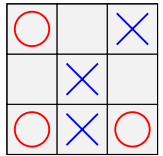
"GameTreeNodeA.java"

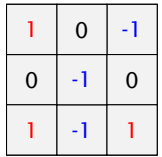
Klasse Position – Kodierung

Das Array `arena` enthält die Spielstellung z.B.:
`arena = {1,0,-1,0,-1,0,1,-1,1}` bedeutet:



Koordinaten


Konfiguration



Kodierung

Implementierung – SpielbaumA

Die einzigen TicTacToe-spezifischen Informationen in der Klasse `GameTreeNode` sind

- die Größe des Arrays `child`; wir wissen, dass wir höchstens 9 Züge machen können
- wir kennen die Gewinnwerte:

  `MIN` gewinnt : `value` = -1
  unentschieden : `value` = 0
  `MAX` gewinnt : `value` = +1

  deswegen könne wir z.B. `value` mit `-2*type` initialisieren.

Die anderen Regeln werden in die Klasse `Position` ausgelagert.

Implementierung – Position

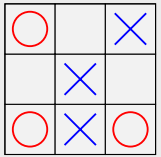
```
1  public class Position implements PlayConstants {
2      private int[] arena;
3      private int playerToMove = MIN;
4      public Position() { arena = new int[9]; }
5      public Position(Position p) {
6          arena = (int[]) p.arena.clone();
7          playerToMove = p.playerToMove;
8      }
9      public Position makeMove(int place) {
10         Position p = new Position(this);
11         p.arena[place] = playerToMove;
12         p.playerToMove = -playerToMove;
13         return p;
14     }
15     private boolean free(int place) {
16         return (arena[place] == NONE);
17     }
18     public boolean movePossible(int pl) {
19         return (getMoves().hasNext() && free(pl));
20     }
```

Klasse Position – Kodierung

Das Array `arena` enthält die Spielstellung z.B.:
`arena = {1,0,-1,0,-1,0,1,-1,1}` bedeutet:

0	1	2
3	4	5
6	7	8

Koordinaten



Konfiguration

1	0	-1
0	-1	0
1	-1	1

Kodierung

Implementierung – Position

```
21 private class PossibleMoves implements Iterator<Integer> {
22     private int next = 0;
23     public boolean hasNext() {
24         if (won() != 0) return false;
25         for (; next<9; next++)
26             if (free(next)) return true;
27         return false;
28     }
29     public Integer next() {
30         if (won() == 0)
31             for(; next<9; next++)
32                 if (free(next)) return next++;
33         throw new NoSuchElementException();
34 }   }
35 public Iterator<Integer> getMoves() {
36     return new PossibleMoves();
37 }
```

"Position.java"

Implementierung – Position

```
1  public class Position implements PlayConstants {
2      private int[] arena;
3      private int playerToMove = MIN;
4      public Position() { arena = new int[9]; }
5      public Position(Position p) {
6          arena = (int[]) p.arena.clone();
7          playerToMove = p.playerToMove;
8      }
9      public Position makeMove(int place) {
10         Position p = new Position(this);
11         p.arena[place] = playerToMove;
12         p.playerToMove = -playerToMove;
13         return p;
14     }
15     private boolean free(int place) {
16         return (arena[place] == NONE);
17     }
18     public boolean movePossible(int pl) {
19         return (getMoves().hasNext() && free(pl));
20     }
```

Klasse Game

Die Klasse Game sammelt notwendige Datenstrukturen und Methoden zur Durchführung des Spiels:

```
1  public class Game implements PlayConstants, Model {
2      private Position     p;
3      private GameTreeNode g;
4      private View view;
5
6      Game(View v) {
7          view = v;
8          p = new Position();
9      }
10     private void initTree() {
11         g.nodeCount = 0;
12         g = new GameTreeNode(p);
13         System.out.println("generate tree... (" +
14                            g.nodeCount + " nodes)");
15     }
```

"Game.java"

Implementierung – Position

```
21 private class PossibleMoves implements Iterator<Integer> {
22     private int next = 0;
23     public boolean hasNext() {
24         if (won() != 0) return false;
25         for (; next<9; next++)
26             if (free(next)) return true;
27         return false;
28     }
29     public Integer next() {
30         if (won() == 0)
31             for(; next<9; next++)
32                 if (free(next)) return next++;
33         throw new NoSuchElementException();
34 }   }
35 public Iterator<Integer> getMoves() {
36     return new PossibleMoves();
37 }
```

"Position.java"

Klasse Game

```
17      private void makeMove(int place) {
18          view.put(place,p.getPlToMv());
19          p = p.makeMove(place);
20          if (finished())
21              view.showWinner(p.won());
22      }
23      public void makeBestMove() {
24          initTree();
25          makeMove(g.bestMove());
26      }
27      public void makePlayerMove(int place) {
28          makeMove(place);
29          if (!finished()) {
30              makeBestMove();
31          }
32      }
```

"Game.java"

Klasse Game

Die Klasse Game sammelt notwendige Datenstrukturen und Methoden zur Durchführung des Spiels:

```
1  public class Game implements PlayConstants, Model {
2      private Position     p;
3      private GameTreeNode g;
4      private View view;
5
6      Game(View v) {
7          view = v;
8          p = new Position();
9      }
10     private void initTree() {
11         g.nodeCount = 0;
12         g = new GameTreeNode(p);
13         System.out.println("generate tree... (" +
14                            g.nodeCount + " nodes)");
15     }
```

"Game.java"

Klasse Game

```
33      public boolean movePossible(int place) {
34          return p.movePossible(place);
35      }
36      public boolean finished() {
37          return !p.getMoves().hasNext();
38      }
39      public static void main(String[] args) {
40          Game game = new Game(new DummyView());
41          for (int i = 0; i < 9; ++i) {
42              if (!game.finished()) {
43                  game.makeBestMove();
44                  System.out.println(game.p);
45              }
46              else System.out.println("no more moves");
47  }   }   }
```

"Game.java"

Klasse Game

```
17      private void makeMove(int place) {
18          view.put(place,p.getPlToMv());
19          p = p.makeMove(place);
20          if (finished())
21              view.showWinner(p.won());
22      }
23      public void makeBestMove() {
24          initTree();
25          makeMove(g.bestMove());
26      }
27      public void makePlayerMove(int place) {
28          makeMove(place);
29          if (!finished()) {
30              makeBestMove();
31          }
32      }
```

"Game.java"

Output – Variante A

```
generate tree... (549946 nodes)
x..
...
...
generate tree... (59705 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (7332 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (935 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (198 nodes)
xxo
.o.
x..
```

```
generate tree... (47 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (14 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Klasse Game

```
33      public boolean movePossible(int place) {
34          return p.movePossible(place);
35      }
36      public boolean finished() {
37          return !p.getMoves().hasNext();
38      }
39      public static void main(String[] args) {
40          Game game = new Game(new DummyView());
41          for (int i = 0; i < 9; ++i) {
42              if (!game.finished()) {
43                  game.makeBestMove();
44                  System.out.println(game.p);
45              }
46              else System.out.println("no more moves");
47  }   }   }
```

"Game.java"

Effizienz

Wie können wir das effizienter gestalten?

1. Den Spielbaum nur einmal berechnen, anstatt jedesmal neu.
   gewinnt nicht sehr viel...
2. Wenn wir z.B. als MaxPlayer schon einen Wert von 1 erreicht haben, brauchen wir nicht weiterzusuchen...

   Spielbaum ist dann unvollständig; Wiederverwendung schwierig...

$\Longrightarrow$ Baue keinen vollständigen Spielbaum; nur Wert und Zug an der Wurzel müssen korrekt sein.

Output – Variante A

```
generate tree... (549946 nodes)
x..
...
...
generate tree... (59705 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (7332 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (935 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (198 nodes)
xxo
.o.
x..
```

```
generate tree... (47 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (14 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Implementierung – SpielbaumB

```
14      public GameTreeNode(Position p) { nodeCount++;
15          pos = p; type = p.playerToMove;
16          // hab ich schon verloren?
17          if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
18          // no more moves --> no winner
19          Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
20          if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
21          value = -2*type;
22          while (moves.hasNext()) {
23              int m = moves.next();
24              child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m));
25              if (type == MIN && child[m].value < value ||
26                  type == MAX && child[m].value > value) {
27                  value = child[m].value;
28                  bestMove = m;
29                  // we won; don't search further
30                  if (value == type) return;
31  }   }   }   }
```

"GameTreeNodeB.java"

Effizienz

Wie können wir das effizienter gestalten?

1. Den Spielbaum nur einmal berechnen, anstatt jedesmal neu.
   gewinnt nicht sehr viel...
2. Wenn wir z.B. als MaxPlayer schon einen Wert von 1 erreicht haben, brauchen wir nicht weiterzusuchen...

   Spielbaum ist dann unvollständig; Wiederverwendung schwierig...

$\Longrightarrow$ Baue keinen vollständigen Spielbaum; nur Wert und Zug an der Wurzel müssen korrekt sein.

Output – Variante B

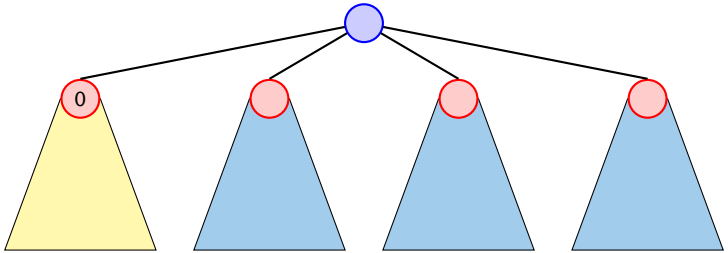
```
generate tree... (94978 nodes)
x..
...
...
generate tree... (3763 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (1924 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (61 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (50 nodes)
xxo
.o.
x..
generate tree... (17 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (10 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Implementierung – SpielbaumB

```
14      public GameTreeNode(Position p) { nodeCount++;
15          pos = p; type = p.playerToMove;
16          // hab ich schon verloren?
17          if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
18          // no more moves --> no winner
19          Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
20          if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
21          value = -2*type;
22          while (moves.hasNext()) {
23              int m = moves.next();
24              child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m));
25              if (type == MIN && child[m].value < value ||
26                  type == MAX && child[m].value > value) {
27                  value = child[m].value;
28                  bestMove = m;
29                  // we won; don't search further
30                  if (value == type) return;
31  }   }   }   }
```

"GameTreeNodeB.java"

Effizienz – Alpha-Beta-Pruning



Ein Wert > 0 innerhalb der blauen Teilbäume kann nicht zu Wurzel gelangen (Wurzel ist MIN-Knoten). Deshalb kann ein MAX-Knoten innerhalb dieser Bäume abbrechen, wenn er einen Wert ≥ 0 erzielt hat.

Analog für MIN.

Output – Variante B

```
generate tree... (94978 nodes)
x..
...
...
generate tree... (3763 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (1924 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (61 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (50 nodes)
xxo
.o.
x..
```

```
generate tree... (17 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (10 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

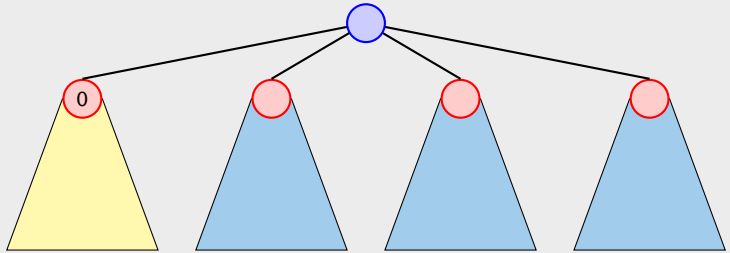
Implementierung – SpielbaumC

Änderungen am Konstruktor:

```
1     private GameTreeNode(Position p,
2                          int goalMin, int goalMax) {
3         nodeCount++;
4         pos = p; type = p.playerToMove;
5         if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
6         Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
7         if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
8
9         value = -2*type;
10        while (moves.hasNext()) {
11            int m = moves.next();
12            child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m),
13                                        goalMin,goalMax);
14    // continued...
```

"GameTreeNodeC.java"

Effizienz – Alpha-Beta-Pruning



Ein Wert > 0 innerhalb der blauen Teilbäume kann nicht zu Wurzel gelangen (Wurzel ist MIN-Knoten). Deshalb kann ein MAX-Knoten innerhalb dieser Bäume abbrechen, wenn er einen Wert ≥ 0 erzielt hat.

Analog für MIN.

Implementierung – SpielbaumC

```
15          if (type == MIN && child[m].value < value ||
16              type == MAX && child[m].value > value) {
17              value = child[m].value;
18              bestMove = m;
19
20              // leave if goal is reached
21              if (type == MIN && value <= goalMin) return;
22              if (type == MAX && value >= goalMax) return;
23              // update goals
24              if (type == MIN) goalMax = value;
25              if (type == MAX) goalMin = value;
26      }  }  } // if, while, Konstruktor
27      public GameTreeNode(Position p) {
28          this(p, MIN, MAX);
29      }
30  }
```

"GameTreeNodeC.java"

Implementierung – SpielbaumC

Änderungen am Konstruktor:

```
1       private GameTreeNode(Position p,
2                            int goalMin, int goalMax) {
3           nodeCount++;
4           pos = p; type = p.playerToMove;
5           if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
6           Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
7           if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
8
9           value = -2*type;
10          while (moves.hasNext()) {
11              int m = moves.next();
12              child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m),
13                                          goalMin,goalMax);
14  // continued...
```

"GameTreeNodeC.java"

Output – Variante C

```
generate tree... (18014 nodes)
x..
...
...
generate tree... (1957 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (764 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (61 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (50 nodes)
xxo
.o.
x..
generate tree... (17 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (10 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Implementierung – SpielbaumC

```
15            if (type == MIN && child[m].value < value ||
16                type == MAX && child[m].value > value) {
17                value = child[m].value;
18                bestMove = m;
19
20                // leave if goal is reached
21                if (type == MIN && value <= goalMin) return;
22                if (type == MAX && value >= goalMax) return;
23                // update goals
24                if (type == MIN) goalMax = value;
25                if (type == MAX) goalMin = value;
26        }  }  } // if, while, Konstruktor
27        public GameTreeNode(Position p) {
28            this(p, MIN, MAX);
29        }
30    }
```

"GameTreeNodeC.java"

Effizienz

Bis jetzt haben wir bei den Effizienzsteigerungen das eigentliche Spiel ignoriert.

- Wenn wir einen Zug haben, der sofort gewinnt, kennen wir den Wert des Knotens und den besten Zug.
- Falls das nicht zutrifft, aber der Gegner am Zug einen sofortigen Gewinn hätte, dann ist der beste Zug dieses zu verhindern. D.h. wir kennen den besten Zug, aber noch nicht den Wert des Knotens.

`int forcedWin(int player)` in der Klasse `Position` überprüft, ob `player` einen Zug mit sofortigem Gewinn hat.

- falls ja, gibt es diesen Zug zurück
- sonst gibt es `-1` zurück

Output – Variante C

```
generate tree... (18014 nodes)
x..
...
...
generate tree... (1957 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (764 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (61 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (50 nodes)
xxo
.o.
x..
```

```
generate tree... (17 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (10 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Implementierung – SpielbaumD

```
1     private GameTreeNode(Position p,
2                          int goalMin, int goalMax) {
3         nodeCount++; pos = p; type = p.getPlToMv();
4         if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
5         Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
6         if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
7         int m;
8         if ((m=p.forcedWin(type)) != -1) {
9             bestMove = m;
10            value = type;
11            return;
12        }
13        if ((m=p.forcedWin(-type)) != -1) {
14            bestMove = m;
15            child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m),
16                                        goalMin, goalMax);
17            value = child[m].value;
18            return;
19        }
```

"GameTreeNodeD.java"

Effizienz

Bis jetzt haben wir bei den Effizienzsteigerungen das eigentliche Spiel ignoriert.

- Wenn wir einen Zug haben, der sofort gewinnt, kennen wir den Wert des Knotens und den besten Zug.
- Falls das nicht zutrifft, aber der Gegner am Zug einen sofortigen Gewinn hätte, dann ist der beste Zug dieses zu verhindern. D.h. wir kennen den besten Zug, aber noch nicht den Wert des Knotens.

`int forcedWin(int player)` in der Klasse `Position` überprüft, ob `player` einen Zug mit sofortigem Gewinn hat.

- falls ja, gibt es diesen Zug zurück
- sonst gibt es `-1` zurück

Implementierung – SpielbaumD

```
20        value = -2*type;
21        while (moves.hasNext()) {
22           m = moves.next();
23           child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m),
24                                       goalMin,goalMax);
25
26           if (type == MIN && child[m].value < value ||
27               type == MAX && child[m].value > value) {
28               value = child[m].value;
29               bestMove = m;
30
31               // leave if goal is reached
32               if (type == MIN && value <= goalMin) return;
33               if (type == MAX && value >= goalMax) return;
34               // update goals
35               if (type == MIN) goalMax = value;
36               if (type == MAX) goalMin = value;
37     }  }  } // if, while, Konstruktor
```

"GameTreeNodeD.java"

Implementierung – SpielbaumD

```
1     private GameTreeNode(Position p,
2                          int goalMin, int goalMax) {
3         nodeCount++; pos = p; type = p.getPlToMv();
4         if (p.won() == -type) { value = -type; return; }
5         Iterator<Integer> moves = p.getMoves();
6         if (!moves.hasNext()) { value = NONE; return; }
7         int m;
8         if ((m=p.forcedWin(type)) != -1) {
9             bestMove = m;
10            value = type;
11            return;
12        }
13        if ((m=p.forcedWin(-type)) != -1) {
14            bestMove = m;
15            child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m),
16                                        goalMin, goalMax);
17            value = child[m].value;
18            return;
19        }
```

"GameTreeNodeD.java"

Output – Variante D

```
generate tree... (2914 nodes)
x..
...
...
generate tree... (271 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (106 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (9 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (8 nodes)
xxo
.o.
x..
generate tree... (7 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (6 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Implementierung – SpielbaumD

```
20        value = -2*type;
21        while (moves.hasNext()) {
22           m = moves.next();
23           child[m] = new GameTreeNode(p.makeMove(m),
24                                       goalMin,goalMax);
25
26           if (type == MIN && child[m].value < value ||
27               type == MAX && child[m].value > value) {
28               value = child[m].value;
29               bestMove = m;
30
31               // leave if goal is reached
32               if (type == MIN && value <= goalMin) return;
33               if (type == MAX && value >= goalMax) return;
34               // update goals
35               if (type == MIN) goalMax = value;
36               if (type == MAX) goalMin = value;
37    }  }  } // if, while, Konstruktor
```

"GameTreeNodeD.java"

Effizienz

Was könnte man noch tun?

- Eröffnungen; für die initialen Konfigurationen den besten Antwortzug speichern.
- Ausnutzen von Zugumstellungen. Überprüfen ob man die aktuelle Stellung schon irgendwo im Spielbaum gesehen hat (Hashtabelle).
- Ausnutzen von Symmetrien.

Aber für Tic-Tac-Toe wäre dieses wohl overkill...

Für komplexe Spiele wie Schach oder Go ist eine exakte Auswertung des Spielbaums völlig illusorisch...

Output – Variante D

```
generate tree... (2914 nodes)
x..
...
...
generate tree... (271 nodes)
x..
.o.
...
generate tree... (106 nodes)
xx.
.o.
...
generate tree... (9 nodes)
xxo
.o.
...
generate tree... (8 nodes)
xxo
.o.
x..
```

```
generate tree... (7 nodes)
xxo
oo.
x..
generate tree... (6 nodes)
xxo
oox
x..
generate tree... (5 nodes)
xxo
oox
xo.
generate tree... (2 nodes)
xxo
oox
xox
```

Effizienz

Was könnte man noch tun?

- Eröffnungen; für die initialen Konfigurationen den besten Antwortzug speichern.
- Ausnutzen von Zugumstellungen. Überprüfen ob man die aktuelle Stellung schon irgendwo im Spielbaum gesehen hat (Hashtabelle).
- Ausnutzen von Symmetrien.

Aber für Tic-Tac-Toe wäre dieses wohl overkill...

Für komplexe Spiele wie Schach oder Go ist eine exakte Auswertung des Spielbaums völlig illusorisch...

GUI: Model – View – Controller

Modell (Model):
Repräsentiert das Spiel, den aktuellen Spielzustand, und die Spiellogik.

Ansicht (View)
Die externe graphische(?) Benutzeroberfläche mit der die Benutzerin interagiert.

Steuerung (Controller)
Kontrollschicht, die Aktionen der Nutzerin and die Spiellogik weiterleitet, und Reaktionen sichtbar macht.

Typisch für viele interaktive Systeme. Es gibt viele Varianten (Model-View-Presenter, Model-View-Adapter, etc.).

GUI: Model – View – Controller

Modell (Model):
Repräsentiert das Spiel, den aktuellen Spielzustand, und die Spiellogik.

Ansicht (View)
Die externe graphische(?) Benutzeroberfläche mit der die Benutzerin interagiert.

Steuerung (Controller)
Kontrollschicht, die Aktionen der Nutzerin and die Spiellogik weiterleitet, und Reaktionen sichtbar macht.

Typisch für viele interaktive Systeme. Es gibt viele Varianten (Model-View-Presenter, Model-View-Adapter, etc.).

GUI: Model – View – Controller

- Es gibt viele solcher Standardvorgehensweisen, für das Strukturieren, bzw. Schreiben von großen Programmen (Design Patterns, ↑Softwaretechnik).
- Es gibt auch Anti Patterns, d.h., Dinge, die man normalerweise nicht tun sollte (die aber trotzdem häufig vorkommen).

GUI: Model – View – Controller

- Es gibt viele solcher Standardvorgehensweisen, für das Strukturieren, bzw. Schreiben von großen Programmen (Design Patterns, ↑Softwaretechnik).
- Es gibt auch Anti Patterns, d.h., Dinge, die man normalerweise nicht tun sollte (die aber trotzdem häufig vorkommen).

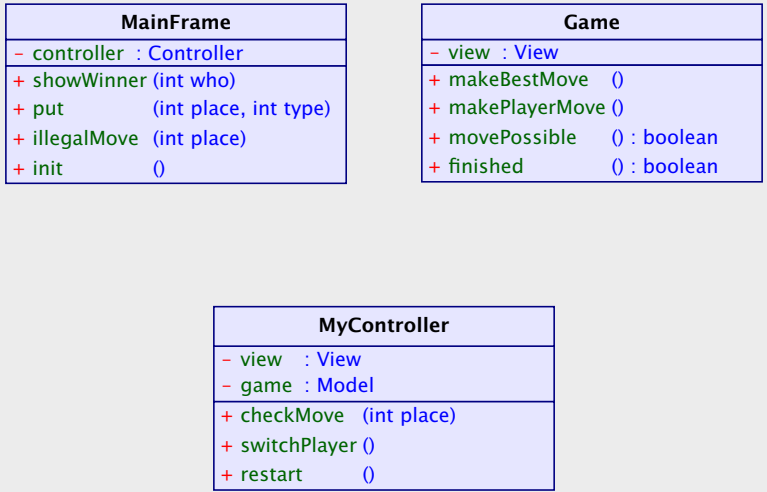
TicTacToe – GUI

MainFrame
- controller : Controller
+ showWinner (int who)
+ put (int place, int type)
+ illegalMove (int place)
+ init ()

Game
- view : View
+ makeBestMove ()
+ makePlayerMove ()
+ movePossible () : boolean
+ finished () : boolean

MyController
- view : View
- game : Model
+ checkMove (int place)
+ switchPlayer ()
+ restart ()

TicTacToe – GUI



View – Attributes

```
1  import java.awt.*;
2  import java.awt.event.*;
3  import javax.swing.*;
4  import javax.swing.border.*;
5  import static javax.swing.SwingUtilities.*;
6
7
8  public class MainFrame extends JFrame implements
9                                          PlayConstants,View {
10     private Controller controller;
11     private JDialog dia;
12     private JPanel  arena;
13     private JPanel  side;
14     private Container c;
```

"MainFrame.java"

View – Attributes

```
1  import java.awt.*;
2  import java.awt.event.*;
3  import javax.swing.*;
4  import javax.swing.border.*;
5  import static javax.swing.SwingUtilities.*;
6
7
8  public class MainFrame extends JFrame implements
9                                          PlayConstants,View {
10     private Controller controller;
11     private JDialog dia;
12     private JPanel  arena;
13     private JPanel  side;
14     private Container c;
```

"MainFrame.java"

View

```
16     public MainFrame(Controller con) {
17         controller = con;
18         setupUI();
19         init();
20     }
21     private void setupUI() {
22         c = getContentPane();
23         setLocation(100,100);
24         c.setLayout(new FlowLayout());
25         setVisible(true);
26     }
```

"MainFrame.java"

View – Interfacemethoden

```
27    public void init() { invokeLater(()->{
28        c.removeAll();
29        arena = new JPanel();
30        arena.setBackground(Color.BLUE);
31        arena.setBorder(new LineBorder(Color.BLUE, 5));
32        arena.setLayout(new GridLayout(3,3,5,5));
33        arena.setPreferredSize(new Dimension(600,600));
34        for (int i=0; i<9;i++) {
35            MyButton b = new MyButton(i);
36            b.addActionListener( this::buttonAction );
37            arena.add(b); }
38        side = new JPanel();
39        side.setPreferredSize(new Dimension(200,600));
40        side.setLayout(new BorderLayout());
41        JButton b = new JButton("switch sides");
42        b.addActionListener( this::switchAction );
43        side.add(b,BorderLayout.CENTER);
44        c.add(arena);
45        c.add(side);
46        pack();  });}
```

View

```
16    public MainFrame(Controller con) {
17        controller = con;
18        setupUI();
19        init();
20    }
21    private void setupUI() {
22        c = getContentPane();
23        setLocation(100,100);
24        c.setLayout(new FlowLayout());
25        setVisible(true);
26    }
```

"MainFrame.java"

View – Interfacemethoden

```
47    public void put(int place, int type) {
48        invokeLater(()->{
49            JPanel canvas;
50            if (type == MIN) canvas = new Cross();
51            else canvas = new Circle();
52            arena.remove(place);
53            arena.add(canvas, place);
54            revalidate();
55            repaint();
56        });
57    }
58    public void illegalMove(int place) {
59        System.out.println("Illegal move: "+place);
60    }
```

"MainFrame.java"

View – Interfacemethoden

```
27    public void init() { invokeLater(()->{
28        c.removeAll();
29        arena = new JPanel();
30        arena.setBackground(Color.BLUE);
31        arena.setBorder(new LineBorder(Color.BLUE, 5));
32        arena.setLayout(new GridLayout(3,3,5,5));
33        arena.setPreferredSize(new Dimension(600,600));
34        for (int i=0; i<9;i++) {
35            MyButton b = new MyButton(i);
36            b.addActionListener( this::buttonAction );
37            arena.add(b); }
38        side = new JPanel();
39        side.setPreferredSize(new Dimension(200,600));
40        side.setLayout(new BorderLayout());
41        JButton b = new JButton("switch sides");
42        b.addActionListener( this::switchAction );
43        side.add(b,BorderLayout.CENTER);
44        c.add(arena);
45        c.add(side);
46        pack();  });}
```

View – Interfacemethoden

```
61    public void showWinner(int who) {
62        String str = "";
63        switch(who) {
64        case -1: str = "Kreuz gewinnt!"; break;
65        case  0: str = "Unentschieden!"; break;
66        case  1: str = "Kreis gewinnt!"; break;
67        }
68        final String s = str;
69        invokeLater(()->dia = new MyDialog(this,s));
70    }
```

"MainFrame.java"

View – Interfacemethoden

```
47    public void put(int place, int type) {
48        invokeLater(()->{
49            JPanel canvas;
50            if (type == MIN) canvas = new Cross();
51            else canvas = new Circle();
52            arena.remove(place);
53            arena.add(canvas, place);
54            revalidate();
55            repaint();
56        });
57    }
58    public void illegalMove(int place) {
59        System.out.println("Illegal move: "+place);
60    }
```

"MainFrame.java"

View – ActionListener

```
72      public void switchAction(ActionEvent e) {
73          controller.switchPlayer();
74      }
75      public void buttonAction(ActionEvent e) {
76          MyButton button = (MyButton) e.getSource();
77          int place = button.getNumber();
78          controller.checkMove(place);
79      }
80      public void dialogAction(ActionEvent e) {
81          JButton b = (JButton) e.getSource();
82          if (e.getActionCommand() == "kill") {
83              System.exit(0);
84          } else {
85              controller.restart();
86              dia.dispose();
87          }
88      }
```

"MainFrame.java"

View – Interfacemethoden

```
61      public void showWinner(int who) {
62          String str = "";
63          switch(who) {
64          case -1: str = "Kreuz gewinnt!"; break;
65          case  0: str = "Unentschieden!"; break;
66          case  1: str = "Kreis gewinnt!"; break;
67          }
68          final String s = str;
69          invokeLater(()->dia = new MyDialog(this,s));
70      }
```

"MainFrame.java"

Controller – Attributes

```
1  import java.awt.*;
2  import java.awt.event.*;
3
4  public class MyController implements PlayConstants,
5                                       Controller {
6      private Model  game;
7      private View   view;
8      public void setup(Model m, View v) {
9          game = m; view = v;
10     }
```

"MyController.java"

View – ActionListener

```
72     public void switchAction(ActionEvent e) {
73         controller.switchPlayer();
74     }
75     public void buttonAction(ActionEvent e) {
76         MyButton button = (MyButton) e.getSource();
77         int place = button.getNumber();
78         controller.checkMove(place);
79     }
80     public void dialogAction(ActionEvent e) {
81         JButton b = (JButton) e.getSource();
82         if (e.getActionCommand() == "kill") {
83             System.exit(0);
84         } else {
85             controller.restart();
86             dia.dispose();
87         }
88     }
```

"MainFrame.java"

Controller – Methoden

```
11      public void checkMove(int place) {
12          if (game.movePossible(place)) {
13              game.makePlayerMove(place);
14          }
15          else view.illegalMove(place);
16      }
17      public void switchPlayer() {
18          if (game.finished()) return;
19          game.makeBestMove();
20      }
21      public void restart() {
22          view.init();
23          game = new Game(view);
24  }   }
```

"MyController.java"

Controller – Attributes

```
1  import java.awt.*;
2  import java.awt.event.*;
3
4  public class MyController implements PlayConstants,
5                                       Controller {
6      private Model  game;
7      private View   view;
8      public void setup(Model m, View v) {
9          game = m; view = v;
10     }
```

"MyController.java"

Main

```
1     public static void main(String[] args) {
2         invokeLater(()->{
3             Controller c = new MyController();
4             View  v = new MainFrame(c);
5             Model m = new Game(v);
6             c.setup(m,v);
7         });
8     }
```

"MainFrame.java"

Controller – Methoden

```
11    public void checkMove(int place) {
12        if (game.movePossible(place)) {
13            game.makePlayerMove(place);
14        }
15        else view.illegalMove(place);
16    }
17    public void switchPlayer() {
18        if (game.finished()) return;
19        game.makeBestMove();
20    }
21    public void restart() {
22        view.init();
23        game = new Game(view);
24 }  }
```

"MyController.java"

Diskussion

Was ist hier falsch?

Was passiert wenn wir einen sehr grossen Spielbaum berechnen?

Main

```
1    public static void main(String[] args) {
2        invokeLater(()->{
3            Controller c = new MyController();
4            View  v = new MainFrame(c);
5            Model m = new Game(v);
6            c.setup(m,v);
7        });
8    }
```

"MainFrame.java"

Diskussion

Was ist hier falsch?

Was passiert wenn wir einen sehr grossen Spielbaum berechnen?

Main

```
1    public static void main(String[] args) {
2        invokeLater(()->{
3            Controller c = new MyController();
4            View  v = new MainFrame(c);
5            Model m = new Game(v);
6            c.setup(m,v);
7        });
8    }
```

"MainFrame.java"

Main

```
1     private void initTree() {
2         try {Thread.sleep(4000);}
3         catch(InterruptedException e) {}
4         g.nodeCount = 0;
5         g = new GameTreeNode(p);
6         System.out.println("generate tree... (" +
7                                 g.nodeCount + " nodes)");
8     }
```

"GameNew.java"

Die GUI reagiert nicht mehr, da wir die gesamte Berechnung im Event Dispatch Thread ausführen.

Diskussion

Was ist hier falsch?

Was passiert wenn wir einen sehr grossen Spielbaum berechnen?

View – ActionListener

```
72  public void switchAction(ActionEvent e) {
73      ctrl.exec(()->ctrl.switchPlayer());
74  }
75  public void buttonAction(ActionEvent e) {
76      MyButton button = (MyButton) e.getSource();
77      int place = button.getNumber();
78      ctrl.exec(()->ctrl.checkMove(place));
79  }
80  public void dialogAction(ActionEvent e) {
81      JButton b = (JButton) e.getSource();
82      if (e.getActionCommand() == "kill") {
83          System.exit(0);
84      } else {
85          ctrl.exec(()->ctrl.restart());
86          dia.dispose();
87      }
88  }
```

"MainFrameNew.java"

Main

```
1     private void initTree() {
2         try {Thread.sleep(4000);}
3         catch(InterruptedException e) {}
4         g.nodeCount = 0;
5         g = new GameTreeNode(p);
6         System.out.println("generate tree... (" +
7                                 g.nodeCount + " nodes)");
8     }
```

"GameNew.java"

Die GUI reagiert nicht mehr, da wir die gesamte Berechnung im Event Dispatch Thread ausführen.

Controller – Attributes

```
1  import java.awt.*;
2  import java.awt.event.*;
3  import java.util.concurrent.locks.*;
4
5  public class MyController extends Thread
6                             implements PlayConstants,
7                                        Controller {
8      private Model  game;
9      private View   view;
10     final Lock      lock = new ReentrantLock();
11     final Condition cond = lock.newCondition();
```

"MyControllerNew.java"

View – ActionListener

```
72   public void switchAction(ActionEvent e) {
73       ctrl.exec(()->ctrl.switchPlayer());
74   }
75   public void buttonAction(ActionEvent e) {
76       MyButton button = (MyButton) e.getSource();
77       int place = button.getNumber();
78       ctrl.exec(()->ctrl.checkMove(place));
79   }
80   public void dialogAction(ActionEvent e) {
81       JButton b = (JButton) e.getSource();
82       if (e.getActionCommand() == "kill") {
83           System.exit(0);
84       } else {
85           ctrl.exec(()->ctrl.restart());
86           dia.dispose();
87       }
88   }
```

"MainFrameNew.java"

Controller – Methoden

```
13      Runnable r = null;
14      public void exec(Runnable r) {
15          if (lock.tryLock()) {
16              this.r = r;
17              cond.signal();
18              lock.unlock();
19          }
20      }
21      public void run() {
22          lock.lock(); try {
23          while (true) {
24              while (r == null)
25                  cond.await();
26              r.run();
27              r = null;
28          }}
29          catch (InterruptedException e) {}
30          finally { lock.unlock(); }
31      }
```

Controller – Attributes

```
1  import java.awt.*;
2  import java.awt.event.*;
3  import java.util.concurrent.locks.*;
4
5  public class MyController extends Thread
6                             implements PlayConstants,
7                                        Controller {
8      private Model  game;
9      private View   view;
10     final Lock      lock = new ReentrantLock();
11     final Condition cond = lock.newCondition();
```

"MyControllerNew.java"

Controller – Methoden

```
32      public void setup(Model m, View v) {
33          game = m; view = v;
34          start();
35      }
```

Controller – Methoden

```
13      Runnable r = null;
14      public void exec(Runnable r) {
15          if (lock.tryLock()) {
16              this.r = r;
17              cond.signal();
18              lock.unlock();
19          }
20      }
21      public void run() {
22          lock.lock(); try {
23          while (true) {
24              while (r == null)
25                  cond.await();
26              r.run();
27              r = null;
28          }}
29          catch (InterruptedException e) {}
30          finally { lock.unlock(); }
31      }
```