Algorithmen und Programmierung

11. Kapitel
Let's play

Prof. Matthias Werner
Professur Betriebssysteme

11.1 Einführung

- Um die bisher gelernten Fähigkeiten im Zusammenhang anzuwenden, soll in diesem Kapitel ein größeres Projekt betrachtet werden
- Wir entwickeln ein **Spiel**

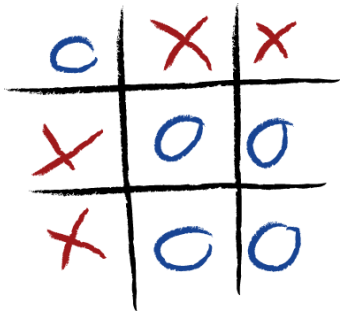
Achtung

In diesem Kapitel soll der Entwicklungs**vorgang** illustriert werden.

Deshalb werden auch vorläufige und falsche Lösungen präsentiert.

TicTacToe

- Spiel **Tic Tac Toe**
- **Regeln** (falls die jemand nicht kennt ☺):
  - Spielfeld ist ein Gitter mit 3×3 Feldern
  - Zwei Spieler setzen im Wechsel eigenes Symbol (meist Kreuz und Kreis) in ein Feld
  - Wer zuerst drei Symbole in einer Reihe oder Diagonalen hat, hat gewonnen
- Der Computer soll ein „Spieler" sein



Grobstruktur

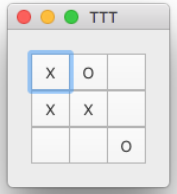
- TicTacToe ist ein rundenbasiertes Spiel
- Egal wer dran ist, es sollte immer der aktuelle Spielstand angezeigt werden
- Es wird bis zum Sieg oder Unentschieden gespielt
- Dies ergibt folgenden Grobalgorithmus:

Algorithm TTT-GENERAL

Input who will start → $turn$ ▷ $turn \in \{player, computer\}$
repeat
  if $turn = computer$ **then**
    Calculate move
    $turn \leftarrow player$
  else ▷ $turn = player$
    Input move
    $turn \leftarrow computer$
  end if
  Display move
until (somebody won) $\vee$ (draw)

Nutzerinterface

- Moderne Programme besitzen in der Regel eine graphische Nutzerschnittstelle (**GUI** - **graphical user interface**)



- Wir wollen aber ein Konsolenprogramm (Terminal) schreiben
- Wenn wir uns an den POSIX-Standard halten, läuft das Programm auf allen gängigen Betriebssystemen (sogar MS Windows 🙂) ➡ **Portabilität**

Nutzerinterface (Forts.)

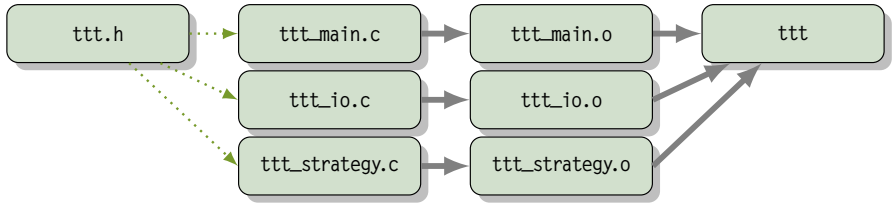
- Auf dem Terminal könnte das Spiel etwa so aussehen:

```
x|o|x
-+-+-
x|o|
-+-+-
o| |x
```

- Das ist nicht ganz so schön, aber erst einmal etwas einfacher und portabler
- Um eine spätere GUI nicht zu „verbauen", sollte das Nutzerinterface so weit wie möglich von der anderen Programmlogik getrennt sein

Modularisierung

- Es liegt nahe, das Projekt in drei Module zu zerlegen:
  - „`ttt_main.c`", das als Überbau fungiert und auch die `main`-Methode bereitstellt
  - „`ttt_io.c`", das sich um die Ein- und Ausgabe kümmert
  - „`ttt_strategie.c`", das für die Berechnung des Computerzuges verantwortlich ist
- Damit alle Module auf gemeinsame Typen und Interfaces zugreifen können, soll es eine gemeinsame Header-Datei „`ttt.h`" geben



Exkurs: Make

Exkurs: Make

- Wenn ein Projekt aus mehreren Modulen besteht, muss jedes einzeln zu einem Objektfile übersetzt (z.B. „`gcc -c <file.c>`") und anschließend alle Objektdateien (mit den Bibliotheken) verlinkt werden
  - „Händische Ausführung" ist umständlich
  - ➡ Batch-Job (Shellskript)
- Wird ein **einzelnes** Quellfile geändert, ist **nur** seine Übersetzung und das Linken zu wiederholen
  - ➡ Shellskript **ungeeignet**
- **Lösung: Buildsysteme**, die Abhängigkeiten berücksichtigen
- Betrachten das weitverbreitetste System: `make`

Exkurs: Make (Forts.)

- `make` ist ein kleines Hilfsprogramm, das andere Programme **in Abhängigkeit von bestimmten Bedingungen** ausführt
- Dazu interpretiert `make` eine (einfache und namenlose) Programmiersprache, die in einem **Makefile** beschrieben wird
  - Die Make-Sprache folgt dem **Konditionalmodell** (siehe Kapitel 2)
  - Entsprechend besteht ein Makefile aus **Regeln**
  - Regeln beschreiben **Abhängigkeiten**
  - Außerdem gibt es **Variabeln** und **Funktionen**

Exkurs: Make (Forts.)

Variablen

```
<name>:= <wert>        oder
<name>= <wert>
```

- **Beispiel:**

```
CC:= cc
```

- Zugriff mit `$(CC)` oder `${CC}`
- Variante ohne Doppelpunkt („:“) lässt Rekursion bei der Namensauflösung zu

Funktionen

```
$(<funktionsname> <arg 1>, <arg 2>, ...)
oder
${<funktionsname> <arg 1>, <arg 2>, ...}
```

- **Beispiele**:

```
SOURCEFILES= $(wildcard ttt_*.c)
OBJECTFILES= $(subst .c,.o,$(SOURCEFILES))
```

- Meist zur Textmanipulation

Exkurs: Make (Forts.)

- Beispiele für Funktionen:

`$(subst <from>,<to>, <text>)`
Ersetzt in <text> alle Vorkommen von <from> durch <to>

`$(addprefix <prefix>,<list>) / $(addsuffix <suffix>,<list>)`
Fügt jedem Wort der Liste <list> den Prä- bzw. Suffix hinzu

`$(join <list1>,<list2>)`
Fügt die Listen wortweise zu einer gemeinsamen Liste zusammen

`$(foreach <var>,<list>,<text>)`
Kreiert für jeden Wert in <list> eine neue Instanz von <text>, in der jedes Vorkommen von <var> durch den Listenwert ersetzt wird

`$(shell <command>)`
Führt den Befehl <command> in einer Shell aus

- Mehr in der Dokumentation von „`make`“

Exkurs: Make (Forts.)

Regeln

```
<zieldatei>: <quelldateien>↵
↦ <Befehle zur Generierung der
Zieldatei>
```

- **Beispiel:**

```
euclid.o: euclid.c
	$(CC) -c euclid.c -o euclid
```

- Regeln können auch für Klassen von Dateien geschrieben werden ➡ „implizite Regeln“ oder „Musterregeln“
  - Prozentzeichen („`%`“) dient dabei als „Joker“
  - Spezielle (**automatische**) Variablen wie „`$*`“ oder „`$@`“ beziehen sich auf (Teile von) Zielen oder Vorbedingungen
- **Beispiel:**

```
%.o: %.c
	$(CC) -c $< -o $@
```

Exkurs: Make (Forts.)

- Einige automatische Variablen für Regeln:
  - $@: Ziel einer Regel
  - $<: Name der ersten Vorbedingung
  - $?: Liste aller Vorbedingungen, die sich geändert haben
  - $^: Liste aller Vorbedingungen
  - ${@D} bzw. ${<D}: Verzeichnis des Ziels bzw. der ersten Vorbedingung
  - ${@F} bzw. ${<F}: Dateiname (ohne Verzeichnis) des Ziels bzw. der ersten Vorbedingung

Exkurs: Make (Forts.)

- Bei Aufruf von `make`

```
> make <ziel>
```

startet `make` alle Aktivitäten, die entsprechend der Datei „`Makefile`“ zur Aktualisierung von <ziel> notwendig sind

- Ob eine Datei aktuell ist, wird anhand des **Zeitstempels** der Datei entschieden
- Wenn <ziel> weggelassen wird, wird das Ziel der **ersten** Regel in „`Makefile`“ benutzt

Exkurs: Make (Forts.)

- Regeln werden entsprechend ihrer Abhängigkeiten abgearbeitet

```
# Example Makefile

a: b

c: e f
    generates c from e and f

b: c d
    generates b from c and d
```

- In diesem Fall bei `make a`:
  - „d“, „e“ und „f“ müssen vorhanden sein
  - Zuerst wird „c“ aus „e“ und „f“ generiert/aktualisiert
  - Dann wird „b“ aus „c“ und „d“ generiert/aktualisiert
  - Da es für „a“ Ausführungsteil gibt, ist hier die Abarbeitung beendet

Exkurs: Make (Forts.)

- Beispielsweise könnte die Datei „`Makefile`“ für unser TicTacToe-Projekt so aussehen:

```
PROG=ttt
CC=cc
CFLAGS= -std=c99 -pedantic -Wall -Wextra
LDFLAGS=

HEADER= $(wildcard ttt*.h)
SOURCEFILES= $(wildcard ttt_*.c)
OBJECTFILES= $(subst .c,.o,$(SOURCEFILES))

$(PROG): $(OBJECTFILES)
                $(CC) $(LDFLAGS) $(OBJECTFILES) -o $(PROG)

%.o: %.c
                $(CC) -c $(CFLAGS) $<

.PHONY: clean
clean:
                rm -f $(PROG)  *.o
```

11.3 Die Hauptschleife und Ein-/Ausgabe

Hauptschleife

- Betrachten Hauptschleife
- Bevor wir uns an den ersten C-Code machen, überlegen wir, ob noch mehr Eigenschaften gefragt sind
  - Erkennung, ob Gewinn oder Unentschieden
    ➡ vermutlich eng mit Strategie verwandt, sollte dort bereit gestellt werden
  - Abbruch auch während des Spiels
    ➡ muss in Hauptschleife ausgewertet werden
  - Mehrere Spiele in Serie
    ➡ Hauptschleife
- Verfeinern Grobstruktur

Hauptschleife

Algorithm TTT-GENERAL (2. VERSION)

repeat
  Input who will start → $turn$ ▷ $turn \in \{player, computer\}$
  repeat
    if $turn = computer$ **then**
      Calculate move
      $turn \leftarrow player$
    else ▷ $turn = player$
      Input move ▷ Abort is special move
      $turn \leftarrow computer$
    end if
    Display move
  until (somebody won) ∨ (draw) ∨ (abort)
  Input if another game?
until not another game

Hauptmodul

- Die Hauptschleife in C könnte dann etwa so aussehen

```
8   do {     /* main loop */
9     int player = ttt_x_or_o();               // select symbol (x or o)
10    bool computer_turn= (player == 'o');
11    ttt_init_board(board);                   // erase playground
12    int move, assessment;
13    do {  /* main loop for a game instance */
14      ttt_update_display(board);             // display board
15      move = computer_turn?          // computer's move?
16        ttt_calculate_move(board, ttt_opponent(player)):  // calculate
17        ttt_input_move(board);               // player's move
18      if (move != TTT_ABORT)                 // continue?
19        board[move] = computer_turn? // computer's move?
20          ttt_opponent(player) : player;     // apply move
21      computer_turn=!computer_turn;          // change the turn
22      assessment = ttt_won_or_draw(board,player); // game over?
23      if (assessment != TTT_UNDECIDED) {
24        ttt_update_display(board);           // display final board
25        ttt_output_result(assessment);       // print result
26      }
27    } while ((move != TTT_ABORT) && (assessment == TTT_UNDECIDED));
28  } while(ttt_another_game() == true);
```


Hauptmodul (Forts.)

- Man beachte, dass wir Funktionen nutzen, die bisher unbekannt sind
- Diese sollen z.T. von anderen Modulen zur Verfügung gestellt werden

Best Practice

Namen, die global sichtbar sind (z.B. nicht-statische Funktionen) sollten einen Präfix bekommen, der das Projekt und möglicherweise auch das Modul beschreibt.

Auf diese Weise wird ein Namenskonflikt unwahrscheinlicher.

- In unserem Fall: „`ttt_`“ als Präfix

Datenstruktur

- Wie sollen die Daten in C dargestellt werden?
- Naheliegend für Spielsituation: multidimensionales Array (`int field[3][3];`)
- **Aber**:
  - Stets zwei Indizes notwendig
  - ➡ Suche braucht dann stets zwei Schleifen
  - **Außerdem**: Situation soll vermutlich an Funktion übergeben werden ➡ Array-Zerfall bei geschachteltem Array noch unübersichtlicher

➡ Nutzen „normales" Array (`int board[9]`, bzw. `typedef int ttt_boear_t[NUMBER_OF_FIELDS];`)

- Feldzuordnung:

0	1	2
3	4	5
6	7	8

Interface

- Deklarationen von Typen und Konstanten kommen in das gemeinsame Header-File

```
2 #include<stdbool.h>
3
4 /* general constants */
5 typedef enum {TTT_ABORT=-1, NUMBER_OF_FIELDS=9} ttt_constant_t;
6 /* game outcomes */
7 typedef enum {TTT_PLAYER_WINS, TTT_COMPUTER_WINS, TTT_DRAW, TTT_UNDECIDED}
      ttt_result_t;
8 typedef int ttt_board_t[NUMBER_OF_FIELDS];
```

- ... genauso wie die Prototypen der (noch zu schreibenden) C-Funktion, die aus anderen Modulen aufgerufen werden

Hauptmodul

- Die beiden verbleibenden Funktionen im Hauptmodul sind relativ simpel:

```
33 void ttt_init_board(ttt_board_t f)
34 {
35   /* empties every field */
36   int i;
37   for(i=0;i<NUMBER_OF_FIELDS;i++)
38     f[i]=' ';
39 }
40
41 char ttt_opponent(char symbol)
42 {
43   switch(symbol)
44     {
45     case 'x': return 'o';
46     case 'o': return 'x';
47     default: return ' ';
48     }
49 }
```


Ein- und Ausgabe

- Es ist häufig so, dass das Nutzerinterface am aufwändigsten ist
- In diesem Fall nicht ➡ Textinterface
- **Problem**: Trotzdem etwas Bequemlichkeit erzielen
- **Beispiel**: Bildschirm löschen
  - Rausscrollen ➡ Fenstergröße muss bekannt sein
  - Unix-Befehl „`clear`" ➡ **sehr** langsam und nicht portabel
  - ANSI/VT100-Steuerzeichen ➡ auch nicht 100% portabel
  - Beste Lösung: Nutzung von portablen Bibliotheken
    - Hier z.B.: `ncurses` (für Windows auch: `pdcurses`)
  - Wir nutzen für TTT der Einfachheit halber aber die Lösung mit den Steuerzeichen 🙂

```
1 /* Use VT100 ESC code to clean terminal */
2 static void ttt_clean_terminal(void)
3 {
4   printf( "%c[2J", 27 );
5 }
```

Ein- und Ausgabe (Forts.)

- Die Bibliotheksfunktion „`getchar()`“ liest einen Tastendruck ein und gibt den Integer(!)wert zurück
- **Problem**:
- Das Terminal gibt eine Eingabe erst weiter, wenn <RETURN> gedrückt wurde
- Das Zeichen „↵“ ist Teil des Eingabestroms
- **Lösung**:
- Die Funktion wird zweimal aufgerufen und das zweite Ergebnis verworfen
- Beispiel:

```
74 bool ttt_another_game()
75 {
76   int input;
77   printf("Do you want to play another game [y/n] ->");
78   input=getchar(); getchar();
79   if ((input=='Y') || (input=='y'))
80     return true;
81   else
82     return false;
83 }
```


Ein- und Ausgabe (Forts.)

- Bei der Zugeingabe überprüfen wir gleich die Korrektheit der Eingabe:

```
44 int  ttt_input_move(const ttt_board_t board)
45 {
46   int input;
47   printf("\nPlease enter the number of the field you want to occupy (0 for
         abort)\n");
48   ttt_display_board(numberfield);
49   printf("Your move ->");
50   do{
51     do {
52       input=getchar(); getchar();
53     } while ((input<'0') || (input>'9'));
54     if (input=='0') return TTT_ABORT;
55     input=input-'1';   // character => integer index
56   } while (board[input]!=' ');
57   return input;
58 }
```


Ein- und Ausgabe (Forts.)

- Für die Ausgabe wird ein wenig „ASCII-Art“ gezeichnet:

```
void ttt_display_board(const ttt_board_t
     board)
{
  for(int i=0;i<3;i++){
    if(i)                  // not for first row
      printf("\n   -+-+-");
    printf("\n   ");
    for(int j=0;j<3;j++){
      if(j) printf("|"); // not for first
            column
      printf("%c",board[3*i+j]);
    }
  }
  printf("\n");
}
```

- Das sieht dann z.B. so aus:

```
o|o|x
-+-+-
x|x|o
-+-+-
o|x|
```


11.4 Strategie

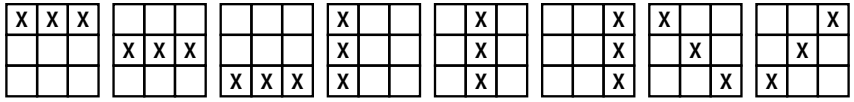
- Zunächst entwerfen wir eine Grobstrategie
- Diese kann später verfeinert werden

Algorithm TTTCHOOSEMOVE (1. Version)

```
if Can I win? then
    Choose winning move
else
    if Can opponent win? then
        Block winning move
    else
        if Can I win next time? then
            Prepare win
        else
            Whatever
        end if
    end if
end if
```

Gewinnsituationen

- **Ziel:** Funktion, die Siegeszug bestimmt
- Es gibt nur acht verschiedene Möglichkeiten zu gewinnen:



- Eine solche Gewinnmöglichkeit soll „**Triple**“ genannt werden
- Ein Gewinn mit einem Triple ist möglich, wenn zwei der Triple-Felder mit dem eigenen Symbol besetzt sind und das dritte Feld frei ist
- Dies ergibt $8 \cdot 3 = 24$ Kombinationen für „`Can I win?`“

Gewinnsituationen (Forts.)

```c
/* NOT in final version */
int winning_move(const ttt_board_t f, char s)
{
  /* triplet (0,1,2)  */
  if((f[0]==s)&&(f[1]==s)&&(f[2]==' ')) return 2;
  if((f[1]==s)&&(f[2]==s)&&(f[0]==' ')) return 0;
  if((f[0]==s)&&(f[2]==s)&&(f[1]==' ')) return 1;

  /* triplet (3,4,5)  */
  if((f[3]==s)&&(f[4]==s)&&(f[5]==' ')) return 5;
  if((f[4]==s)&&(f[5]==s)&&(f[3]==' ')) return 3;
  if((f[3]==s)&&(f[5]==s)&&(f[4]==' ')) return 4;

                                        :
                                        :

  /* triplet (2,4,6)  */
  if((f[2]==s)&&(f[4]==s)&&(f[6]==' ')) return 6;
  if((f[4]==s)&&(f[6]==s)&&(f[2]==' ')) return 2;
  if((f[2]==s)&&(f[6]==s)&&(f[4]==' ')) return 4;
  return -1;
}
```


Gewinnsituationen (Forts.)

- Eine solche Funktion (obgleich korrekt) ist unnötig groß und somit fehleranfällig
- **Idee**: Nutzung von Daten und Indirektionen

```c
/* NOT in final version */
enum {NUMBER_TRIPLES=8, NONE=-1};
typedef int ttt_triple_t[3];
const ttt_triple_t triples[NUMBER_TRIPLES]={
  {0,1,2},{3,4,5},{6,7,8},{0,3,6},{1,4,7},{2,5,8},{0,4,8},{2,4,6}
};

int winning_move(const ttt_board_t f,char s) {
  for(int i=0; i<NUMBER_TRIPLES;++i)
    for(int j=0; j<3; ++j) {
        int idx2=(j+1)%3; /* 3 => 0 */
        int idx3=(j+2)%3; /* 3 => 0; 4 => 1 */
        if ((f[triples[i][j]]==' ') &&
            (f[triples[i][idx2]]==s) && (f[triples[i][idx3]]==s))
          return triples[i];
      }
  return NONE;
}
```


Gewinnsituationen (Forts.)

- Für den Schritt „`Can opponent win?`“ könnte die Funktion noch einmal genutzt werden:

```c
/* NOT in final version */
int block_opponent_winning_move(const ttt_board_t f,char s)
{
  return winning_move(f,ttt_opponent(s));
}
```

- Damit zeichnet sich eine Struktur ab: Es werden mehrere Funktionen benötigt, die die Stellung bewerten, ähnlich zu `winning_move()`
- **Idee**: Allgemeinere Bewertungsfunktion

Allgemeine Bewertung

- Was könnte von Interesse sein?
  - Triple gewonnen ➡ Festellung des Spielendes:

X	·	·
·	X	·
·	·	X

  - Triple kann zum Sieg führen ➡ `winning_move()`

	·	·
·	X	·
·	·	X

  - Triple „bisher meins“ ➡ könnte Gegner zwingen

X	·	·
·		·
·	·	

  - Triple leer

	·	·
·		·
·	·	

  - Triple ist nutzlos

	·	·
·	O	·
·	·	X

oder

O	·	·
·	X	·
·	·	X

oder

O	·	·
·	X	·
·	·	O

- Die ersten drei Bewertungen entsprechend für gegnerisches Symbol

Allgemeine Bewertung (Forts.)

- Wie können verschiedene Bewertungen nach einem gemeinsamen Schema durchgeführt werden?
- **Idee**: Nutzung von Primzahlen ($\neq 3$)
  - Eigenes Symbol zählt 2
  - Gegnersymbol zählt 5
  - Leeres Feld zählt 0
- Felder eines Triples werden addiert ➡
  - Eigener Sieg ➡ $\sum = 6$
  - Sieg Gegner ➡ $\sum = 15$
  - Eigener Sieg möglich ➡ $\sum = 4$
  - Gegnerischer Sieg möglich ➡ $\sum = 10$
  - Mein Triple ➡ $\sum = 2$
  - Gegner-Triple ➡ $\sum = 5$
  - Leeres Triple ➡ $\sum = 0$
  - Nutzloses Triple ➡ $\sum = 7 \vee \sum = 9 \vee \sum = 12$

Allgemeine Bewertung (Forts.)

- Bei einem solchen Ansatz muss jedes Triple nur einmal evaluiert werden
- **Nachteil**: Es muss anschließend **im** Triple nach dem leeren Feld gesucht werden
  ➡ nehmen wir in Kauf, da nur einmal ausgeführt

```c
enum {NUMBER_TRIPLES=8, I_KEY=2, OPP_KEY=5}; // more, if needed...

typedef int ttt_triple_t[3];
const ttt_triple_t triples[NUMBER_TRIPLES]={
  {0,1,2},{3,4,5},{6,7,8},{0,3,6},{1,4,7},{2,5,8},{0,4,8},{2,4,6}
};

int ttt_evaluate(const ttt_board_t field, int tnr, int my_symbol) {
  int val=0;
  int opp_symbol=ttt_opponent(my_symbol);
  for (int i=0; i<3; ++i) {
    if (field[triples[tnr][i]]==my_symbol)
      val+=I_KEY;
    else if(field[triples[tnr][i]]==opp_symbol)
      val+=OPP_KEY;
  }
  return val;
}
```


Allgemeine Bewertung (Forts.)

- Die Computerstrategie sähe unter Nutzung von `ttt_evaluate()` bis jetzt so aus:

```c
static int winning_move(const ttt_board_t board,
                        const ttt_tripleval_t eval, int who) {
  for (int i=0; i<NUMBER_TRIPLES; i++)
    if (eval[i]==who)              // find winning triple
      for(int j=0;j<3;j++)         // find the empty place
        if (board[triples[i][j]]==' ') return triples[i][j];
  return NONE;
}

int  ttt_calculate_move(const ttt_board_t board, char symbol) {
  ttt_tripleval_t eval;
  for (int i=0; i< NUMBER_TRIPLES; ++i)
    eval[i]=ttt_evaluate(field,i,symbol);
  int move=winning_move(board,eval,I_CANWIN);
  if (move!=NONE) return move;
  move=winning_move(board,eval,OPP_CANWIN);
  if (move!=NONE) return move;
      /* yet to implement */
  return NONE;
}
```

Gewinn vorbereiten

- Betrachten wir noch einmal die Grobstrategie

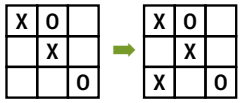
Algorithm TTTCHOOSEMOVE

```
if Can I win? then                                  ▷ Done.
    Choose winning move                             ▷ Done.
else
    if Can opponent win? then                       ▷ Done.
        Block winning move                          ▷ Done.
    else
        if Can I win next time? then
            Prepare win
        else
            Whatever
        end if
    end if
end if
```

- Wie kann ein Computer-Gewinn im **nächsten** Zug vorbereitet werden?

Gewinn vorbereiten (Forts.)

- **Idee**: **Zwei** gewinnbringende Triples vorbereiten ➡ **Gabelung**
- **Beispiel** (Computer hat x):



- In diesem Fall kann der o-Spieler nur **ein** Triple blockieren
- Das gemeinsame Feld soll **Achsfeld** genannt werden

Gewinn vorbereiten (Forts.)

- Um ein Achsfeld zu finden, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein
  - Es muss zwei Triples geben, die bisher ausschließlich dem Computer gehören ➡ Bewertung: 2
  - Diese müssen ein **gemeinsames leeres** Element besitzen
- **Vorgehen**:
  - Wir betrachten alle acht Gewinntripel und untersuchen, ob es mit 2 bewertet wurde
  - Jedes Spielfeld, das in jeweils einem dieser Tripel **leer** vorkommt, erhält einen Punkt
  - Ein Spielfeld, das so mehr als einen Punkt erhalten hat, ist ein Achselement

Gewinn vorbereiten (Forts.)

- Im Array `singles[NUMBER_OF_FIELDS]` werden die „Punkte" gezählt

```
1  int forking_move(const ttt_playground_t field, const ttt_tripleval_t eval)
2  {
3    int i,j=0;
4    int singles[NUMBER_OF_FIELDS]={0,0,0,0,0,0,0,0,0};
5    for (i=0; i<NUMBER_TRIPLES; ++i)
6      {
7        if (eval[i]==I_KEY)
8          {
9            for(j=0;j<3;j++)
10             if (field[triples[i][j]]==' ')
11               ++singles[triples[i][j]];
12         }
13     }
14   for(i=0; i< NUMBER_OF_FIELDS; ++i)
15     if (singles[i]>=2) return i;
16   return NONE;
17 }
```

Offensive

- Angenommen, unsere Strategie hat bisher keinen Zug ergeben
- ~~Idee~~: Wie schon beim Sieges-Zug: Strategie spiegeln und verhindern
- **Problem**: Gegner könnte zwei Achselemente besitzen

Algorithm TTTChooseMove (2nd version)

```
if Can I win? then
    Choose winning move
else
    if Can opponent win? then
        Block winning move
    else
        if Can I fork? then
            Choose pivot element
        else
            if Can opponent fork? then
                Block opponent's pivot element
            else
                Whatever
            end if
        end if
    end if
end if
```


Offensive (Forts.)

- **Alternative**: In die Offensive gehen
  - ➡ Zwingen, kommenden Sieg zu blockieren
- **Problem**: Gegner darf nicht in eine Gabel gezwungen werden
- **Beispiel** (aus Sicht von „x"):
O	X	
	O	
		X
  - Es darf nicht auf Feld 8 gesetzt werden, weil dies zu gegnerischer Gabel führt

➡

O	X	
	O	
O	X	X

Offensive (Forts.)

- Die Strategie sieht jetzt so aus:

Algorithm TTTChooseMove (3rd version)

```
if Can I win? then
    Choose winning move
else
    if Can opponent win? then
        Block winning move
    else
        if Can I fork? then
            Choose pivot element
        else
            if Can I force without opponent's fork? then
                Choose forcing move
            else
                Move to best available place
            end if
        end if
    end if
end if
```


Offensive (Forts.)

- Um den Offensiv-Zug zu finden, untersuchen wir zunächst, wohin wir **nicht** ziehen dürfen ➡ Verbleibendes Feld ist Achselemente des Gegners
- Dann suchen wir Triples, in denen **genau ein** eigenes (und **kein** gegnerisches) Zeichen ist ➡ Bewertung: 2
- Wenn dieses Triple **kein** gegnerisches Achselement enthält, wähle ein leeres Feld als Offensivzug
- Sonst wähle ein Achselement des Gegners

Offensive (Forts.)

```
1  int forcing_move(const ttt_board_t board, const ttt_tripleval_t eval) {
2    int opp_singles[NUMBER_OF_FIELDS];
3    for (int i=0; i<NUMBER_TRIPLES; ++i) {
4      if (eval[i]==OPP_KEY) {
5        for(int j=0;j<3;j++)
6          if (board[triples[i][j]]==' ')
7            ++opp_singles[triples[i][j]];
8      }
9    }
10   for (int i=0; i<NUMBER_TRIPLES; ++i) {
11     if (eval[i]==I_KEY) {
12       if((opp_singles[triples[i][0]]<=1) &&
13          (opp_singles[triples[i][1]]<=1) &&
14          (opp_singles[triples[i][2]]<=1))
15         for(j=0;j<3;j++)
16           if (board[triples[i][j]]==' ')
17             return triples[i][j];
18       for(j=0;j<3;j++)
19         if(opp_singles[triples[i][j]]>1)
20           return triples[i][j];
21     }
22   }
23   return NONE;
24 }
```


Was bleibt

- Wenn alles andere fehlschlägt, wählen wir irgendein Feld
- Unterschiedliche Wertigkeiten: Mitte ➡ Ecke ➡ Rand

```
1 int best_remaining_move(const ttt_board_t board)
2 {
3   const int best[]={4,0,2,6,8,1,3,5,7};
4
5   for(int i=0; i<NUMBER_OF_FIELDS; ++i)
6     if(board[best[i]]==' ') return best[i];
7   return NONE; /* Should never happen */
8 }
```


Gesamtstrategie

- Mit Hilfe der beschriebenen Funktionen der Zug relativ berechnet werden

```
120 int  ttt_calculate_move(const ttt_board_t
        field, char symbol)
121 {
122   ttt_tripleval_t eval;
123   for (int i=0; i< NUMBER_TRIPLES; ++i)
124     eval[i]=evaluate(field,i,symbol);
125   int move=winning_move(field,eval,I_CANWIN);
126   if (move!=NONE) return move;
127   move=winning_move(field,eval,OPP_CANWIN);
128   if (move!=NONE) return move;
129   move=forking_move(field,eval);
130   if (move!=NONE) return move;
131   move=forcing_move(field,eval);
132   if (move!=NONE) return move;
133   return best_remaining_move(field);
134 }
```

- Nach „außen" muss nur `ttt_calculate_move` (und die noch nicht betrachtete Funktion `ttt_won_or_draw`) sichtbar sein
- Deshalb deklarieren wir alle „internen" Funktionen als `static`

Spielende

- Die Entscheidung über das Spielende funktioniert ähnlich zur Zugentscheidung

```
136 ttt_result_t ttt_won_or_draw(const
        ttt_board_t board, char symbol)
137 {
138   bool undecided=false;
139   for(int i=0; i<NUMBER_TRIPLES; i++) {
140     int state=evaluate(board,i,'x');
141     switch (state) {
142     case I_WIN:
143       if (symbol=='x') return
              TTT_PLAYER_WINS;
144       else return TTT_COMPUTER_WINS;
145     case OPP_WIN:
146       if (symbol=='o') return
              TTT_PLAYER_WINS;
147       else return TTT_COMPUTER_WINS;
148       case DRAW_I:   /* trough */
149     case DRAW_OPP: /* trough */
150       break;
151     case DRAW: /* trough */
152     default:
153       undecided=true;
154     }
155   }
156   if (undecided) return TTT_UNDECIDED;
157   else return TTT_DRAW;
158 }
```

Fertig!

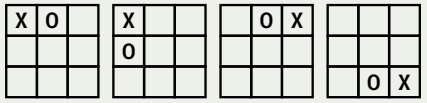
- Damit ist das Tic-Tac-Toe-Programm im Wesentlichen fertiggestellt
- Im Anhang **??** des Skript ist der Code des kompletten Programms dokumentiert

Alternativen

- Die hier dargestellte Strategie stellt **eine** Möglichkeit dar
- **Alternativen**:
  - Da es „nur" 255168 verschiedene Spielverläufe gibt, könnte man alle vorher berechnen und jeweils einen Zug aussuchen, der zu einen günstigen Ausgang führt
  - Durch Transformation (Spiegelung und/oder Drehung) können die Endstellungen auf 138 verschiedene Möglichkeiten reduziert werden, so dass man den Zug so wählt, dass er zu einer günstigen Endstellung passt

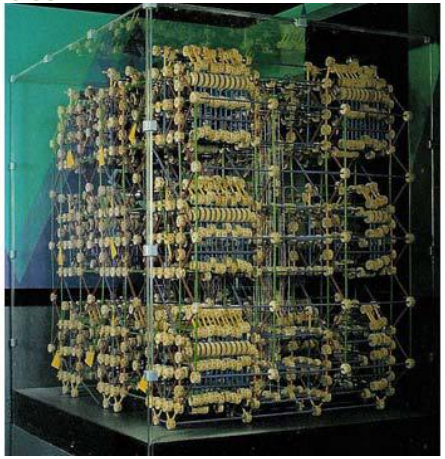
Beispiel

Folgende Situationen sind äquivalent:



etc.

TicTacToe-Computer



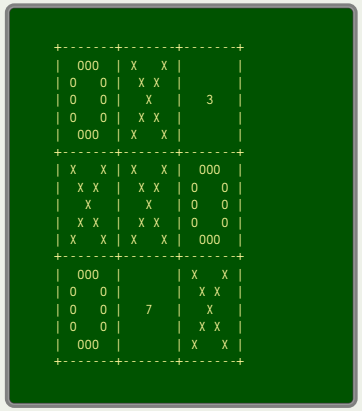
- Der TicTacToe-Computer am M.I.T., ausschließlich aus Tinkertoy™-Bausteinen gebaut
- Er arbeitet mit der zweiten Alternativstrategie

Aufgaben

Aufgabe 11.1

Erweitern Sie das TicTacToe-Programm um folgende Elemente:

- Ändern Sie die Ausgabe so, dass das Spielfeld beispielsweise so wie auf der Abbildung aussieht!
- Alternativ: Schreiben Sie eine GUI!
- Ermöglichen Sie, den Spielstand in eine Datei zu speichern und später wieder rückzulesen!
- Gestalten Sie den Spielverlauf durch Zufallselemente (z.B. mit der Funktion `random()` aus der Standardbibliothek) variabler, ohne der Strategie zu schaden!



Aufgaben (Forts.)

Aufgabe 11.2

Machen Sie sich mit der „Texas Hold'em"-Variante von Poker vertraut (`http://de.wikipedia.org/wiki/Texas_Hold'em`).

a) Entwickeln Sie einen Algorithmus, der vor/nach dem **Flop**, nach dem **Turn** und nach dem **River** aus den offenen und Ihren Handkarten berechnet, welche Gewinnkombinationen **sicher** und welche **möglich** sind!

Beispiel:

Hand:  Tisch: 

„Ein Paar" ist sicher, „zwei Paare", „Drillinge", „Full House" oder „Poker" ist möglich, alles andere nicht.

b) Erweitern Sie Ihren Algorithmus/Ihr Programm so, dass die **Wahrscheinlichkeiten** für eine Gewinnkombination ausgegeben wird!