Kapitel 2

Prozesse und Java-Threads

Prof. Dr. Rolf Hennicker

05.05.2011

2.1 Prozessbegriff

Prozess:
Programm in Ausführung

Prozesszustand (zu einem Zeitpunkt):
Wird charakterisiert durch die Werte von

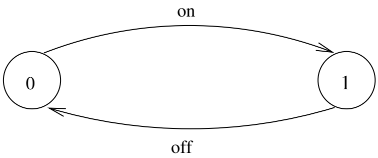
- explizíten Variablen (vom Programmierer deklariert)
- impliziten Variablen (Befehlszähler, organisatorische Daten)

Zustandsübergang (eines Prozesses):
Wird von einer Aktion bewirkt. Aktionen sind elementar, d.h. nicht unterbrechbar.

Bemerkung:
Im Folgenden abstrahieren wir von den konkreten Zustandsdarstellungen, d.h. von den konkreten Werten der expliziten und impliziten Variablen.

2.2 Modellierung durch endliche Zustandsmaschinen

Beispiel: Lichtschalter als Zustandsmaschine



Aktionsfolge (Ablauf, “trace“): on $\rightarrow$ off $\rightarrow$ on $\rightarrow$ off $\rightarrow \cdots$

Konvention:

Zustände werden in der graphischen Darstellung von 0 beginnend durchnummeriert.
0 ist der Anfangszustand.

Beachte:

- Wir betrachten nur Prozesse mit endlich vielen Zuständen und endlicher Menge von Aktionen.
- Das Verhalten eines Prozesses kann aber unendlich sein (nicht terminierend).

Die hier betrachteten Zustandsmaschinen sind formal
endliche markierte Transitionssysteme ("labelled transition systems"), abgekürzt LTS.

Definition:

Sei `States` eine universelle Menge von Zuständen und `ACT` eine universelle Menge von Aktionen. Ein endliches LTS ist ein Quadrupel

$$(\mathsf{S}, \mathsf{A}, \Delta, \mathsf{q}),$$

wobei

- $\mathsf{S} \subseteq \texttt{States}$ eine endliche Menge von Zuständen ist,
- $\mathsf{A} \subseteq \texttt{ACT}$ eine endliche Menge von Aktionen ist,
- $\Delta \subseteq \mathsf{S} \times \mathsf{A} \times \mathsf{S}$ eine Übergangsrelation ist,
- $\mathsf{q} \in \mathsf{S}$ ein Anfangszustand ist.

Beispiel: Lichtschalter (formal)

2.3 Prozessausdrücke

Prozesse werden kompakt beschrieben durch Ausdrücke der Sprache FSP ("finite state processes") [Magee, Kramer].

FSP orientiert sich

- syntaktisch an CSP [Hoare]
- semantisch an CCS [Milner]

Die *Semantik* eines Prozessausdrucks E wird durch Übersetzung in ein LTS gegeben.

Im Folgenden werden Prozessausdrücke induktiv definiert.
Dabei wird jedem Prozessausdruck E eine Menge von freien Variablen FV(E) zugeordnet.

Konstante Prozessausdrücke und Prozessidentifikatoren

Sei PID eine universelle Menge von Prozessidentifikatoren (Bezeichnern).

Definition:

1. STOP ist ein (konstanter) Prozessausdruck mit $\mathrm{FV}(\mathrm{STOP}) = \emptyset$.
2. Jeder Prozessidentifikator $P \in \mathrm{PID}$ ist ein Prozessausdruck mit $\mathrm{FV}(P) = \{P\}$.

Wirkung:

1. STOP bezeichnet den Prozess, der keine Aktion ausführen kann.
2. Die Wirkung von $P \in \mathrm{PID}$ kann nur im Zusammenhang mit einer Prozessdeklaration "$P = E$." beschrieben werden (vgl. unten).

Aktionspräfix

Definition:

Ist $a \in \mathtt{ACT}$ eine Aktion und E ein Prozessausdruck,
dann ist das *Aktionspräfix* $(a \rightarrow E)$ ebenfalls ein Prozessausdruck
mit $FV((a \rightarrow E)) = FV(E)$.

Statt von Prozessausdrücken sprechen wir häufig kurz von „Prozessen“.

Wirkung:

Der Prozess $(a \rightarrow E)$ engagiert sich zunächst in die Aktion a
und verhält sich dann wie E.

Beispiele:

Auswahl

Definition:

Sind $a_1, \ldots, a_n$ Aktionen und $E_1, \ldots, E_n$ Prozessausdrücke, dann ist $(a_1 \to E_1 \mid \ \ldots \ \mid a_n \to E_n)$ ein Prozessausdruck mit $FV((a_1 \to E_1 \mid \ \ldots \ \mid a_n \to E_n)) = FV(E_1) \cup \ldots \cup FV(E_n)$.

Wirkung:

Der Prozess engagiert sich entweder

- in a_1 und verhält sich danach wie E_1 oder
- in a_2 und verhält sich danach wie E_2 oder

  $\vdots$
- in a_n und verhält sich danach wie E_n.

Beispiel:

Prozessausdrücke mit Rekursion

Werden nur als Hilfskonstrukt zur Definition der Semantik von Prozessidentifikatoren P im Kontext einer rekursiven Prozessdeklaration "$\mathsf{P} = \mathsf{E}$." benötigt.

Definition:

Sei P ein Prozessidentifikator und E ein Prozessausdruck, so dass $\mathsf{P} \in \mathsf{FV}(\mathsf{E})$.
Dann ist $\mathsf{rec}(\mathsf{P} = \mathsf{E})$ ein Prozessausdruck mit $\mathsf{FV}(\mathsf{rec}(\mathsf{P} = \mathsf{E})) = \mathsf{FV}(\mathsf{E}) \setminus \{\mathsf{P}\}$.

(Rekursive) Prozessdeklarationen

z.B. SWITCH $=$ (on $\rightarrow$ off $\rightarrow$ SWITCH).

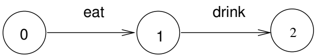
Definition:
Ist P ein Prozessidentifikator und E ein Prozessausdruck, dann ist

$$P = E.$$

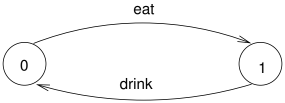
eine *Prozessdeklaration*. Die Deklaration ist *rekursiv*, wenn P in dem Ausdruck E frei vorkommt, d.h. $P \in FV(E)$.

Beispiele:

1. PERS $=$ (eat $\rightarrow$ drink $\rightarrow$ STOP).
   Das LTS von PERS ist gegeben durch das LTS des Prozessausdrucks (eat $\rightarrow$ drink $\rightarrow$ STOP).



2. PERSON $=$ (eat $\rightarrow$ drink $\rightarrow$ PERSON).
   Das LTS von PERSON ist gegeben durch das LTS des Prozessausdrucks rec(PERSON $=$ (eat $\rightarrow$ drink $\rightarrow$ PERSON)).



Äquivalente Prozessbeschreibung mit lokalen Prozessdeklarationen:

PERSON = EATING,
EATING = (eat $\to$ DRINKING),
DRINKING = (drink $\to$ PERSON).

Beispiel (DRINKS):
DRINKS = (red $\to$ coffee $\to$ DRINKS | blue $\to$ tea $\to$ DRINKS).

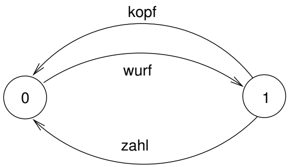
Zugehöriges LTS:

Bemerkungen:

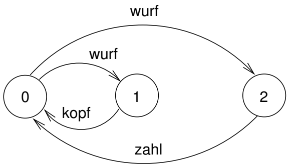
- blue, red $\widehat{=}$ Input-Aktionen (der Umgebung)
- coffee, tea $\widehat{=}$ Output-Aktionen
- Häufig beginnen die Alternativen einer Auswahl mit Input–Aktionen.
- Im Beispiel DRINKS gibt es unendlich viele mögliche Abläufe ("traces"):
  - red $\rightarrow$ coffee $\rightarrow$ red $\rightarrow$ coffee $\rightarrow \cdots$
  - red $\rightarrow$ coffee $\rightarrow$ blue $\rightarrow$ tea $\rightarrow$ blue $\rightarrow$
    $\ldots$
  - blue $\rightarrow$ tea $\rightarrow$ red $\rightarrow$ coffee $\rightarrow \cdots$
  - $\ldots$
  - $\ldots$

Beispiel (Münzwurf):

$$\text{MÜNZE1} = \quad (\text{wurf} \rightarrow \quad (\text{kopf} \rightarrow \text{MÜNZE1} \mid \text{zahl} \rightarrow \text{MÜNZE1})).$$



$$\text{MÜNZE2} = \quad (\text{wurf} \rightarrow \text{kopf} \rightarrow \text{MÜNZE2} \mid \text{wurf} \rightarrow \text{zahl} \rightarrow \text{MÜNZE2}).$$

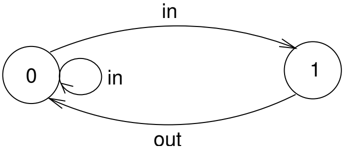


Beachte:

Beide Prozesse haben dieselben Ablauffolgen, jedoch verschiedene (nicht äquivalente) LTSe.

Beispiel (Fehlerhafter Übertragungskanal):

$$\mathsf{F\_CHAN} = \quad (\mathsf{in} \to \mathsf{out} \to \mathsf{F\_CHAN} \mid \mathsf{in} \to \mathsf{F\_CHAN}).$$



Der Prozess ist nichtdeterministisch!

Im Folgenden betrachten wir wichtige abkürzende Schreibweisen für Prozessausdrücke.

Indizierte Aktionen und Prozesse

Indizierte Aktionen:

Können zur Modellierung von endlich vielen Daten (als Parameter von Aktionen) verwendet werden.

Beispiel (Korrekter Übertragungskanal für Daten):

CHAN $=$ (in[i:0..2] $\rightarrow$ out[i] $\rightarrow$ CHAN).

ist Kurzschreibweise für:

$$\begin{array}{ll} \text{CHAN} = & (\text{in}[0] \rightarrow \text{out}[0] \rightarrow \text{CHAN} \\ & \mid \text{in}[1] \rightarrow \text{out}[1] \rightarrow \text{CHAN} \\ & \mid \text{in}[2] \rightarrow \text{out}[2] \rightarrow \text{CHAN}). \end{array}$$

Beachte:

Der Indexbereich muss beschränkt sein.

Indizierte Prozesse:

Dienen zur Vereinfachung von Prozessdeklarationen (mit lokalen Prozessen).

Beispiel (Kanal):

CHAN $=$ (in[i:0..2] $\rightarrow$ TRANSMIT[i]),
TRANSMIT[i:0..2] $=$ (out[i] $\rightarrow$ CHAN).

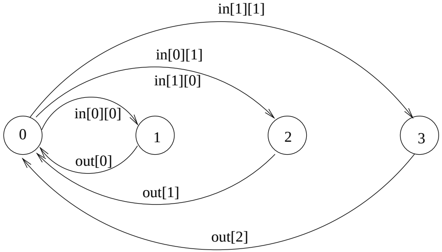
steht für:

Mehrfache Indizes, arithmetische Ausdrücke und Deklarationen von Konstanten und Bereichen:

Beispiel (SUM):

const N $=$ 1
range T $=$ 0..N
range R $=$ 0..2*N

SUM	$=$	(in[a:T][b:T] $\rightarrow$ TOTAL[a$+$b]),
TOTAL[s:R]	$=$	(out[s] $\rightarrow$ SUM).



Prozesse mit bewachten Aktionen

$$(\text{when B a} \rightarrow \text{E} \mid \text{b} \rightarrow \text{F}).$$

Die Aktion a kann nur dann gewählt werden, wenn die Bedingung B erfüllt ist.

Bemerkung:

- Bewachte Aktionen können bei der Deklaration indizierter, lokaler Prozesse verwendet werden:

  $$\text{P[i:T][j:R]} = (\text{when B a} \rightarrow \text{E} \mid \ldots)$$

- Die Bedingung B darf an Variablen höchstens die Indizes der Prozessdeklaration und formale Parameter (von parametrisierten Prozessen) enthalten.
- Prozessdeklarationen mit bewachten Aktionen sind Kurzschreibweisen für Prozessdeklarationen ohne bewachte Aktionen.

Beispiel (Countdown):

$$
\begin{array}{lcl}
\text{COUNTDOWN} & = & (\text{start} \rightarrow \text{CD[2]}), \\
\text{CD[i:0..2]} & = & (\text{when}\,(\text{i} > 0)\,\text{tick} \rightarrow \text{CD[i-1]} \\
 & & \mid \text{when}\,(\text{i} == 0)\,\text{beep} \rightarrow \text{STOP} \\
 & & \mid \text{stop} \rightarrow \text{STOP}).
\end{array}
$$

ist Kurzschreibweise für:

Parametrisierte Prozesse

- Parametrisierte Prozesse erlauben eine generische Definition von Prozessen.
- Der Prozessparameter muss bei der Deklaration einen “Defaultwert“ erhalten (sonst kein endliches LTS).
- Der Prozess kann jedoch für einen beliebigen aktuellen Parameter in einer anderen Prozessdeklaration aufgerufen werden.

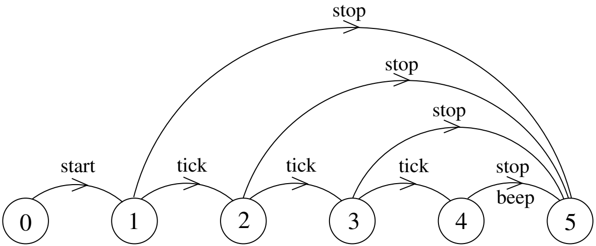
Beispiel (COUNTDOWN(N)):

$$
\begin{array}{lcl}
\text{COUNTDOWN(N=2)} & = & (\text{start} \rightarrow \text{CD[N]}), \\
\text{CD[i:0..N]} & = & (\text{when}\,(\text{i} > 0)\,\text{tick} \rightarrow \text{CD[i-1]} \\
 & & \mid \text{when}\,(\text{i} == 0)\,\text{beep} \rightarrow \text{STOP} \\
 & & \mid \text{stop} \rightarrow \text{STOP}).
\end{array}
$$

Beachte:

Parameter werden nur in *globalen* Prozessdeklarationen verwendet,
Indizes nur in *lokalen* Prozessdeklarationen.

Anwendung: MY_COUNTDOWN = COUNTDOWN(3).



Starke Äquivalenz von LTSen

Es bezeichne $\mathcal{T}$ die Menge aller (endlichen) LTSe über `States` und `ACT`.

Definition (Starke Bisimulation):

Seien T, T' $\in \mathcal{T}$, T = (S, A, Δ, q_0), T' = (S', A', Δ', q_0') mit A = A'.
Eine **starke Bisimulation** zwischen T und T' ist eine Relation R $\subseteq$ S $\times$ S',
so dass für alle (q, q') $\in$ R und für alle a $\in$ `ACT` gilt:

(1) $(q \xrightarrow{a} p) \in \Delta \implies \exists\, p' \in S'$ mit $(q' \xrightarrow{a} p') \in \Delta'$ und $(p, p') \in R$.

(2) $(q' \xrightarrow{a} p') \in \Delta' \implies \exists\, p \in S$ mit $(q \xrightarrow{a} p) \in \Delta$ und $(p, p') \in R$.

Bemerkung:

Sei T = (S, A, Δ, q_0) $\in \mathcal{T}$.
Die Identität $= \subseteq S \times S$ ist eine starke Bisimulation zwischen T und T.

Definition (Starke Äquivalenz von LTSen):

Seien T, T' $\in \mathcal{T}$, T = (S, A, Δ, q_0), T' = (S', A', Δ', q_0').
T und T' sind **stark äquivalent**, geschrieben T $\sim$ T', wenn gilt:

(a) T und T' haben dieselben Aktionen, d.h. A = A'.

(b) Es gibt eine starke Bisimulation R $\subseteq$ S $\times$ S' zwischen T und T', so dass (q_0, q_0') $\in$ R.

Lemma:

$\sim$ ist eine Äquivalenzrelation auf $\mathcal{T}$.

Bemerkung:

Stark äquivalente LTSe haben dieselben Abläufe.
Die Umkehrung gilt jedoch nicht (vgl. Beispiel Münzwurf von oben).

Beispiele:

Definition (Reach(T)):

Sei $T = (S, A, \Delta, q_0)$ ein LTS.
Das **reachable Sub-LTS** von T ist gegeben durch $\mathrm{Reach}(T) = (S_r, A, \Delta_r, q_0)$, wobei

- $S_r \subseteq S$ die kleinste Teilmenge von S ist, so dass gilt:
  (0) $q_0 \in S_r$,
  (1) $q \in S_r$ und $(q \xrightarrow{a} p) \in \Delta \implies p \in S_r$,
- $\Delta_r = \{(q,a,p) \in \Delta \mid q, p \in S_r\}$.

Lemma:

Seien $T, T' \in \mathcal{T}$, $T = (S, A, \Delta, q_0)$, $T' = (S', A', \Delta', q_0')$. Es gilt:

1. $T \sim \mathrm{Reach}(T)$,
2. $T \sim T' \iff \mathrm{Reach}(T) \sim \mathrm{Reach}(T')$.

Definition der Semantik von Prozessausdrücken

Es bezeichne $\mathcal{E}$ die Menge aller Prozessausdrücke.

Die Semantik von Prozessausdrücken ist gegeben durch eine Funktion

lts: $\mathcal{E} \longrightarrow \mathcal{T}$

die gemäß der Struktur von Prozessausdrücken folgendermaßen induktiv definiert ist (vgl. Vorlesungsmitschrift):

Definition (Starke Äquivalenz von Prozessen):

Zwei Prozesse E, F $\in \mathcal{E}$ sind **stark äquivalent** (stark bisimular), geschrieben E $\sim$ F, wenn gilt: lts(E) $\sim$ lts(F).

Beispiele (algebraische Gesetze):

Seien a, b Aktionen und E, F Prozessausdrücke.

- $(\mathsf{a} \to \mathsf{E} \mid \mathsf{b} \to \mathsf{F}) \sim (\mathsf{b} \to \mathsf{F} \mid \mathsf{a} \to \mathsf{E})$
- $(\mathsf{a} \to \mathsf{E} \mid \mathsf{a} \to \mathsf{E}) \sim (\mathsf{a} \to \mathsf{E})$
- $\mathsf{E} \sim \mathsf{F} \implies (\mathsf{a} \to \mathsf{E}) \sim (\mathsf{a} \to \mathsf{F})$

Betriebssystem-Prozesse und Threads

Ein *BS-Prozess* besitzt einen eigenen Adressraum und wird repräsentiert durch

- Daten (globale und lokale Variable);
  die lokalen Variablen sind in einem Keller organisiert,
  die globalen Variablen in einem Heap
- Code (Befehle)
- Deskriptor (organisatorische Daten und Werte der Maschinenregister)

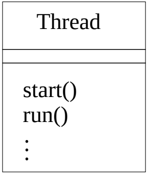
Ein BS-Prozess ist ein "schwergewichtiger Prozess" (z.B. Ausführung eines Anwendungsprogramms).

Ein *Thread* ist ein "leichtgewichtiger Prozess", der innerhalb eines BS-Prozesses (evt. parallel zu anderen Threads) abläuft.

- Jeder Thread besitzt einen eigenen Stack für seine lokalen Variablen und einen eigenen Deskriptor.
- Der Thread-Code ist im Code-Segment des BS-Prozesses enthalten.
- Jeder Thread hat Zugriff auf die globalen Variablen des BS-Prozesses.

Realisierung von Threads in Java

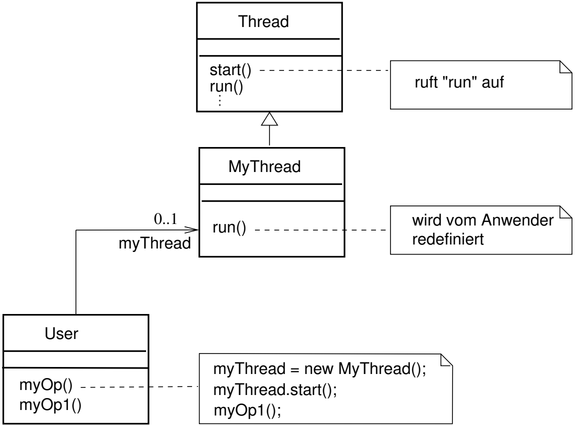
Threads werden in Java durch Objekte der Klasse "Thread" (im Paket java.lang) realisiert.



Es bezeichne `t` ein Objekt der Klasse `Thread` oder einer Subklasse von `Thread`.

- Der Methodenaufruf `t.start();` bewirkt, dass das Thread-Objekt `t` aktiviert wird und seine `run`-Methode aufgerufen wird.
- Der aufrufende Thread setzt dann seine Tätigkeit parallel zur Ausführung der `run`-Methode des Threads `t` fort.

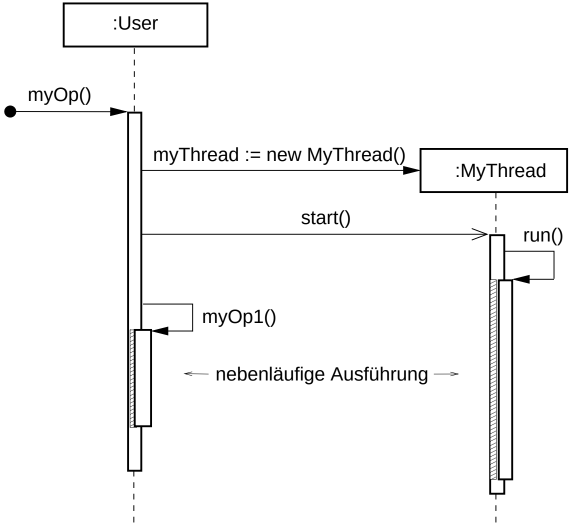
1. Realisierung von Threads mittels Vererbung



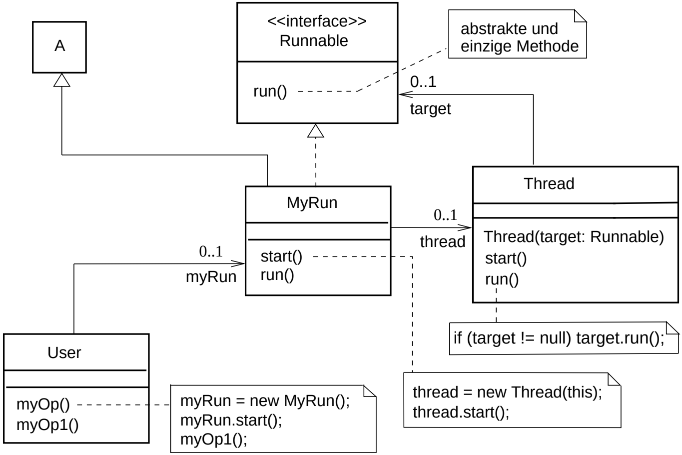
Beachte:

"MyThread" kann <u>nicht</u> Erbe einer weiteren Klasse sein, da in Java Mehrfachvererbung nicht möglich ist!

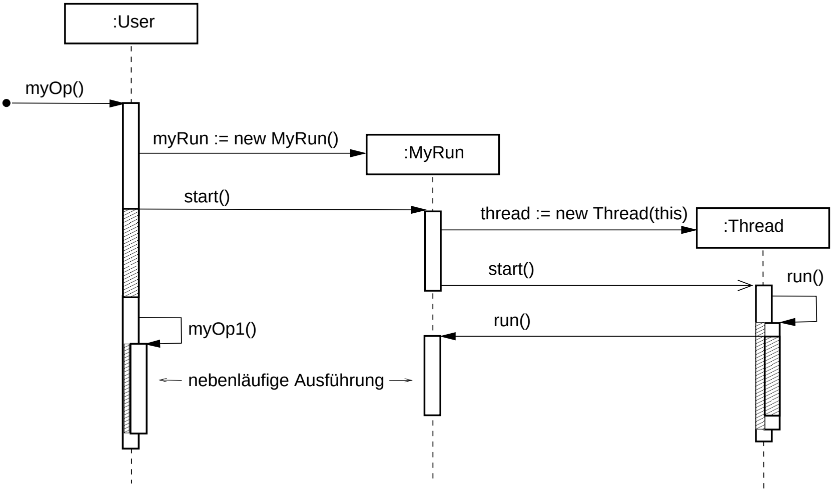
Sequenzdiagramm mit Objekt der Klasse MyThread



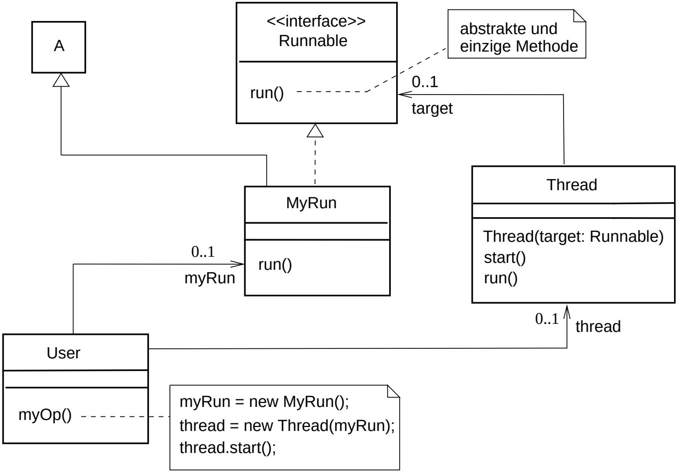
2. Realisierung von Threads durch Verwendung des Interfaces “Runnable“



Sequenzdiagramm mit Objekt der Klasse MyRun



Klassendiagramm mit Interface Runnable (Variante)



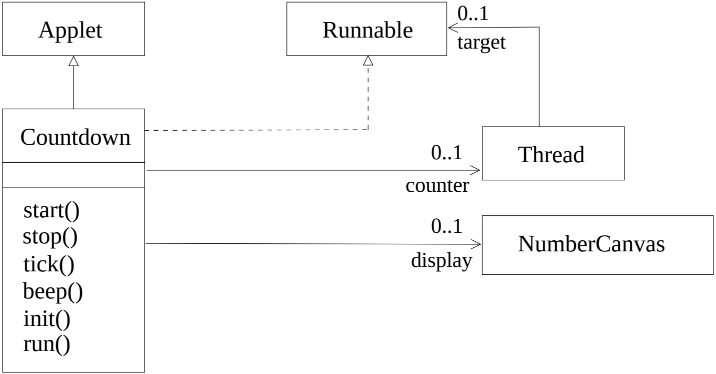
Beispiel (Implementierung des Countdown-Prozesses):

$$
\begin{array}{lcl}
\text{COUNTDOWN(N=10)} & = & (\text{start} \rightarrow \text{CD[N]}), \\
\text{CD[i:0..N]} & = & (\text{when}\,(\text{i} > 0)\,\text{tick} \rightarrow \text{CD[i-1]} \\
 & & \mid \text{when}\,(\text{i} == 0)\,\text{beep} \rightarrow \text{STOP} \\
 & & \mid \text{stop} \rightarrow \text{STOP}).
\end{array}
$$

Aktionen:

- externe: start, stop
- interne: tick, beep

Klassendiagramm der Implementierung



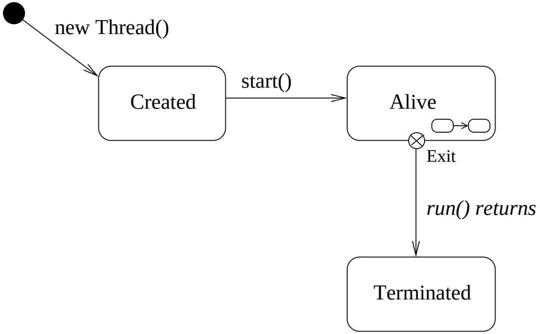
Java-Implementierung

```
public class Countdown extends Applet implements Runnable {
   final static int N = 10;
   int i;
   Thread counter;
   AudioClip beepsound, ticksound;
   NumberCanvas display;

   public void start() {
     i = N;
     counter = new Thread(this);
     counter.start();
   }
   public void stop() {
      counter = null;
   }
   private void tick() {...}
   private void beep() {...}
   public void init() {...}

   public void run() {
      while (true) {
         if (counter == null) return;
         if (i  > 0) {tick(); i = i-1;}
         if (i == 0) {beep(); return;}
      }
   }
}
```

Lebenszyklus eines Java-Threads



Unterzustände des Alive-Zustands