Software Design, Modelling and Analysis in UML

Lecture 11: Core State Machines I

2013-12-04

Prof. Dr. Andreas Podelski, **Dr. Bernd Westphal**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany

Contents & Goals

Last Lecture:

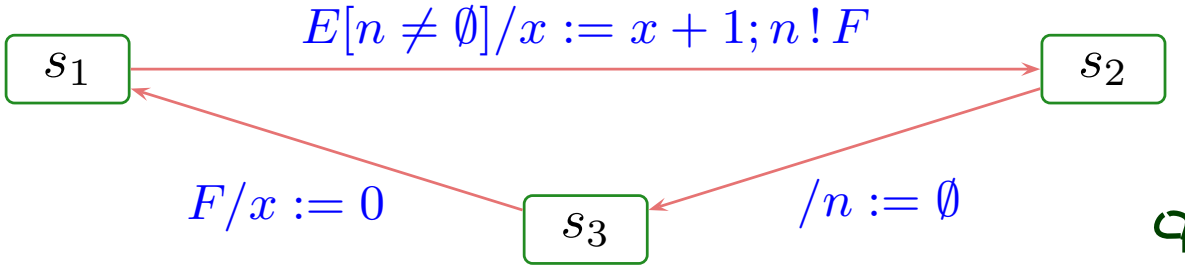
- Core State Machines
- UML State Machine syntax
- State machines belong to classes.

This Lecture:

- **Educational Objectives:** Capabilities for following tasks/questions.
  - What does this State Machine mean? What happens if I inject this event?
  - Can you please model the following behaviour.
  - What is: Signal, Event, Ether, Transformer, Step, RTC.
- **Content:**
  - UML Core State Machines (first half)
  - Ether, System Configuration, Transformer
  - Run-to-completion Step
  - Putting It All Together

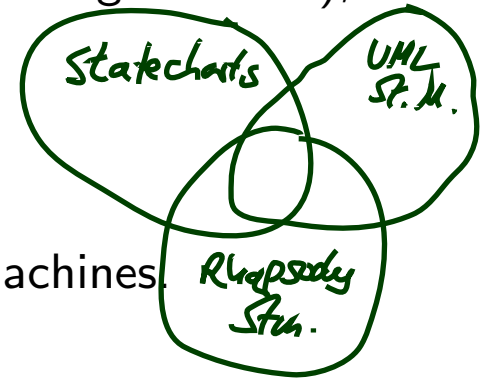
UML State Machines

UML State Machines



Brief History:

- Rooted in **Moore/Mealy machines**, Transition Systems
- [Harel, 1987]: **Statecharts** as a concise notation, introduces in particular hierarchical states.
- Manifest in tool **Statemate** [Harel et al., 1990] (simulation, code-generation); nowadays also in **Matlab/Simulink**, etc.
- From UML 1.x on: **State Machines** (in State Chart Diagram) (not the official name, but understood: UML-Statecharts)
- Late 1990's: tool **Rhapsody** with code-generation for state machines.



Note: there is a common core, but each dialect interprets some constructs subtly different [Crane and Dingel, 2007]. *(Would be too easy otherwise...)*

Roadmap: Chronologically

(i) What do we (have to) cover?
UML State Machine Diagrams **Syntax**.

(ii) Def.: Signature with **signals**.

(iii) Def.: **Core state machine**.

(iv) Map UML State Machine Diagrams to core state machines.

Semantics:
The Basic Causality Model

(v) Def.: **Ether** (aka. event pool)

(vi) Def.: **System configuration**.

(vii) Def.: **Event**.

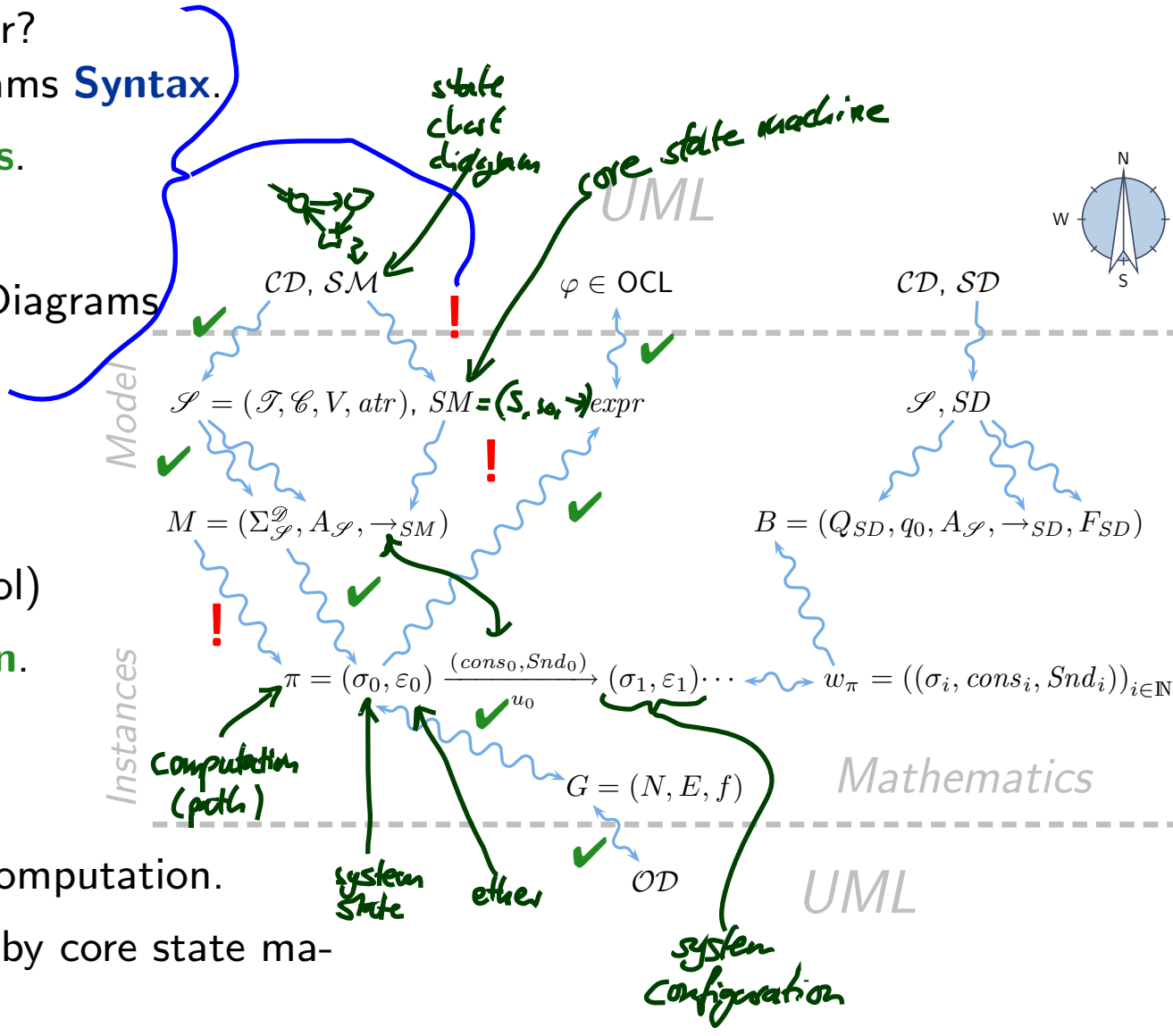
(viii) Def.: **Transformer**.

(ix) Def.: **Transition system**, computation.

(x) Transition relation induced by core state machine.

(xi) Def.: **step**, **run-to-completion step**.

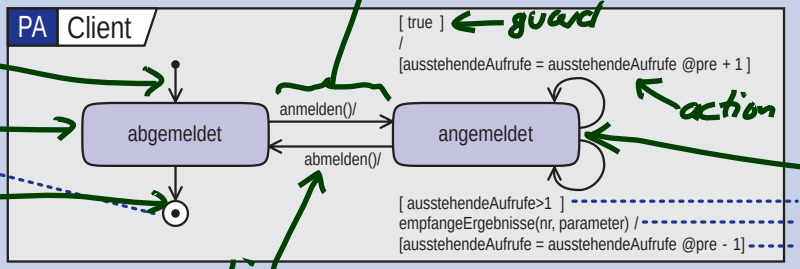
(xii) Later: Hierarchical state machines.



UML State Machines: Syntax

UML State-Machines: What do we have to cover?

[Störrle, 2005]



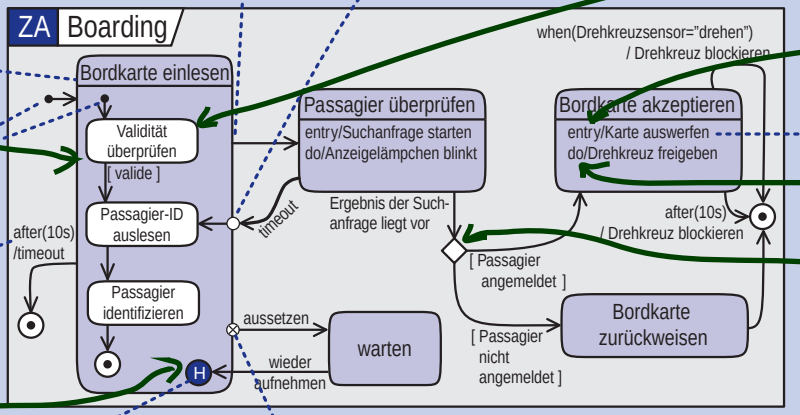
Wenn der **Endzustand** eines Zustandsautomaten erreicht wird, wird die Region beendet, in der der Endzustand liegt.

Die Zustandsübergänge von Protokoll-Zustandsautomaten verfügen über eine **Vorbedingung**, einen **Auslöser** und eine **Nachbedingung** (alle optional) – jedoch nicht über einen Effekt.

Protokollzustandsautomaten beschreiben das Verhalten von Softwaresystemen, Nutzfällen oder technischen Geräten.

Reguläre Beendigung löst ein **completion**-Ereignis aus.

Ein **Eintrittspunkt** definiert, dass ein komplexer Zustand an einer anderen Stelle betreten wird, als durch den Anfangszustand definiert ist.



Ein **komplexer Zustand** mit einer Region.

Der **Anfangszustand** markiert den voreingestellten Startpunkt von „Boarding“ bzw. „Bordkarte einlesen“.

Das **Zeitereignis** after(10s) löst einen Abbruch von „Bordkarte einlesen“ aus.

Ein Zustand löst von sich aus bestimmte Ereignisse aus:

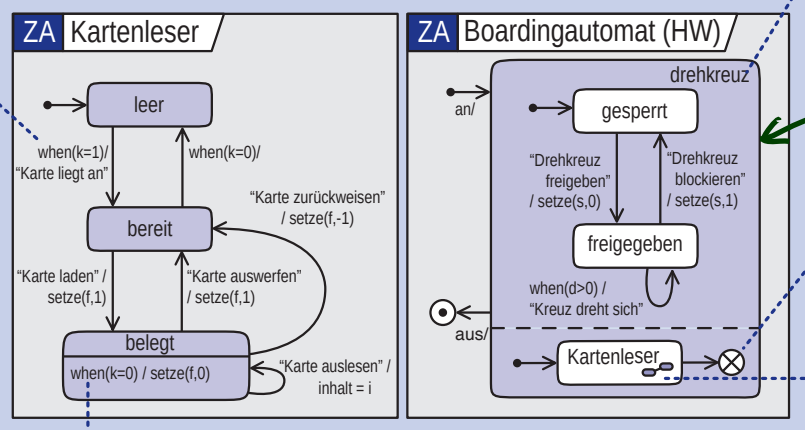
- **entry** beim Betreten;
- **do** während des Aufenthaltes;
- **completion** beim Erreichen des Endzustandes einer Unter-Zustandsmaschine
- **exit** beim Verlassen.

Diese und andere Ereignisse können als Auslöser für Aktivitäten herangezogen werden.

Der **Gedächtniszustand** sorgt dafür, dass nach dem Wieder-aufnehmen der gleiche Zustand wie vor dem Aussetzen einge-nommen wird.

Der **Austrittspunkt** erlaubt es, von einem definierten inneren Zustand aus den Oberzustand zu verlassen.

Ein Zustand kann eine oder mehrere **Regionen** enthalten, die wiederum Zustands-automaten enthalten können. Wenn ein Zustand mehrere Regionen enthält, werden diese in verschiedenen Abteilen angezeigt, die durch gestrichelte Linien voneinander getrennt sind. Regionen können benannt werden. Alle Regionen werden parallel zueinander abgearbeitet.



Auch Zeit- und Änderungs-ereignisse können Zustands-übergänge auslösen:

- **after** definiert das Verstreichen eines Intervalls;
- **when** definiert einen Zustandswechsel.

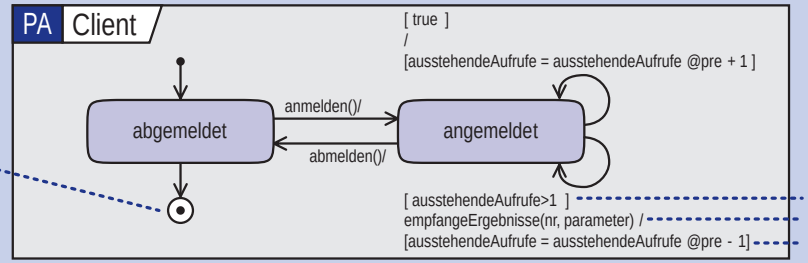
Zustände und zeitlicher Bezugsrahmen werden über den umgebenden Classifier definiert, hier die Werte der Ports, siehe das Montage-diagramm „Abfertigung“ links oben.

Wenn ein **Regionsend-zustand** erreicht wird, wird der gesamte *komplexe* Zustand beendet, also auch alle parallelen Regionen.

Ein **verfeinerter Zustand** verweist auf einen Zustands-automaten (angedeutet von dem Symbol unten links), der

UML State-Machines: What do we have to cover?

[Störrle, 2005]



Wenn der **Endzustand** eines Zustandsautomaten erreicht wird, wird die Region beendet, in der der Endzustand liegt.

Die Zustandsübergänge von Protokoll-Zustandsautomaten verfügen über eine **Vorbedingung**, einen **Auslöser** und eine **Nachbedingung** (alle optional) – jedoch nicht über einen Effekt.

Protokollzustandsautomaten beschreiben das Verhalten von Softwaresystemen, Nutzfällen oder technischen Geräten.

Reguläre Beendigung löst ein **completion**-Ereignis aus.

Ein **Eintrittspunkt** definiert, dass ein komplexer Zustand an einer anderen Stelle betreten wird, als durch den Anfangszustand definiert ist.

Ein **kompl**
einer Regi

Der **Anfan**
den voreing
von „Board
einlesen“.

Das **Zeiter**
einen Abbr
einlesen“ a

öst von sich aus
eignisse aus:

Betreten;
des
s;
beim Erreichen
tandes einer
ndsmaschine
erlassen.

dere Ereignisse
uslöser für
rangezogen

Proven approach:

Start out simple, consider the essence, namely

- basic/leaf states
- transitions,

then extend to cover the complicated rest.

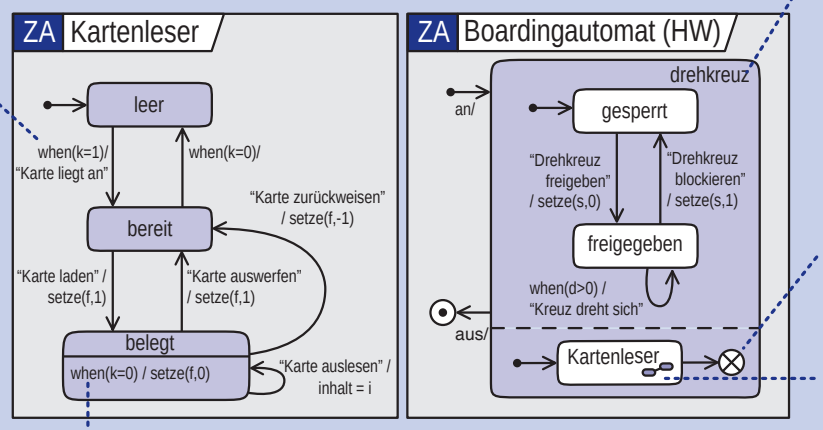
wie vor dem Aussetzen eingenommen wird.

kann eine oder **ionen** enthalten, die wiederum Zustandsautomaten enthalten können. Wenn ein Zustand mehrere Regionen enthält, werden diese in verschiedenen Abteilen angezeigt, die durch gestrichelte Linien voneinander getrennt sind. Regionen können benannt werden. Alle Regionen werden parallel zueinander abgearbeitet.

Auch Zeit- und Änderungsereignisse können Zustandsübergänge auslösen:

- **after** definiert das Verstreichen eines Intervalls;
- **when** definiert einen Zustandswechsel.

Zustände und zeitlicher Bezugsrahmen werden über den umgebenden Classifier definiert, hier die Werte der Ports, siehe das Montagediagramm „Abfertigung“ links oben.



Wenn ein **Regionsendzustand** erreicht wird, wird der gesamte *komplexe* Zustand beendet, also auch alle parallelen Regionen.

Ein **verfeinerter Zustand** verweist auf einen Zustandsautomaten (angedeutet von dem Symbol unten links), der

Signature With Signals

Definition. A tuple

$$\mathscr{S} = (\mathscr{T}, \mathscr{C}, V, atr, \mathscr{E}),\ \mathscr{C} \supseteq \mathscr{E} \text{ a set of signals,}$$

is called signature (with signals) if and only if

$$(\mathscr{T}, \mathscr{C} \setminus \mathscr{E}, V, atr)$$

is a signature (as before).

Note: Thus conceptually, **a signal is a class** and can have attributes of plain type and associations.

Core State Machine

Definition.
A core state machine over signature $\mathscr{S} = (\mathscr{T}, \mathscr{C}, V, atr, \mathscr{E})$ is a tuple

$$SM = (S, s_0, \rightarrow)$$

where

- S is a non-empty, finite set of **(basic) states**,
- $s_0 \in S$ is an **initial state**,
- and

$$\rightarrow \subseteq S \times \underbrace{(\mathscr{E} \dot{\cup} \{\_\})}_{\text{trigger}} \times \underbrace{Expr_{\mathscr{S}}}_{\text{guard}} \times \underbrace{Act_{\mathscr{S}}}_{\text{action}} \times S$$

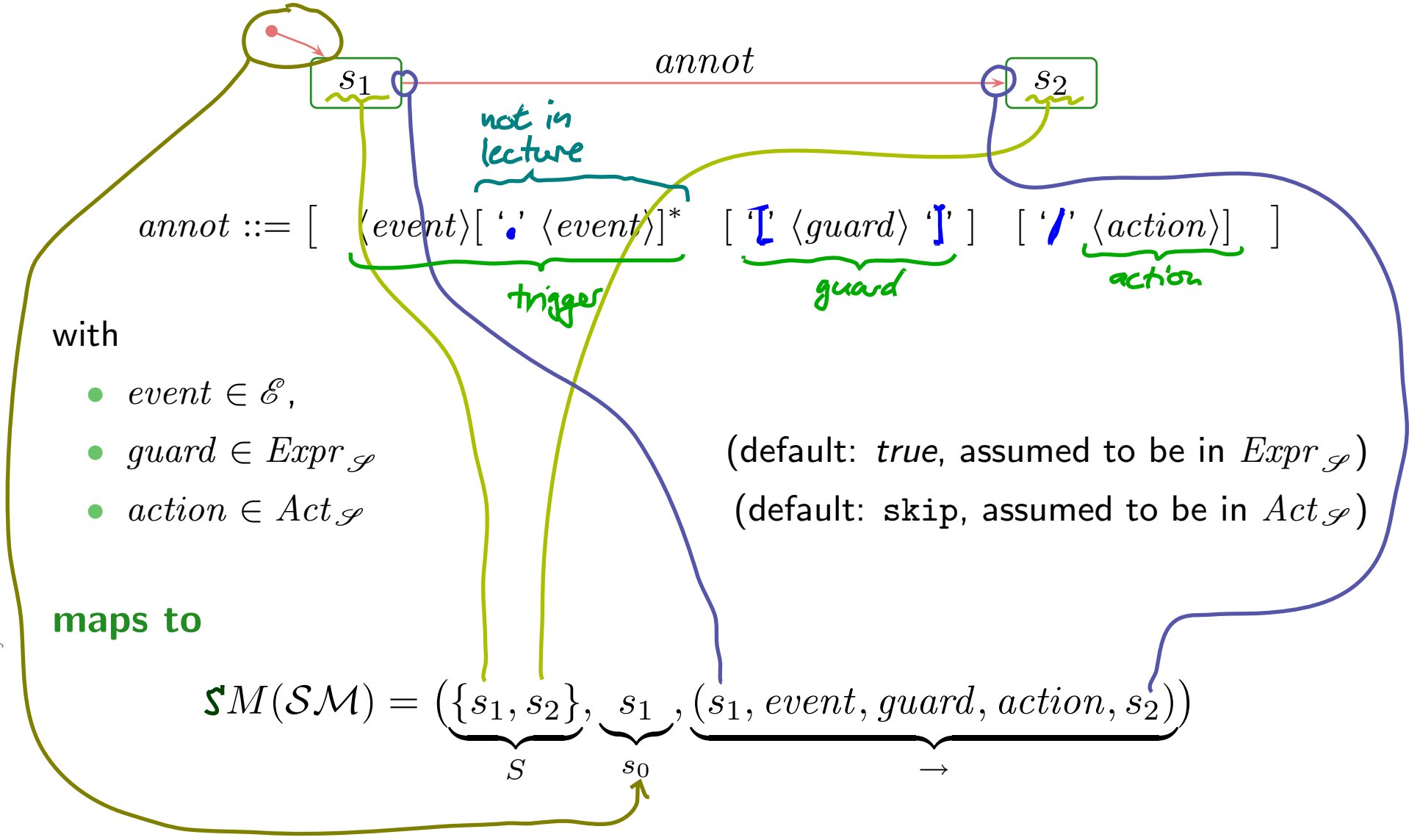
source state; set of signals; destination state; "$\dot{\cup}$" disjoint union, $\_ \notin \mathscr{E}$

is a labelled transition relation.

We assume a set $Expr_{\mathscr{S}}$ of boolean expressions (may be OCL, may be something else) and a set $Act_{\mathscr{S}}$ of **actions** over $\mathscr{S}$.

From UML to Core State Machines: By Example

UML state machine diagram $\mathcal{SM}$:



with

- $event \in \mathscr{E}$,
- $guard \in Expr_{\mathscr{S}}$
- $action \in Act_{\mathscr{S}}$

(default: *true*, assumed to be in $Expr_{\mathscr{S}}$)

(default: `skip`, assumed to be in $Act_{\mathscr{S}}$)

maps to

$$\mathfrak{SM}(\mathcal{SM}) = (\underbrace{\{s_1, s_2\}}_{S}, \underbrace{s_1}_{s_0}, \underbrace{(s_1, event, guard, action, s_2)}_{\rightarrow})$$

Annotations and Defaults in the Standard

Reconsider the syntax of transition annotations:

$$annot ::= [\quad \langle event \rangle [\text{ '.' } \langle event \rangle]^* \quad [\text{ '[' } \langle guard \rangle \text{ ']' }] \quad [\text{ '/' } \langle action \rangle] \quad]$$

trigger guard action

and let's play a bit with the defaults:

the empty annotation

	$\rightsquigarrow$	–, true, skip
/	$\rightsquigarrow$	–, true, skip
E /	$\rightsquigarrow$	E, true, skip
/ act	$\rightsquigarrow$	–, true, act
E / act	$\rightsquigarrow$	E, true, act
[expr]	$\rightsquigarrow$	–, expr, skip

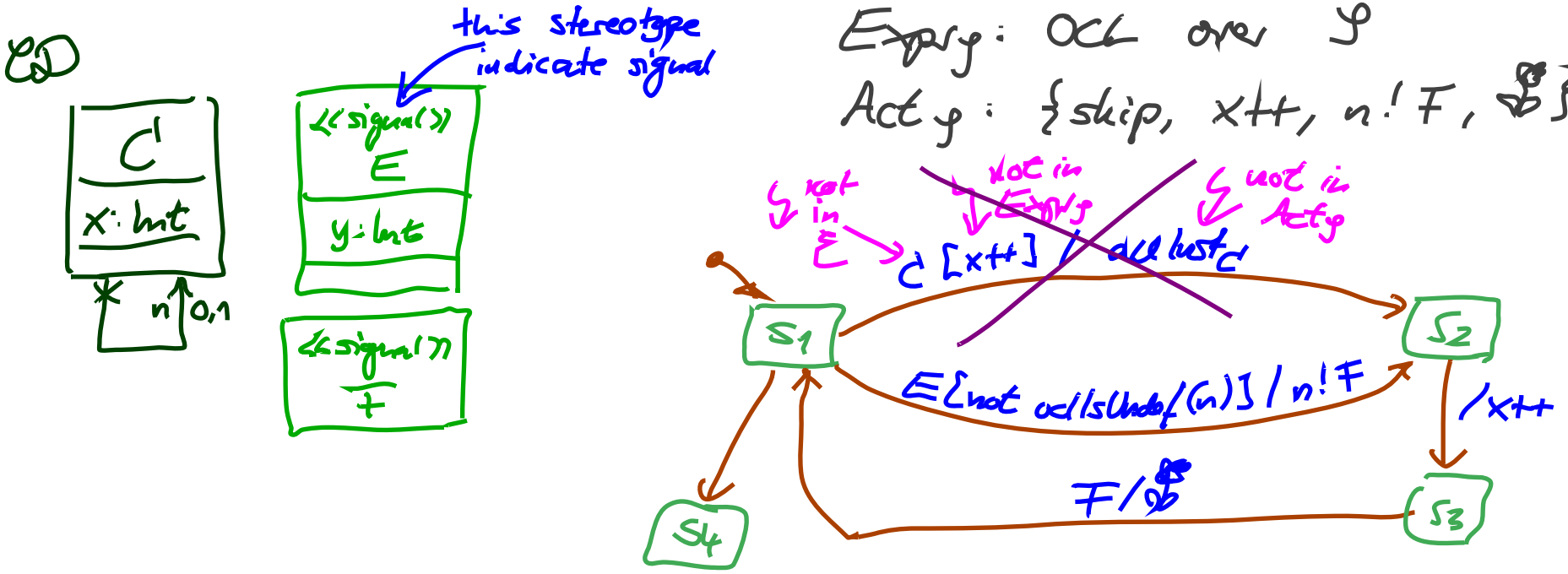
$E \in \mathcal{E}$
$act \in Act_S$
$expr \in Expr_S$

In the standard, the syntax is even more elaborate:

- $E(v)$ — when consuming E in object u, attribute v of u is assigned the corresponding attribute of E.
- $E(v : \tau)$ — similar, but v is a local variable, scope is the transition

special keyword to access event attributes

in Rhapsody:
E(x) / ...
$\rightsquigarrow$ E/x:=params->x



UML

$$\mathcal{S} = (\{Int\},\ \{C, E, F\},\ \{x: Int, y: Int, n: C_{0,1}\},\ \{C \mapsto \{x, n\},\ E \mapsto \{y\},\ F \mapsto \emptyset\},\ \{E, F\})$$

UI

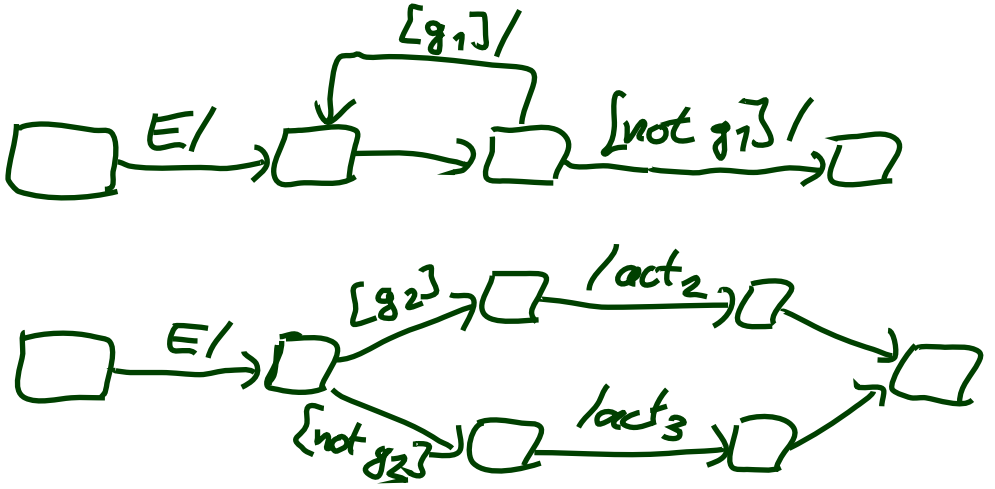
E:

$$SM = (\{s_1, s_2, s_3, s_4\},\ s_1,\ \{(s_1, E, \text{not } oclIsUndef(n), n!F, s_2),\ (s_2, -, true, x++, s_3),\ (s_1, -, true, skip, s_4),\ (s_3, F, true, \emptyset, s_1)\})$$

MATH

What is that useful for?

- **No Event**:



- **No annotation**:

see above

State-Machines belong to Classes

- In the following, we assume that a UML models consists of a set $\mathscr{CD}$ of class diagrams and a set $\mathscr{SM}$ of **state chart diagrams** (each comprising one **state machines** $\mathcal{SM}$).
- Furthermore, we assume that **each state machine** $\mathcal{SM} \in \mathscr{SM}$ is **associated** with **a class** $C_{\mathcal{SM}} \in \mathscr{C}(\mathscr{S})$.
- For simplicity, we even assume a bijection, i.e. we assume that each class $C \in \mathscr{C}(\mathscr{S})$ has a state machine $\mathcal{SM}_C$ and that its class $C_{\mathcal{SM}_C}$ is C.

  If not explicitly given, then this one:

  $$\mathcal{SM}_0 := (\{s_0\}, s_0, \emptyset).$$

  We'll see later that, semantically, this choice does no harm.
- **Intuition 1**: $\mathcal{SM}_C$ describes the behaviour of **the instances** of class C.
  Intuition 2: Each instance of C executes $\mathcal{SM}_C$ with own "program counter".

Note: we don't consider **multiple state machines** per class.
(Because later (when we have AND-states) we'll see that this case can be viewed as a single state machine with as many AND-states.)

References

References

[Crane and Dingel, 2007] Crane, M. L. and Dingel, J. (2007). UML vs. classical vs. rhapsody statecharts: not all models are created equal. *Software and Systems Modeling*, 6(4):415–435.

[Harel, 1987] Harel, D. (1987). Statecharts: A visual formalism for complex systems. *Science of Computer Programming*, 8(3):231–274.

[Harel and Gery, 1997] Harel, D. and Gery, E. (1997). Executable object modeling with statecharts. *IEEE Computer*, 30(7):31–42.

[Harel et al., 1990] Harel, D., Lachover, H., et al. (1990). Statemate: A working environment for the development of complex reactive systems. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 16(4):403–414.

[OMG, 2007a] OMG (2007a). Unified modeling language: Infrastructure, version 2.1.2. Technical Report formal/07-11-04.

[OMG, 2007b] OMG (2007b). Unified modeling language: Superstructure, version 2.1.2. Technical Report formal/07-11-02.

[Störrle, 2005] Störrle, H. (2005). *UML 2 für Studenten*. Pearson Studium.