Modellierung hybrider Systeme mit Stateflow

Lernziele:

- Entwicklung der Differentialgleichungen aus dem physikalischen Modell
- Realisierung hybrider Systeme in Matlab/Simulink/Stateflow
- Ereignisse mit Modellumschaltung
- Reflexion einer Kugel an schiefen Wänden und Zylindern

Aufgabenstellungen:

1. Start einer zweistufigen Rakete

Aufgabenstellung:

Eine zweistufige Rakete startet senkrecht von der Erde.

Stufe 1 hat die Parameter :	- Leermasse:	*m1_leer*	[kg]
	- initiale Treibstoffmasse:	*St1_Treibstoff*	[kg]
	- Treibstoffdurchsatz:	*Durchsatz_1*	[kg/s]
Stufe 2 hat die Parameter :	- Leermasse:	*m2_leer*	[kg]
	- initiale Treibstoffmasse:	*St2_Treibstoff*	[kg]
	- Treibstoffdurchsatz:	*Durchsatz_2*	[kg/s]

Der Flug besteht aus drei Phasen:

1. Die gesamte Rakete wird von Stufe 1 angetrieben.
   Die Treibstoffmasse nimmt dabei mit *Durchsatz_1* ab.

2. Stufe 1 ist ausgebrannt und wird von der zweiten Stufe abgetrennt.
   Stufe 1 bewegt sich nun antriebslos unter dem Einfluss der Erdgravitation.
   Das Triebwerk von Stufe 2 springt an und beschleunigt Stufe 2 weiter.
   Die Treibstoffmasse nimmt dabei mit *Durchsatz_2* ab.

3. Stufe 2 ist ausgebrannt und fliegt nun ebenfalls antriebslos unter dem Einfluss der Erdgravitation weiter.

Für die Simulation soll **Stateflow** verwendet werden.
Die drei Flugphasen sollen mit 3 Zuständen und entsprechenden Zustandsübergängen realisiert werden.

Simulationsrandbedingungen:

a) Als Parameter sollen vorgebbar sein :
   m1_leer, *m2_leer*, *St1_Treibstoff*, *St2_Treibstoff*, *Durchsatz_1*, *Durchsatz_2*, *SchubProDurchsatz* [N/(kg/s)]

b) Als zeitabhängige Zustandsvariablen (local → continuous) sollen verwendet werden:
   - Höhe und Geschwindigkeit der Stufen : *x1*, *v1*, *x2*, *v2*
   - aktuelle Massen der Stufen : *m1*, *m2*

c) Als Simulink Output sollen verwendet werden: *x1out*, *v1out*, *x2out*, *v2out*

d) Erdmasse, Erdradius und die Gravitationskonstante sollen als Konstante angelegt werden.

Modellierung hybrider Systeme mit Stateflow

Formeln und Konstanten:

$$F_s = G \cdot \frac{m_E \cdot m_R}{r^2}$$

Masseänderung pro Zeiteinheit:

$$\dot{m} = -Durchsatz$$

*Schubkraft = Durchsatz * SchubProDurchsatz*

Erdradius :	$r_E = 6378 \text{ km}$
Erdmasse :	$m_E = 5.9736 * 10^{24} kg$
Gravitationskonstante:	$G = 66.743 \cdot 10^{-12} \dfrac{m^3}{kg \cdot s^2}$

Modellierung – Schritt für Schritt:

a) Legen Sie einen Zustandsautomaten mit 3 Zuständen an (update method = continuous):
StufenGemeinsam → StufenGetrennt → Stufe2Ausgebrannt

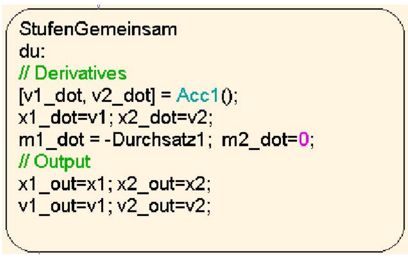
b) Legen Sie die Parameter, Variablen, Ausgabegrößen und Konstanten wie beschrieben an.

c) Geben Sie eine EM-Funktion „***Init***" an, in der die Zustandsgrößen initialisiert werden. Rufen Sie diese Funktion in der *Default-Transition* des 1. Zustands auf.

d) Geben Sie eine EM-Funktion „***Acc1()***" an, in der die Beschleunigungen a1 und a2 der beiden Stufen berechnet werden (Funktionskopf: `function [a1 a2] = Acc1`)

Hinweis: Welche Kräfte wirken auf die Gesamtrakete? Was ist die aktuelle Masse der Rakete?

e) Tragen Sie in der during-Section des 1. Zustands die Differentialgleichungen und die Übergabe an die Ausgabegrößen ein, z.B. so :

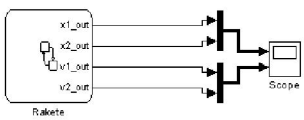


f) Geben Sie für die anderen Zustände die EM-Funktionen „***Acc2()***" und „***Acc3()***" an.

g) Tragen Sie in die during-Sections der anderen Zustände die dort geltenden Differentialgleichungen und Ausgaben ein.

h) Zeichnen Sie die Zustandsübergänge ein und geben Sie die Bedingungen an.

i) Die Ergebnisausgabe kann so erfolgen:

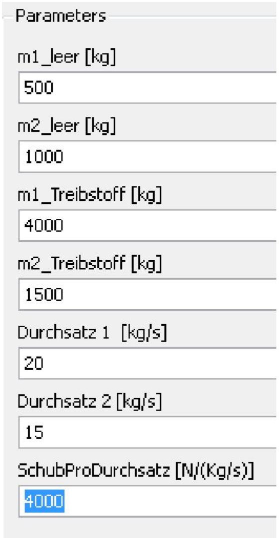


j) Markieren Sie alle Elemente und machen Sie sie zum *Subsystem* (Create Subsystem).

k) Verbinden Sie die Stateflow-Parameter mit den Subsystem-Parametern (Mask Subsystem).

Modellierung hybrider Systeme mit Stateflow

<u>**Versuchsdurchführung**</u>:
Simulieren Sie das System mit folgenden Versuchsparametern:
Als Versuchszeit stellen Sie 600s ein.



a) Nach welcher Zeit und in welcher Höhe trennen sich die Stufen?
b) Wie hoch fliegen die Stufen 1 und 2?
c) Wie hoch ist die Endgeschwindigkeit der Stufe 1 und 2 jeweils bei Brennschluss?
d) Wann schlägt Stufe 1 wieder auf der Erde auf?

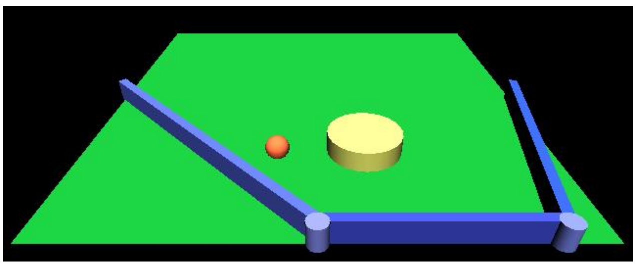
Dokumentieren Sie das <u>Modell</u> (Automat, Funktionen, Variablen, Parameter usw.), die <u>Ergebnisse</u> (Flugbahn, Geschwindigkeitsverlauf) sowie die <u>Antworten</u> zu a)-d).

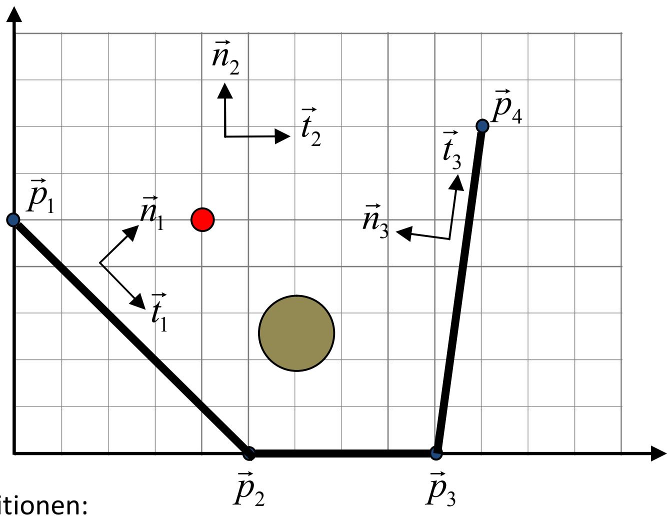
2. Simulation eines schiefen Flippers

<u>**Aufgabenstellung**</u>:

Die Bewegung einer Kugel auf einem geneigten Tisch
- mit 3 Seitenwänden und
- einem zylindrischen Hindernis

ist zu simulieren.





Die Eckpunkte der Begrenzungswände sind an den Positionen:

$$\vec{p}_1 = (0,\ 5)^T \qquad \vec{p}_2 = (5,\ 0)^T \qquad \vec{p}_3 = (9,\ 0)^T \qquad \vec{p}_4 = (10,\ 7)^T$$

Das Zylinderhindernis ist bei $\vec{p}_{Zy} = (6,\ \ 2.5)^T$ und hat einen Radius von 0.8.

Der Kugelradius ist R=0.25. Die Startposition der Kugel ist (4, 5). Die Startgeschwindigkeit ist (0, 0).
Auf die Kugel wirkt eine konstante Beschleunigung von g = 1m/s² (nach unten).

Modellierung hybrider Systeme mit Stateflow

Simulationsrandbedingungen:

Setzen Sie die Variablen, Parameter, Konstanten usw. wie folgt:

Name	Scope	UpdateMethod	Size	DataTyp
R	Constant	Discrete		double
RHnd	Constant	Discrete		double
Hnd	Local	Discrete	2,1	double
n1	Local	Discrete	2,1	double
n2	Local	Discrete	2,1	double
n3	Local	Discrete	2,1	double
p1	Local	Discrete	2,1	double
p2	Local	Discrete	2,1	double
p3	Local	Discrete	2,1	double
p4	Local	Discrete	2,1	double
t1	Local	Discrete	2,1	double
t2	Local	Discrete	2,1	double
t3	Local	Discrete	2,1	double
v1	Local	Continuous	2,1	double
x1	Local	Continuous	2,1	double
x1_out	Output	Discrete	2,1	double

Anm.: RHnd: Radius des Zylinderhindernisses
R: Radius der Kugel
Hnd: Ort des Zylinderhindernisses

Modellierung – Schritt für Schritt:

a) Legen Sie einen Zustandsautomaten mit einem Zustand (Flipper) an (update method=continuous):

b) Legen Sie die Parameter, Variablen, Ausgabegrößen und Konstanten wie beschrieben an.

c) Geben Sie eine EM-Funktion „***Init***“ an, in der folgende Größen initialisiert werden:
- Zustandsgrößen,
- Wandeckpunkte und Hindernisposition,
- die Wand-Tangential und Normalvektoren,
- Startposition- und Startgeschwindigkeit der Kugel.

d) Geben Sie eine EM-Funktion „***Acc()***“ an, in der die Beschleunigungen a bestimmt wird.

e) Tragen Sie in der during-Section die Differentialgleichungen und die Übergabe an die Ausgabegröße ein.

Modellierung hybrider Systeme mit Stateflow

---

f) Geben Sie pro Wand eine EM-Funktion „***Wand..Kontakt***“ an. Diese soll *true* zurückgeben, wenn die Kugel in der Vorwärtsbewegung die Wand berührt.

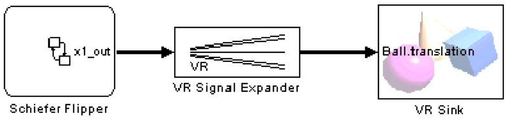
g) Geben Sie pro Wand eine EM-Funktion „***Wand..Refl***“ an. Diese soll die Reflexion an der Wand realisieren.

h) Geben Sie für das Hindernis eine EM-Funktion „***HndKontakt***“ an. Diese soll *true* zurückgeben, wenn die Kugel in der Vorwärtsbewegung das Hindernis berührt.

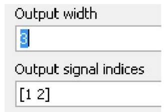
i) Geben Sie für das Hindernis eine EM-Funktion „***HndRefl***“ an. Diese soll die Reflexion am Hindernis realisieren.

j) Zeichnen Sie die Zustandsübergänge ein und geben Sie die Bedingungen und Übergangsfunktionen an.

k) Die Ergebnisausgabe kann so erfolgen:

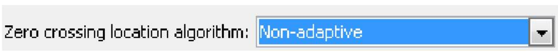


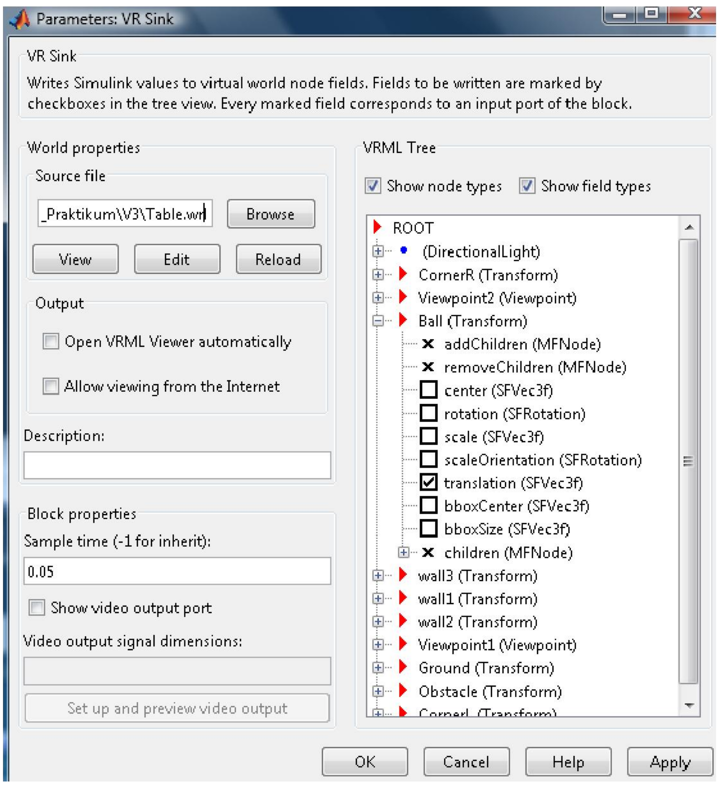
Die VR-Sink liegt in meinem Pub (*Table.wrl*).



Versuchsdurchführung:

Starten Sie die Simulation mit den folgenden Einstellungen:





Dokumentieren Sie das Modell (Automat, Funktionen, Variablen, Parameter usw.)