TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Aplikácia simulačných nástrojov v modelovaní a riadení podaktuovaných mechanických systémov (Príloha D – Tutoriál k modelovaniu v SimMechanics) Bakalárska práca

Peter Gažík

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Aplikácia simulačných nástrojov v modelovaní a riadení podaktuovaných mechanických systémov (Príloha D – Tutoriál k modelovaniu v SimMechanics) Bakalárska práca

Študijný program:	Inteligentné systémy
Študijný odbor:	Kybernetika
Školiace pracovisko:	Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Školiteľ:	Ing. Slávka Jadlovská, PhD.

2016 Košice

Peter Gažík

Obsah

Zozr	nam obrázkov	4
Úvo	d	5
1.	Modelovanie v MATLAB SimMechanics	6
2.	Modelovanie jednoduchého kyvadla	.11
Záve	er	.15

Zoznam obrázkov

Obr. 1 Výber SimMechanics z knižníc Simulinku	6
Obr. 2 Možnosti bloku Solid	7
Obr. 3 Typy väzieb	9
Obr. 4 Nastavenia bloku Prismatic	10
Obr. 5 Prvý krok pri modelovaní mechanických systémov	11
Obr. 6 Vytvorenie základne	11
Obr. 7 Bloky pre rameno	12
Obr. 8 Parametre blokov ramena	12
Obr. 9 Maska subsystému	13
Obr. 10 Bloková schéma jednoduchého ramena	14
Obr. 11 Parametre subsystému rameno	14
Obr. 12 Vizualizácia jednoduchého kyvadla	14

Úvod

V tomto tutoriále stručne opíšem základné bloky prostredia SimMechanics, ktoré je integrované v MATLAB/Simulink. SimMechanics umožňuje modelovať systémy na základe ich kinematickej štruktúry. Jeho výhodou je že z výsledného modelu automaticky zostaví pohybové rovnice a vytvorí vizualizáciu dynamiky modelu. Pretože je súčasťou Simulinku umožňuje to na výsledný model navrhovať a testovať rôzne riadiace štruktúry. V druhej kapitole opisujem kroky, ktoré je nutné vykonať pri modelovaní jednoduchého kyvadla.

1. Modelovanie v MATLAB SimMechanics

V hlavnom okne MATLABU je potrebné zadať príkaz simulink, ktorý spustí rozšírenie MATLABU Simulink. V Simulinku vytvoríme nový model kliknutím na File \rightarrow New \rightarrow Model, alebo použitím klávesovej skratky Ctrl+N. Z knižníc Simulinku otvoríme Simscape \rightarrow SimMechanics \rightarrow Second Generation ako je vidieť na Obr. 1. V tejto knižnici sa nachádzajú podkižnice Body Elements, Constrains, Forces and Torques, Frames and Transforms, Gears and Couplings, Joints a Utilities.



Obr. 1 Výber SimMechanics z knižníc Simulinku

V **Body Elements** sú tri bloky. Prvým je *Graphic* pomocou ktorého môžeme definovať tvar a farbu telesa. Druhým blokom je *Inertia*, ktorým definujeme hmotnosť a zotrvačnosť telesa ako aj umiestnenie hmotného bodu. Tretí blok *Solid* zahrňuje funkcionalitu blokov *Graphic* a *Inertia*.

Solid : Solid						
Description			_			
Represents a solid comb graphics component into block of rigid bodies. Th geometry and density, inertia tensor that you	pining a geometry, an o a single unit. A solid e Solid block obtains t from the geometry an specify.	inertia and mass, and is the common building he inertia from the d mass, or from an	a			
In the expandible node: geometry, inertia, and g parameterizations. Port R is a frame port th with the geometry	s under Properties, se graphic features that nat represents a refer	lect the types of you want and their ence frame associated	1			
Descertise						
Properties			_			
🗏 Geometry						
Shape	Brick					
Dimensions	[111]	m 👻				
🗏 Inertia						
Туре	Calculate from Geo	ometry 👻	=			
Based on	Density	•				
Density	1000	kg/(m^3) 🚽				
🗏 Graphic						
Туре	Type From Geometry 🗸					
Visual Properties	Simple 👻					
Color	10 5 0 5 0 51		-			
	OK	Cancel Help App	ly			

Obr. 2 Možnosti bloku Solid

Ako možno vidieť na obrázku Obr. 2 v časti Geometry môžeme vybrať tvar z rozbaľovacieho menu *Shape*. Vybrať môžeme valec, kde definujeme jeho polomer a dĺžku - *Cylinder*, guľu, kde definujeme polomer - *Sphere*, kváder, kde definuejme jeho šírku, dĺžku a výšku - *Brick*, elipsoid, kde definujeme jeho rozmery v troch osiach - *Ellipsoid*, extrudovaný pravidelný mnohouholník, kde zadávame počet strán, priemer a dĺžku - *Regular Extrusion*, extrudovaný mnohouholník, kde definujeme súradnice vrcholov podstavy a dĺžku extrudovania - *General Extrusion*, rotačné teleso, kde definujeme súradnice vrcholov rovinného telesa a uhol o ktorý je rovinný útvar zrotovaný okolo osi - *Revolution* a možnosť načítať tvar zo súboru - *From File*.

V časti *Inertia* sa definuje hmotnosť a zotrvačnosť telesa. Prvou možnosťou je *Calculate from Geometry*, ktorá môže byť založená na zadanej hmotnosti *Based on Mass*, kde zadáme hmotnosť telesa a program vypočíta zotrvačnosť telesa, alebo môže počítať zotrvačnosť telesa na základe zadanej hustoty telesa – *Based on Density*. Ďalšou možnosťou je definovanie pomocou hmotného bodu – *Point Mass*, kde zadáme hmotnosť telesa a program sám urči polohu hmotného bodu na základe geometrických rozmerov telesa. Poslednou možnosťou je vlastné definovanie – *Custom*,

pomocou ktorého sami nastavíme hmotnosť telesa, polohu hmotného bodu, moment zotrvačnosti v troch osiach.

V časti *Graphic* vyberieme spôsob zobrazenia telesa podľa geometrických rozmerov – From Geometry, ako znázornenie hmotného bodu – *Marker*, alebo bez zobrazenia - *None*. Ďalšie možnosti sú pre nastavenie farby, priehľadnosti a ďalších vizuálnych efektov.

V podknižnici **Constraints** sú bloky Angle Constraint, ktorým môžeme určiť uhol medzi z-osami dvoch telies a Distance Constraint, ktorým môžeme zadať vzdialenosť medzi dvoma telesami.

Forces and Torques zahŕňa bloky *External Force and Torque*, tento blok pôsobí na teleso externou silou alebo momentom, *Internal Force*, *Spring and Damper Force*, ktorý predstavuje silu pružiny a tlmenia a Inverse square *Law Force*.

K *Frames and Transforms* patria štyri bloky. Blok *Rigid Transform* definuje fixnú väzbu medzi dvoma telesami. Pomocou tohto bloku môžeme vytvoriť rotáciu, alebo translačný posun. Pri rotácii sú na výber tri metódy. Prvou je metóda *Aligned Axes*, kde definujeme dva páry osí medzi dvoma telesami medzi ktorými chceme vykonať rotáciu. Ďalšou metódou je *Standard Axis*, kde určíme smer osi okolo ktorej sa uskutoční rotácia a uhol rotácie. Poslednou možnosťou je *Arbitrary Axis*, kde definujeme veľkosť uhla a osi okolo ktorých ma byť vykonané rotácia.

Pri translačnom posune máme taktiež k dispozícii tri metódy. Prvou je *Cartesian*, kde definujeme posunutie v smere každej osi. ďalšou metódou je *Standard Axis*, kde vyberieme smer jednej osi a zadáme veľkosť posunutia v rámci tohto smeru. Poslednou metódou je *Cylindrical*, kde zadávame polomer, uhol a odsadenie v smere osi Z.

Veľmi dôležitým blokom z tejto podknižnice je *World Frame*, ktorým definujeme pevnú referenčnú polohu. Tento blok sa musí nachádzať v každej zapojenej schéme. Pomocou bloku *Reference Frame* môžeme určiť pomocnú referenciu.

V Gears and Couplings sa nachádzajú bloky ozubených kolies.

FEI



Obr. 3 Typy väzieb

Ako môžeme vidieť na Obr. 3 v podknižnici **Joints** sa nachádza 15 blokov kĺbov. Pri modelovaní jednoduchší modelov nám postačí posuvná väzba *Prismatic Joint* a rotačná väzba *Revolute Joint*.

Pri blokoch väzieb – Joints určujeme nastavenia v štyroch celkoch, ktoré sú zobrazené *Obr. 4 Nastavenia bloku Prismatic*. Prvým celkom je nastavenie počiatočných hodnôt – *State Targets*. Môžeme definovať počiatočné hodnoty pozície a rýchlosti a určiť prioritu týchto hodnôt. Druhým celkom je *Internal Mechanics* v ktorom zadávame rovnovážnu polohu kĺba *Equilibrium Position*, tuhosť pružiny *Spring Stiffness* a koeficient tlmenia *Damping Coefficient*. Tretím celkom je nastavenie pôsobenia sily na kĺb – *Actuation*. Sila ktorá pôsobí na kĺb môže byť privádzaná zo vstupu – Provided by Input, automatický vypočítaná – *Automatically Computed*, alebo žiadna – *None*. Pohyb ktorý vyvolá pôsobiaca sila môže byť vypočítany automaticky – *Automatically Computed*, alebo definovaný vstupom - Provided by Input. Posledným celkom *Sensing* sa určuje či požadujeme sledovanie fyzikálnych veličín v kĺbe ako je poloha, rýchlosť, zrýchlenie a pôsobiaca sila. Na privedenie sily pomocou vstupu je potrebne použiť blok *Simulink-PS Converter*, ktorý umožňuje privádzať informácie zo Simulinku do Simmechanics. Naopak pre zobrazenie priebehu fyzikálnej veličiny kĺbu pomocou bloku *Scope* je potrebné použiť blok *PS-Simulink Converter*, ktorý sa nachádza v knižnici Simscape → Utilities.

Poslednou podknižnicou Simscape \rightarrow SimMechanics \rightarrow Second Generation je **Utilities** v ktorej sa nachádza blok *Mechanism Configuration*, ktorým definujeme gravitačné pôsobenie Zeme.

Pri blokoch Transforms a Joints je dôležité správne pripojenie telies. Písmeno B označuje napojenie na vzťažné teleso – Base a písmeno F označuje napojenie na teleso, ktoré sa vzťahuje na vzťažné teleso – Follower Frames.

Prismatic Joint : Prismatic			۲		
Description]		
Represents a prismatic joint between two frames. This joint has one translational degree of freedom represented by one prismatic primitive. The joint constrains the follower origin to translate along the base z-axis, while the base and follower axes remain aligned.					
In the expandible nodes under Properties, specify the state, actuation method, sensing capabilities, and internal mechanics of the primitives of this joint. After you apply these settings, the block displays the corresponding physical signal ports.					
Ports B and F are frame ports the respectively. The joint direction relative to the base frame.	at represent the base is defined by motion of	and follower frames, the follower frame			
Properties			—		
 State Targets 					
Specify Position Target	V				
Specify Velocity Target					
Internal Mechanics					
Equilibrium Position	0	m 👻			
Spring Stiffness	0	N/m 👻	=		
Damping Coefficient	0	s*N/m 👻			
Actuation					
Force	None	•			
Motion	Automatically Com	puted 👻			
Sensing					
Position			+		
	ОК	Cancel Help Ap	ply		

Obr. 4 Nastavenia bloku Prismatic

2. Modelovanie jednoduchého kyvadla

Prvým krokom po vytvorení nového modelu je vloženie troch základných blokov bez ktorých by nebolo možné spustiť simuláciu. Sú to bloky na Obr. 5. *Solver Configuration*, ktorý sa nachádza v Simscape → Utilities a definuje parametre potrebné pre výpočet. Blok *World Frame*, ktorý predstavuje pevnú referenciu a blok *Mechanism Configuration* v ktorom sa definuje gravitačné zrýchlenie v tvare [00-9.80665]. Bloky môžeme otočiť o 90 stupňov v smere hodinových ručičiek ak klikneme ľavým tlačidlom myši na blok a použijeme klávesovú kombináciu Ctrl+R a v protismere hodinových ručičiek skratkou Ctrl+Shift+R. Bloky navzájom prepojíme.





Obr. 5 Prvý krok pri modelovaní mechanických systémov



Blok transformácie *Rigid Transform* zabezpečuje rotáciu celej sústavy. V nastaveniach rotácie vyberieme metódu *Standard Axis* zvolíme smer osi +X a 90 stupňov.

Ďalej vložíme blok Solid. Dvojklikom si otvoríme nastavenia parametrov. Tvar ponecháme *Brick*, jednotky rozmeru prepneme na cm a dĺžky strany definujeme ako [5 5 5]. V nastaveniach grafiky definujeme farbu napríklad ako [0.7 0.7 0]. S *World Frame* spojíme blok *Rigid Transform* a k nemu pripojíme blok *Solid*, ktorý bude predstavovať základňu s pevnou polohou.

Následne vytvoríme rameno pre ktoré budeme potrebovať bloky *Solid* a dvakrát blok *Rigid Transform*. Na blok *Rigid Transfrom*, ktorý sa nachádza na ľavej strane od Ramena klikneme ľavým tlačidlom myši a stlačíme klávesovú kombináciu Ctrl+I. Táto klávesová kombinácia vykoná obrátenie bloku okolo zvislej osi. Spojíme výstupy blokov *Rigid Transform*, ktoré sú označené B s blokom Ramena. B je z Base, čiže tento výstup definuje vzťažný bod od ktorého sa vykoná transformácia. Blok naľavo od ramena označíme L a blok napravo od ramena označíme **P**.



Obr. 7 Bloky pre rameno

🖉 Rigid Transform : L	<u>×</u>]	🕤 Solid : Rameno			3	Ľ	[‡] Rigid Transform	n : P		- 0	23
Description	— I [Description			_	D	escription				
Defines a fixed 3-D rigid transformation between two frar Two components independently specify the translational rotational parts of the transformation. Different translation and rotations can be freely combined. In the expandible nodes under Properties, choose the typ and parameters of the two transformation components. Ports B and F are frame ports that represent the base an follower frames, respectively. The transformation represe the follower frame origin and axis orientation in the base frame.	Description Description Persones. Represents a solid combining a geometry, an inertia and mass, and a graphics component into a single unit. A solid is the common building block of rigid bodies. The Solid block obtains the inertia from the geometry and density, from the geometry and density, from the geometry and density. From the geometry and density, from the geometry and density, from the geometry and density. From the geometry and density ou specify. Defines a fixed 3-D rigid transformation between two fra Two components independently specify the translation of two components independently specify the translation of the transformation. Different translation rotations can be freely combined. ype In the expandible nodes under Properties, select the types of geometry, inertia, and graphic features that you want and their parameterizations. In the expandible nodes under Properties, choose the typ parameters of the two transformation components. e Port R is a frame port that represents a reference frame accorated with the geometry. Frame origin and axis orientation in the base frame origin and axis orientation in the base frame origin and axis orientation in the base.		n two frame: slational and translations se the type nts. base and on represent base frame.	s. d s and and ts the							
Properties		Properties									
E Rotation					- U	HP.	Rotation				
Method None		Shane	Prick			11.	Method	None			_
Translation		Dimensions		cm	-	UP.	I I ranslation	0			
Method Standard Axis		E Inertia	[034]	ciii	•	llŀ	Method	Standard	Axis		
Axis -X	-	Type	Calculate from	Geometry	- 11	llŀ	Axis	+X			
Offset D/2 cm	-	Based on	Density	oconneary	÷	Шŀ	Uffset	D/2	cm	1	
		Density	rho	ka/(m^3)	÷	Ш.					
		E Graphic		1.9/(÷.						
		Туре	From Geometry	/	.	Ш.					
		□ Visual Properties	Simple		•						
		Color	[0.0 0.2 0.6]								
		Opacity	1.0								
OK Cancel Help	pply		OK	Cancel Help Ap	ply				OK Cance	l Help	Apply

Obr. 8 Parametre blokov ramena

Rozmery ramena zadáme ako premenné [D S V] kde D - dĺžka S - šírka a V – výška. Hustotu definujeme ako premennú rho a farbu napríklad [0 0.2 0.6]. Blok *Rigid Transform* **L** definuje translačné posunie v smere osi –X o vzdialenosť D/2 v [cm]. Blok Rigid Transform **P** definuje translačné posunie v smere osi X o vzdialenosť D/2 v [cm] ako môžeme vidieť na Obr. 8.

Myškou si označíme tieto bloky a použijem klávesovú kombináciu Ctrl+G čím vytvoríme subsystém. Subsystému pridáme masku kliknutím naň a stlačením kombinácie Ctrl+M. V maske sa prepneme na záložku *Parameters & Dialog* a uvedieme všetky premenné ktoré v subsystéme používame. Subsystém pomenujeme ako rameno.

Mask Editor : S	ubsystem						×
Icon & Ports Pa	arameters & Dialog	Initialization	Documentation				
Controls	Dialog box				Property edit	or	
Parameter	Туре	Prompt		Name	Properties	5	_
		% <maskty< td=""><td>pe></td><td>DescGroupVai</td><td>Name</td><td>D</td><td></td></maskty<>	pe>	DescGroupVai	Name	D	
	A	% <maskde< td=""><td>scription></td><td>DescTextVar</td><td>Value</td><td>0</td><td></td></maskde<>	scription>	DescTextVar	Value	0	
		Parameters		ParameterGro	Prompt	Dlzka [cm]	
	311 #1	Dlzka [cm]		D	Туре	edit 💌	
Display	···311 #2	Sirka [cm]		S	Attribute:	5	
	30 #3	Vyska [cm]		v	Evaluate		_
		Hustota [kg	J/m^3]	rho	Tunable Dead ambu		-
					Hiddon		
Action	Dra	g or Click item	s in left palette to	add to dialog.	Never cave		
2 🖓	Use	Delete key to					
					Enable		
					Visible		
					Callback		
					E Lavout		
						· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Unmask	Preview			ОК	Cancel	Help	у

Obr. 9 Maska subsystému

Ďalší krokom je vloženie rotačného spoja Revolute Joint. Výstup bloku Revolute Joint označený B spojíme zo základňou a druhý výstup s ramenom, čo znamená, že rameno sa kyve okolo základni a nie naopak. Toto zapojené je znázornené na Obr. 10.

Hodnoty masky subsystému rameno môžeme definovať dvojklikom na subsystém. Parametre subsistému sú uvedené na Obr. 11.



Obr. 10 Bloková schéma jednoduchého ramena

Block Parameters: Subsystem
(mask)
Parameters
Dlzka [cm]
15
Sirka [cm]
2
Vyska [cm]
2
Hustota [kg/m^3]
2500
OK Cancel Help Apply

Obr. 11 Parametre subsystému rameno

Simulácia sa spustí po stlačení zeleného tlačidla *Run*. Vizualizácia modelovaného jednoduchého kyvadla je na Obr. 12.



Obr. 12 Vizualizácia jednoduchého kyvadla

Záver

Simulačná knižnica SimMechanics Simulinku poskytuje ďalšiu zaujímavú možnosť ako modelovať a skúmať mechanické systémy. Výsledný simulačný model môžeme použiť pre overenie modelu, ktorý sme získali pomocou inej metódy.