Dr. Bob Davidov

Обеспечение адекватности математической модели ее физическому прототипу

Цель работы: Ознакомиться с возможностями пакета Simulink Design Optimization для решения задач адекватности математической модели.

Задача работы: Освоить на примере последовательность операций построения адекватной модели средствами Simulink Design Response.

Приборы и принадлежности: Персональный компьютер, интегрированная среда Матлаб с пакетом Simulink Design Optimization.

введение

Модуль МатЛАБ Parameter Estimation помогает повысить адекватность компьютерной модели ее физическому прототипу. В качестве входных данных модуль использует Simulink модель и экспериментальные данные входных воздействий и откликов физического прототипа модели. Помимо оценки параметров модуль позволяет выполнить предварительную обработку экспериментальных данных и провести валидацию модели.

В этой работе на примере уточнения параметров Simulink модели показаны возможности МатЛАБ для повышения адекватности модели.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Модуль МатЛАБ Parameter Estimation помогает повысить адекватность компьютерной модели ее физическому прототипу. Модуль входит в пакет Simulink Design Optimization, который также содержит модуль Response Optimization предназначенный для оптимизации моделей систем управления с целью повышения точности и быстродействия.

Модуль Parameter Estimation позволяет:

- импортировать экспериментальные данные и делать их предварительную обработку,
- выполнять поиск адекватных параметров модели,
- сравнивать и проверять получаемые результаты оценки.

Для оценки адекватности модели прототипу Parameter Estimation использует экспериментальные данные. Данные можно вводить из рабочего пространства (workspace), файлов с расширением МАТ, из электронной таблицы Microsoft Excel, из ASCII и CSV файлов.

Предварительная обработка данных (Preprocessing)

Экспериментальные данные довольно часто содержат дрейфы и смещения, шумы, выбросы, пропущенные значения, искажения, вызванные ограничением полосы пропускания, и другие аномалии, которые могут привести к неточной оценке параметра.

Модуль Data Preprocessing Tool (Рис. 1) пакета Simulink Design Optimization позволяет устранить источники этих погрешностей.

Control and Estimation Tools Mar	nager 📃 🗖 🔀
ile View Help	
5 🗅 🗳 🖬 📳	
Workspace Project - ABC_param_estimation_3 Estimation Task Wew Data Variables Estimation Wew Estimation Wew Estimation Wew Estimation Wew Estimation Wew Estimation Wew Estimation	Input Data Output Data State Data Assignate to blocks Output Data Time / Ts Weight Length ABC_param_estimation_3/Output Channel - 1 test_dist(:,2) test_inj(:,1) 1 2369/2369 Import Pre-process Plot Data Clear All
Data Preprocessing Tool i	for Dataset: New Data (2) X put Y Write results to: O existing dataset New Data O new dataset Dataset1
Raw data Modified data	Exclusion Rules Detrend/Filtering
Time (seconds) to	est_dist(:,2)
0.0	371 Bounds
0.100 2.3	371
0.200 2.3	372 Evolude Y: 2- 9 Evolude Y: N- 9
0 300 23	
0.400	373 Evolude V: Z= V Evolude V: S= V
0.500	
0.600	775
0.000 2.	776 Outliers
0.200	770
0.000	270
1.0	Window length:
1 100 23	394
1 200 23	Confidence limits (%): DS
1 300 21	388
Grey back Excluded by a Red text Manually exclu	rule Exclude Graphically Flatlines Window:
Missing Data Handling	data is excluded or missing Interpolate missing values using interpolation method zoh

Рис. 1. Окно модуля Data Preprocessing Tool для удаления сомнительных данных. Окно открывается при помощи Control and Estimation Tools Manager (путь: меню модели > Tools > Parameter Estimation далее, как показано на диаграмме этого рисунка выше). Нежелательные отклонения можно корректировать используя графические средства или с помощью правил исключения.

Наблюдать за результатами обработки экспериментальных данных можно по таблице входных / выходных данных Raw data Modified data или при помощи соответствующих графиков вызываемых по команде Exclude Graphically :



Строки с отсутствующими экспериментальными данными обозначаются как NaN. Для удаления отсутствующих данных сделайте следующие установки в поле Missing Data Handling интерфейса Preprocessing:

Missing Data Handling		
Remove rows where	all 💌	data is excluded or missing
	all	
	any	

Для заполнения строк отсутствующих данных используйте интерполяцию:

Missing Data Handling		
Remove rows where all v data is excluded or missing	Interpolate missing values using interpolation method	zoh 💌
		zoh Linear
		L

Примечание. zoh (Zero-order hold) – это интерполяция нулевого порядка которая копирует в строки отсутствующих данных предшествующие данные.

Выбросы (outliers) – это данные, которые отличаются от среднего значения более чем на три стандартных отклонения. Для удаления выбросов, установите флажок Задать количество данных, используемых для расчета выбросов ^{Window length:} 10 любым положительным целым числом, и использовать доверительные интервалы ^{Confidence limits (%):} 95 от 0 до 100 %.

Чтобы удалить среднее значение из экспериментальных данных выберите Detrending на закладке Detrend/Filtering.

Для фильтрации данных необходимо взвести флажок 🔽 Filtering и выбрать тип фильтра. Для First order фильтра первого порядка можно залать постоянную времени First order filter with time constant 10 Transfer function . Для передаточной функции необходимо Ideal ввести коэффициенты А и В. Для идеального фильтра (без спалов и пульсаций) следует выбрать полосу (Pass/Stop) и задать ее диапазон в Гц.

Обработку экспериментальных данных можно выполнять используя уравнения МатЛАБ ✓ MATLAB expression abs(x)>1 и заданием граничных значений ✓ Bounds данных массивов X и Y.

Массив предварительной обработки экспериментальных данных командой Add можно переписать в массив исходных данных обработки **existing dataset** или в новый массив

hew dataset
 Dataset2

Валидация (Validation)

Модуль Estimation включает также процедуру Validation* которая сравнивает выходные данных модели с независимым набором экспериментальных данных. Процедура необходима для определения, является ли модель адекватной и как точно модель отражает динамику системы.

Примечание*: Согласно стандарту валидация – это "Подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены".

Simulink Design Optimization позволяет сравнить несколько выходов модели с независимыми наборами данных для отбора параметров модели наиболее полно соответствующих параметрам прототипа.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для знакомства с механизмом обеспечения адекватности математической модели ее физическому прототипу необходима модель прототипа и экспериментальные данные реакции прототипа на входные воздействия. При отсутствии экспериментальных данных их можно заменить данными, смоделированными в Simulink при помощи модели прототипа.

Задание 1. Обеспечение адекватности модели.

1. В среде Simulink соберите пример модели объекта системы управления находящегося в среде которая влияет на состояние объекта.



- 2. Подключите массивы данных экспериментальных воздействия на объект к двум входным портам модели. Для этого
 - 2.1. В окне меню модели > Simulation > Configuration Parameters > Data Import/Export установите флажки параметров Input и Output. Это разрешает получение моделью данных workspace и возврат данных модели в workspace через входные и выходные порты верхнего уровня модели: 1 →; 2 →; 1.

Configuration Parameters: ABC_param_estimation_3/Configuration (Active)									
Select:	r.	oad from workspa	ace			^			
Solver		🗹 Input: [t, u]							
		Initial state: 🛛	Initial						
 Diagnostics Hardware Implementat. Model Referencing 		Save to workspace - Time, State, Out	e put						
		🔲 Time:	tout	Format:	Array 🍟				
		🗌 States:	xout	🗹 Limit data points to last:	1000				
		🗹 Output:	yout	Decimation:	1				
		Final states:	xFinal	📃 🗆 Save complete SimState i	in final state				

- 2.2. Для массив [t, u] данных двух входных портов модели имеет следующий формат t = test_inj(:,1);
 - u(:,1) = test_inj(:,2);
 - $u(:,2) = test_exh(:,2);$,

где t – вектор столбец времени экспериментальных данных, u(:,1) и u(:,2)вектора экспериментальных воздействий для первого и второго порта модели.

3. Для контроля результатов настройки параметров модели подключите к осциллографу модели экспериментальные данные реакции физического прототипа на экспериментальные воздействия.

Данные блока библиотеки Simulink > Sources > From Workspace могут иметь следующий формат.

```
Maccив
test_dist = [t(:,1), dist(:,1)];
или структура
test_dist.time = [TimeValues];
test_dist.signal.values = [DataValues];
```

4. Присвойте выделенным параметрам модели числовые значения максимально приближенные значениям реальных параметров, например

```
E = -1.4;

F = 150;

I = 0.7;

B = 7;

WB = 7;

WD = 78;
```

Примечание. После присвоения данные должны находится в рабочей области МатЛАБ (Workspace).

5.	Проверьте	работос	пособность	модели	c	назначенными	параметрами	И
						236	Normal	•
	эксперимент	альными	данными.	Запустите	модел	TIL Start simulation	n	,
	найдите реак	цию моде	ли на экране	е осциллогра	афа —	► ►		



Рис. 2. Данные экспериментального отклика физического прототипа модели (розовый график) и реакция модели на экспериментальные воздействия (желтый график). Заметно существенное отличие в реакции модели и прототипа на одно и тоже воздействие.

Данные Рис. 2 показывают, что поведение модели не соответствует поведению ее физического прототипа. Для обеспечения лучшей адекватности модели ее прототипу выполните следующие шаги.

6. Откройте менеджер Control and Estimation Tools командой меню модели > Tools >



Parameter Estimation.

🙀 Control and Estimation Too	is Manager	
Eile ⊻iew <u>H</u> elp		
20 6 🖬 🗊		
Workspace Project - ABC_param_estimat Estimation Task Transient Data Variables Estimation Variables Variables Variables Variables	Task settings Title: Subject: Author: Company: Description:	
<	Model: ABC_param_estimation_3 Open Model Up	date Task
Calastilla and a balancia coeficiens on	d over address times	

Рис. 3. Окно Control and Estimation Tools Manager.

- 7. Создайте New новые Птаnsient Data данные. При необходимости измените имя раздела New Data.
- 8. Выполняя следующие последовательности заполните колонки Data и Time таблицы соответствующими экспериментальными данными воздействий на прототип.

				🙀 Control and Esti	mation Tool	is Manager							
				File View Help									
				2069									
				📣 Workspace		Input Data Output	Data State Data						
🖬 Data Import			×	Project - ABC_pa	aram_estimat ask	Assign data to block	\$						
					t Data	Input	Data	Time / Ts	Weight	Length			
Import from: Workspace					Data	ABC_param_est	imation_3/test_inj						
Import from Workopace				Variables		Channel - 1	test_inj(:,2)	test_inj(:,1)	1	2369/2369			
Variable Name	Size	Bytes (Class	E Ca Validation		ABC_param_est	mation_3/test_exh	51		- Inorn			
test dist	2369v2	37904 d	iouble 🔨			Channel - 1]	1	-72369			
test exh	2369v2	37904 d	iouble				A						
test ini	2369v2	37904 d	iouble				1						
III time	200002	10052 d	loublo				. A.						
1 mile	2300001	10952 0											
Assian the following colu	mns to selected	I channels:	[[2]]										
0		~				3			200				
Assign the following row	s to selected ch	appels:	[1:2369]				Import.	Pre-process	Plot Data	Clear All			
0.7			(<u> </u>	<	>								
6	Import	Close	Help	- New Data node has bee	en added to Tr	ansient Data.				1			
L.	aniport J									N			
				Select the tabbed panels	to configure th	ne transient data set.							

Примечание. Кроме рабочего пространства данные могу быть взяты из MAT, XLS, CSV Import from: Workspace •

from:	Workspace 💌
	Workspace
	MAT file
	XLS file
	CSV file
	ASCII file

или ASCII файла

9. Перейдите на закладку Output Data и проделайте то же самое с подключением экспериментальных данных реакции прототипа модели.

🐱 Control and Estimation Too	ls Manager				
File View Help					
🗃 🎦 🛛 🖬 📳					
📣 Workspace	Input Data Output Da	ta) State Data			
Project - ABC_param_estimat	Assign data to blocks				
🗐 🛅 Transient Data	Output	Data	Time / Ts	Weight	Length
الله المعامة ال	ABC_param_estim	at <u>ion 3/Output</u>			
	Channel - 1	test_dist(:,2)	test_inj(:,1)	1	2369/2369
ia- Lio Validation					
<		Import.	. Pre-process	. Plot Data	Clear All

Построить график экспериментальных данных можно следующим образом.

	ABC_param_estimation_3/Output	
	File Edit View Insert Tools Desktop Window Help	Y
	1) 😂 😖 🔌 🔍 🥄 🖑 🕲 🖳 🔏 · 🚭 🔲 🗉 💷	
	Data plot for port ABC_param_estimation_3/Output 4 r	
Control and Estimation Tools Manager File View Help	3.5- A MM	
Imput Data State Data Input Data State Data Imput Data State Data Imput Data State Data Imput Data State Data Imput Data State Data		
ABC_param_estimation 3/Dutput Channel - 1 (test_dist(;;2)) ABC_param_estimation 3/Dutput Channel - 1 (test_dist(;;2)) Wews ↓ ∑ Default View ⊕ ♥ Validation	1.5 - 1 -	
	0.5 0 0 50 100 150 200 Time	250
Import	Pre-process Plot Data Clear All	
Indetter	Add	

- 10. Укажите на раздел ^{Чагіаbles} и нажмите кнопку ^{Вад...}. Выберите в появившемся окне Select Parameters параметры модели которые необходимо привести в соответствие Apply параметрам прототипа. Нажмите кнопку
- 11. Сократите диапазон (-Inf .. + Inf) настройки каждого параметра до области существования параметра. Это облегчит поиск нахождения адекватного значения параметра. Однако, иногда, для изменения начальной точки алгоритма поиска глобального экстремума целесообразно расширить ограничения за пределы области существования параметров.

📓 Select Parameters 🛛 🔀	🛛 🖬 Control and Estimation Tools Manager						
Select additional parameters to estimate	File View Help						
Name Size B 1x1 E 1x1 F 1x1	Image: Second						
I IXI WB IXI WD IXI t 2369x1 test_dist 2369x2 u 2369x2 Specify expression (e.g., s.x, a(3), b(2)): OK Cancel Help Apply	Estimation Task	Selected parameters	Default settings Name: B Value: 7 Initial guess: B Minimum: -Inf Maximum: +Inf Typical value: B Used by blocks: ABC_param estimation_3/INI size				
12. Перейдите в разде.	л 😐 🛱 Estimation , При необходимо	нажмите кнопку сти измените имя раз	New, выделите раздел дела New Estimation.				
		Data Set	Selected				
12 Ha partuativa Data Sata		New Data	✓				

13. На закладке Data Sets поставьте галочку напротив New Data

📣 Workspace	[Data Sets Par	ameters State:	Est	imatio	n				
Project - ABC_param_estimat	ſ	Estimation para	ameters							
📮 [Transient Data		Parameter	Value	Est	imate		Initial Guess	Minimum	Maximum	Typical Value
[ii] New Data		В	7				В	0	16	В
Variables		E	-1.4		 Image: A start of the start of		E	-3	0	E
		F	150		 Image: A set of the set of the		F	25	200	F
New Estimation		I	0.7				I	0	2	I
		WB	7		 Image: A set of the set of the		WB	0	16	WB
🖃 🗠 🌏 Validation		WD	78				WD	50	90	WD

14. В закладке Parameters выберите параметры которые необходимо настроить.

- 15. В закладке Estimation поставьте галочку **Бом progress views** показывать процесс настройки параметров.
- 16. При необходимости в закладках раздела [Estimation Options...] задайте время работы модели (Start time и Stop Time), метод и алгоритм настройки, допуски и число итераций и др. параметры.
- 17. Запустите Estimation настройку параметров модели нажатием на кнопку Start
- 18. Во время настройки параметров текущие величины параметров модели и реакция модели отображаются на двух основных графиках. Данные настройки выводятся в табличном виде.
- 19. После окончания Estimation (процесса настройки параметров) откройте столбец с вычисленными значениями параметров.

Workspace		ata Sets (Paran	neters) State	s	Estimation				
Project - ABC_param_estimation_3		Estimation parameters							
🖃 📴 📕 Estimation Task									
🖨 🛅 Transient Data		Parameter	Value 🌂		Estimate	Initial Guess	Minimum	Maximum	Typical Value
[;;;] New Data	\mathbf{r}	В	9.3522	٢		В	0	16	В
Variables		E	-2.11	r		E	-3	0	E
Estimation		F	217.96	ſ		F	25	+inf	F
New Estimation		I	0.93867	Γ	Image: A start of the start	I	0	2	I
E-		WB	11.55	Г	Image: A start of the start	WB	0	16	WB
🚬 🔤 Default View		WD	87.405	Γ	Image: A start of the start	WD	50	90	WD
🗄 🛃 Validation			-						

Результаты в графическом виде можно запросить следующим образом.

orkspace Project - ABC_param_estimation_3	View Setup			
Estimation Task	Select plot types			
🖃 🛄 Transient Data	Plot Number	Plot Type		Plot Title
[;;;] New Data	Plot 1	Parameter trajectory	×	
Variables	Plot 2	Measured and simulate	d 💋 🔪	
Estimation	Plot 3	(none)		
- 🕎 New Estimation	Plot 4	(none)		1
Views	Plot 5	(none)		1
€ C Validation	Options	/		
	Estimation	Plot 1	Plot 2	
	New Estimatio	n 🔽	 Image: A start of the start of	
				1
<			Show Pl	lots

20. При неудовлетворительных результатах настройки можно изменить исходные данные (список параметров, диапазон изменения параметров модели, параметры Estimation и др.) и повторить настройку. Конечное состояние предыдущей настройки используется как начальное состояние новой настройки параметров.



Data Sets Parameters States Estimation

Iteration	Function Count	Cost Function	Step Size	Procedure			
2	29	6179	0.95989		٦		
3	39	5645.4	0.04629	Hessian modified			
4	45	3740.5	2.9673		٦,		
5	61	3537.1	0.0027362		1		
6	77	3495.3	0.0023338	Hessian modified	1		
7	88	2820.2	0.070442	Hessian modified	1		
В	104	2809.8	0.0030102		1		
9	115	2373	0.072282	Hessian modified	1		
10	122	2372.8	0.033296	Hessian modified			
11	138	2372.8	1.8379e-05	Hessian modified			
Performing transient estimation							
Active experiments: New Data							

Local minimum possible. Constraints satisfied.

fmincon stopped because the predicted change in the objective function is less than the selected value of the function tolerance and constraints are satisfied to within the selected value of the constraint tolerance.

Data Sets Parameters States Estimation								
Estimation parameters								
Parameter	Value	Estimate	Initial Guess	Minimum	Maximum	Typical Value		
В	9.8661	 Image: A set of the set of the	В	0	16	В		
E	-2.0803	 Image: A start of the start of	E	-3	0	E		
F	217.69	Image: A start of the start	F	25	+inf	F		
Ι	0.86829	Image: A start of the start	I	0	2	I		
WB	11.405	Image: A start of the start	WB	0	16	WB		
WD	85.497	Image: A start of the start	WD	50	90	WD		

Рис. 4. Пример промежуточных результатов Estimation (настройки параметров).

Показанные графики отклика модели и прототипа совпадают лучше чем до процесса Estimation (см. Рис. 2) однако для лучшего совпадения стоит повторить Estimation с другими начальными условиями, например,

- измененным набором параметров;
- измененным диапазоном ограничения параметров;
- другими методами и алгоритмами настройки параметров;
- экспериментальными данными реакции на <u>типовые</u> (а не другие) воздействия;
- экспериментальными данными прошедшими предварительную обработки (Preprocess)
- измененным временем моделирования;
- доработанной структурой модели.

Задание 2. Предварительная обработка экспериментальных данных.

В разделе Общие сведения показаны возможности модуля Preprocessing позволяющего удалить из экспериментальных данных дрейфы, смещения, шумы, выбросы, пропущенные

значения, искажения, вызванные ограничением полосы пропускания, и другие аномалии, которые могут привести к неточной оценке параметра.

В экспериментальных данных отклика прототипа рассматриваемого примера имеются участки высокочастотных шумов (Рис. 5) которые затрудняют поиск глобального экстремума.



Рис. 5. График экспериментальных данных отклика прототипа. Шумы экспериментальных данных (выделены красным цветом), как правило, возникают при изменении направления движения.

Проведите предварительную обработку экспериментальных данных (Preprocessing) в следующем порядке.

1. Сделайте копию входных и выходных данных модели выполняя шаги 7, 8, и 9 предыдущего задания.



2. Выберите режим обработки экспериментальных данных Pre-process.

🙀 Control and Estimation Tools Ma	anager				
File View Help					
🗃 🔼 🔂 🗃 🔳					
Workspace Project - ABC_param_estimation_3 Estimation Task Transient Data Wew Data Wew Data Wariables Estimation Wew Estimation Views Views Validation	Input Data Output Data State Data Assign data to blocks Output Data ABC_param_estimation_3/Output Channel - 1 test	Time / Ts Weight Length dist(;,2) test_ini(:,1) 1 2369/2369 Import Pre-process Plot Data Clear All			
Data Preprocessing Tool Modify data fromtimation_3/Ou Data Editing	for Dataset: New Data (2)) existing dataset New Data 💉 💿 new dataset Dataset1			
Raw data Modified data		Exclusion Rules Detrend/Filtering			
Time (seconds)	test_dist(:,2)				
0.0		Bounds			
0.100 2	.371				
0.200 2	372	Evolute V: 2010 Evolute V: 5010			
0.300 2	372				
0.400	373	Evolude V: 2= V Evolude V: 5= V			
0.500	979				
0.500 2	975				
0.000 2		Outliers			
0.700 2					
0.800 2					
0.900 2		Window length: 10			
1.0 2					
1.100 2	.384	Confidence limits (%): 95			
1.200 2					
Grey back Excluded by a rule Red text Manually excluded					
Missing Data Handling Remove rows where all	data is excluded or missing	Interpolate missing values using interpolation method Zoh Add Close Help			

Рис. 6. Окно Data Preprocessing Tool.

3. Доведите экспериментальные данные отклика прототипа, например, до результата, показанного на Рис. 7.



Рис. 7. Выходные данные процедуры Preprocessing. Данные не содержат высокочастотных шумов. Однако фильтрация привела к смещению данных во временной области. Перед процедурой Estimation необходимо сместить (во времени) данные экспериментального воздействия или отклик процедуры Preprocessing.

4. Сократите интервал моделирования на время задержки отклика в процедуре Preprocessing и запустите настройку параметров.

Задание 3. Подтверждение адекватности параметров модели.

Валидация (Validation) необходима для определения, является ли модель адекватной и как точно модель отражает динамику системы. Валидация выполняется после процедуры оценки параметров (Estimation) в той же последовательности как и Estimation только с независимым набором экспериментальных данных.

При наличие независимых экспериментальных данных воздействия и отклика прототипа выполните следующие шаги процедуры Validation (если независимые экспериментальные данные отсутствуют смоделируйте их)

- 1. После выполнения процедуры Estimation (задание 1) введите независимые экспериментальные данные как показано в п 7, 8, 9 задания 1. Присвойте блоку данные имя, например, Validation Data.
- 2. Выберите New Validation

Control and Estimation Tools	Manager			
File View Help				
🗃 🗋 😂 📓 🔳				
📣 Workspace	Validation Setup			
Project - ABC_param_estimation Estimation Task	Select plot types			
📮 <u>न</u> Transient Data	Plot Number	Plot Type	Plot Title	
- [;;;] New Data	Plot 1	Measured and simulated		~
(iiii) Validation Data (2)	Plot 2	(none)		
	Plot 3	(none)		~
Rew Estimation	Options			
🖨 🔂 Views	Validation data set:	New Data		
C Default View	validation data set,	Indem Data		
	Estimation	Plot 1		
	New Estimat	ion 🔽		
		10 South 15		
	16			
		4	5how Plots	

Рис. 8. Окно процедуры валидации.

- 3. Haстройте Plot1 (Рис. 8) на отображение Measured and Simulated данных
- 4. В окне Option выберите набор данных для валидации

Options		
Validation data set:	Validation Data	×

- 5. Нажмите Show Plots для графического отображения результатов валидации.
- 6. Сравните полученные графики. Определите насколько поведение модели соответствует прототипу.
- 7. Сохраните проект в файле данных с предлагаемом МАТ расширением.

🛃 Save Projects	
Projects:	
Project - ABC_param_estima	ion_3
	~
OK Can	el Help

контрольные вопросы

- 1. Для чего предназначена процедура Estimation пакета Simulink Design Optimization?
- 2. Для чего предназначена процедура Preprocessing?
- 3. Для чего предназначена процедура Validation.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Help MatLAB.
- 2. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах <u>http://portalnp.ru/author/bobdavidov</u>.