



Владимир Дьяконов

MATLAB 6/6.1/6.5

Simulink 4/5

в математике и моделировании

СЕРИЯ

ПОЛНОЕ
руководство пользователя

ББК 32.973-018.2

УДК 519.6

Д92

Дьяконов В. П.

Д92 MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании.
Полное руководство пользователя. М.: СОЛОН-Пресс. — 2009. — 576 с.

ISBN 5-93455-177-9

В этой второй, но вполне самостоятельной справочной монографии по новейшим системам MATLAB 6.5 + Simulink 5 описано их применение математических расчетах и моделировании. Основной материал книги применим и к версиям MATLAB 6/6.1 и Simulink 4.1/5, созданным уже в этом тысячелетии. Особое внимание уделено анализу, моделированию и проектированию систем и устройств, в частности электрорадиотехнических и телекоммуникационных. Дано описание многих пакетов расширения Blockset и Toolbox самых последних реализаций. Значительное внимание уделено визуализации результатов работы и описанию сотен примеров применения системы MATLAB и ее расширений. Предназначена для инженеров, научных работников, студентов и преподавателей университетов и вузов.

MATLAB and Simulink are registered trademark of The MathWorks Inc.
Blockset, Toolbox and its components are trademark of The MathWorks Inc.

Эту книгу можно заказать по почте (наложенным платежом — стоимость 304 руб.) двумя способами:

1) выслать почтовую открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20;

2) передать заказ по электронной почте (e-mail) по адресу: **magazin@solon-r.ru**.

Необходимо написать полный адрес, по которому выслать книги.

Обязательно указывать индекс и Ф. И. О. получателя!

При наличии — указать телефон, по которому с вами можно связаться, и адрес электронной почты (E-mail).

Цена действительна до 15 апреля 2003 г.

Вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-Пресс» по **Интернету**, послав пустое письмо на робот-автоответчик по адресу

katalog@solon-r.ru,

а также подписаться на **рассылку новостей** о новых книгах издательства, послав письмо по адресу

news@solon-r.ru

с текстом «SUBSCRIBE» (без кавычек) в теле письма.

ISBN 5-93455-177-9

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2009

© Дьяконов В.П., 2009

Оглавление

Введение	3
Предупреждения	5
Благодарности и адреса для связи	6
Глава 1. Работа с MATLAB и Simulink	8
1.1. Назначение и особенности системы MATLAB	8
1.1.1. Назначение системы MATLAB	8
1.1.2. Новые реализации MATLAB 6.*.	9
1.2. Возможности систем MATLAB	9
1.2.1. Возможности прежних версий MATLAB 4.*	9
1.2.2. Возможности версий MATLAB 6.0/6.1	10
1.2.3. Возможности новейшей версии MATLAB 6.5	12
1.3. Особенности матричных систем MATLAB.	13
1.3.1. Интеграция с другими программными системами	13
1.3.2. Ориентация на матричные операции	14
1.3.3. Расширяемость системы.	15
1.3.4. Мощные средства программирования.	16
1.3.5. Визуализация и графические средства	16
1.4. Установка и файловая система MATLAB 6.*	18
1.4.1. Системные требования	18
1.4.2. Инсталляция систем MATLAB 6.*	19
1.4.3. Файловая система MATLAB	20
1.5. Начало работы с системами MATLAB 6.*.	21
1.5.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога	21
1.5.2. MATLAB 6.5 в среде Windows XP	23
1.5.3. Запуск MATLAB 6.5 в среде Windows XP.	24
1.6. Основы интерфейса системы MATLAB	26
1.6.1. Новый и старый облик системы MATLAB 6.*	26
1.6.2. Операции строчного редактирования	27
1.6.3. Команды управления окном	28
1.6.4. MATLAB в режиме прямых вычислений	29
1.6.5. О переносе строки в сессии	32
1.7. Основные объекты MATLAB	33
1.7.1. Понятие о математическом выражении.	33
1.7.2. Действительные и комплексные числа	33

1.7.3. Форматы чисел	35
1.7.4. Константы и системные переменные	35
1.7.5. Текстовые комментарии	37
1.7.6. Переменные и присваивание им значений	37
1.7.7. Уничтожение определений переменных	38
1.7.8. Операторы и функции	39
1.7.9. Применение оператора : (двоеточие)	41
1.7.10. Функции пользователя	43
1.7.11. Сообщения об ошибках и исправление ошибок	44
1.8. Формирование векторов и матриц	46
1.8.1. Особенности задания векторов и матриц	46
1.8.2. Объединение малых матриц в большую	49
1.8.3. Удаление столбцов и строк матриц	50
1.9. Операции с рабочей областью и текстом сессии	51
1.9.1. Дефрагментация рабочей области	51
1.9.2. Сохранение рабочей области сессии	51
1.9.3. Ведение дневника	52
1.9.4. Загрузка рабочей области сессии	53
1.9.5. Завершение вычислений и работы с системой	54
1.10. Двумерная графика	54
1.10.1. Особенности графики системы MATLAB	54
1.10.2. Построение графика функций одной переменной	55
1.10.3. Построение в одном окне графиков нескольких функций	56
1.10.4. Графическая функция fplot	58
1.10.5. Столбцовые диаграммы	59
1.11. Трехмерная графика	60
1.11.1. Построение трехмерных графиков	60
1.11.2. Вращение графиков мышью	61
1.11.3. Контекстное меню графиков	63
1.12. Основы форматирования графиков	63
1.12.1. Форматирования двумерных графиков	63
1.12.2. Форматирование линий графиков	63
1.12.3. Форматирование маркеров опорных точек	65
1.12.4. Форматирование линий и маркеров для графика нескольких функций	66
1.12.5. Форматирование осей графиков	66
1.12.6. Нанесение надписей и стрелок прямо на график	68
1.12.7. Построение легенды и шкалы цветов на графике	70
1.12.8. Перемещение графика в графическом окне	71
1.12.9. Применение графической «лупы»	72
1.12.10. Работа с камерой 3D-графики	72

1.13. Демонстрационные примеры MATLAB	75
1.14. Работа с основным пакетом расширения Simulink	76
1.14.1. Доступ к пакету расширения Simulink	76
1.14.2. Запуск моделей Simulink из среды MATLAB	77
1.14.3. Особенности интерфейса Simulink	78
1.14.4. Поиск и загрузка модели	78
1.14.5. Установка параметров компонентов модели	79
1.14.6. Установка параметров моделирования	80
1.14.7. Запуск процесса моделирования	82
Глава 2. Подготовка электронных документов	84
2.1. Пакет расширения Notebook	84
2.2. Создание ноутбуков	85
2.3. Примеры работы с Notebook	87
2.3.1. Эволюция магической матрицы	87
2.3.2. Эволюция рисунка	88
2.4. Создание новых документов класса Notebooks.	90
2.4.1. Открытие нового документа класса Notebook	90
2.4.2. Пример создания документа класса Notebook	90
2.4.3. Ячейки ввода MATLAB в тексте Word	91
2.4.4. Преобразование текстов Word в ячейки ввода	91
2.4.5. Сохранение документов класса Notebook	91
2.5. Меню Notebook	92
2.5.1. Создание ячейки ввода	92
2.5.2. Создание ячейки автостарта	93
2.5.3. Создание зоны вычислений	93
2.5.4. Преобразование ячеек MATLAB в обычный текст	93
2.5.5. Удаление ячеек вывода	93
2.5.6. Создание многострочной ячейки ввода	93
2.5.7. Преобразование группы ячеек в ячейки ввода	94
2.5.8. Управление показом маркеров	94
2.5.9. Пуск оценки ячеек	94
2.5.10. Пуск оценки зоны	94
2.5.11. Пуск оценки всей М-книги	94
2.5.12. Циклическая оценка	95
2.5.13. Вывод окна MATLAB на передний план	97
2.5.14. Установка опций Notebook	97
Глава 3. Символьные вычисления	99
3.1. Назначение пакета Symbolic Math	99
3.2. Демонстрационные примеры	100
3.3. Работа с объектами и переменными	100

3.3.1. Задание символьных переменных	100
3.3.2. Функция создания символьных переменных <code>sym</code>	101
3.3.3. Функция создания группы символьных объектов <code>syms</code> . . .	102
3.3.4. Функция создания списка символьных переменных <code>findsum</code>	103
3.4. Выводы и преобразования символьных выражений.	103
3.4.1. Выводы символьного выражения	103
3.4.2. Представления выражений в форме LaTeX.	104
3.4.3. Представление выражений в кодах языка C	105
3.4.4. Представление выражений в кодах языка Fortran	105
3.5. Контроль допустимости имен	106
3.6. Векторизация символьных выражений	106
3.7. Арифметика произвольной точности	107
3.7.1. Установка количества знаков чисел	107
3.7.2. Вычисления в арифметике произвольной точности	107
3.8. Символьные операции с матрицами	108
3.8.1. Задание или извлечение диагональных элементов матриц .	108
3.8.2. Формирование верхней треугольной матрицы	109
3.8.3. Формирование нижней треугольной матрицы	110
3.8.4. Обращение матрицы	110
3.8.5. Вычисление детерминанта и ранга матрицы	110
3.8.6. Приведение матриц к треугольным формам	111
3.8.7. Нуль-пространство матрицы	111
3.8.8. Базис-пространство столбцов — <code>colspace</code>	112
3.8.9. Вычисление собственных значений и векторов матриц . . .	112
3.8.10. Сингулярное разложение матриц — <code>svd</code>	113
3.8.11. Вычисление канонической формы Жордана	114
3.8.12. Вычисление характеристического полинома матриц — <code>poly</code> .	115
3.8.13. Вычисление матричного экспоненциала	115
3.9. Символьные операции математического анализа	116
3.9.1. Вычисления производных	116
3.9.2. Вычисления интегралов	117
3.9.3. Вычисление пределов	118
3.9.4. Разложение выражения в ряд Тейлора	120
3.9.5. Вычисления матрицы Якоби	121
3.9.6. Вычисление сумм рядов	121
3.9.7. Решение алгебраических уравнений.	122
3.9.8. Решение дифференциальных уравнений	124
3.10. Интегральные преобразования	124
3.10.1. Преобразования Фурье	124
3.10.2. Преобразования Лапласа	126

3.10.3. Z-преобразования	128
3.11. Символьные операции с выражениями	130
3.11.1. Упрощение выражений	130
3.11.2. Расширение выражений	131
3.11.3. Разложение выражений на простые множители	131
3.11.4. Комплектование по степеням	131
3.11.5. Приведение к рациональной форме	132
3.11.6. Приведение к схеме Горнера	132
3.11.7. Запись с подстановками	133
3.11.8. Обеспечение подстановок	133
3.11.9. Обращение функции	134
3.11.10. Суперпозиция функций	134
3.12. Преобразования объектов	135
3.12.1. Преобразование символьной матрицы в числовую	135
3.12.2. Преобразование вектора коэффициентов полинома в символьный полином	136
3.12.3. Преобразование символьного полинома в вектор его коэффициентов	136
3.12.4. Преобразование символьного объекта в строковый	137
3.13. Вычисление специальных функций	137
3.13.1. Интегральные синус и косинус	137
3.13.2. Дзета-функция Римана	138
3.13.3. W-функция Ламберта	138
3.13.4. Суммы Римана	138
3.14. Графические возможности пакета	139
3.14.1. Графики символьных функций	139
3.14.2. Калькулятор и графопостроитель	140
3.14.3. Контурные графики	143
3.14.4. Трехмерные графики параметрически заданных функций	145
3.14.5. Полярные графики	146
3.14.6. Графики поверхностей	146
3.15. Доступ к ресурсам ядра системы Maple	148
3.15.1. Доступ к ядру системы Maple	148
3.15.2. Численное вычисление Maple-функций	149
3.15.3. Вызов списка функций Maple	150
3.15.4. Получение справки по ядру Maple	150
3.15.5. Инсталляция Maple-процедур	150
Глава 4. Решение задач оптимизации	152
4.1. Пакет оптимизации Optimization Toolbox	152

4.1.1. Назначение и возможности пакета	152
4.1.2. Формулировка задачи параметрической оптимизации . . .	154
4.1.3. Функции пакета Optimization Toolbox	155
4.1.4. О применении функции inline	155
4.1.5. Решение задач максимизации	156
4.1.6. Приведение ограничений-неравенств к стандартному виду .	156
4.1.7. Введение дополнительных аргументов.	156
4.2. Решение задач оптимизации функций.	157
4.2.1. Многомерная минимизация с ограничениями	157
4.2.2. Скалярная нелинейная минимизация с ограничениями. . .	159
4.2.3. Решение задачи нелинейного программирования	160
4.2.4. Решение минимаксных задач	161
4.2.5. Поиск минимума без ограничений симплексным методом. .	162
4.2.6. Полубесконечная минимизация с ограничениями	163
4.2.7. Решение задачи линейного программирования.	165
4.2.8. Решение задачи квадратичного программирования.	166
4.3. Дополнительные примеры	
решения типовых оптимизационных задач.	167
4.3.1. Минимизация без ограничений	167
4.3.2. Минимизация с ограничениями — нелинейными неравенствами	168
4.3.3. Минимизация с ограничениями на диапазоны изменения переменных.	168
4.3.4. Использование вектора-градиента, аналитически задаваемого пользователем	169
4.3.5. Задача достижения цели	171
4.4. Решение минимизационных задач высокой размерности	173
4.4.1. Решение системы нелинейных уравнений с заданием якобиана	173
4.4.2. Решение системы нелинейных уравнений с представлением оценки якобиана в виде разреженной матрицы	174
4.4.3. Нелинейный МНК с вычислением оценок всех элементов якобиана	175
4.4.4. Минимизация нелинейной функции с использованием градиента и гессиана.	176
4.4.5. Нелинейная минимизация с ограничениями в виде линейных равенств	178
4.4.6. Квадратичное программирование с ограничениями на диапазоны изменений переменных	179
4.4.7. Решение задачи линейного программирования.	179
4.5. Демонстрационные примеры на оптимизацию	180
4.5.1. Минимизация тестовой функции Розенброка.	180

4.5.2. Минимизация упругой поверхности	181
4.5.3. Минимизация размера изображения	183
4.5.4. Примеры, выполняемые в командном окне	186
4.6. Функции решения систем уравнений	186
4.6.1. Обратное деление матриц — функция <code>mldivide</code>	186
4.6.2. Решение систем нелинейных уравнений	186
4.6.3. Поиск корней функции одной переменной	188
Глава 5. Регрессия и статистика	190
5.1. Регрессия в пакете Optimization Toolbox	190
5.1.1. Решение задачи линейного МНК без ограничений	190
5.1.2. Решение задачи линейного МНК при наличии ограничений.	191
5.1.3. Регрессия для заданной функции	192
5.1.4. Решение задачи нелинейного МНК при средней и большой размерности	193
5.1.5. Решение задачи неотрицательного линейного МНК.	193
5.2. Пакет подгонки кривых Curve Fitting Toolbox	194
5.2.1. Назначение пакета Curve Fitting Toolbox	194
5.2.2. Приближение для численности населения США	194
5.2.3. Начало работы с пакетом Curve Fitting	195
5.2.4. Оценка данных	197
5.2.5. Выполнение регрессии заданного типа.	197
5.2.6. Графическая визуализация регрессии	198
5.2.7. Анализ результатов регрессии	201
5.2.8. Регрессия с уравнением пользователя	202
5.2.9. Пример регрессии с данными пользователя	203
5.2.10. Установка опций подгонки	207
5.2.11. Установка опций табличного вывода	207
5.2.12. Запись и загрузка сессий подгонки.	209
5.2.13. Функции командного режима	209
5.3. Приближение данных сплайнами	210
5.3.1. Особенности многоинтервальной интерполяции и аппроксимации	210
5.3.2. Пакет Spline Toolbox	210
5.3.3. Работа с пакетом Spline Toolbox в командном режиме	211
5.3.4. Работа с GUI пакета Spline Toolbox	211
5.3.5. Сплайновая аппроксимация поверхности	215
5.4. Статистические расчеты	216
5.4.1. Пакет расширения по статистике Statistics Toolbox	216
5.4.2. Вычисление распределения и плотности вероятностей	216
5.4.3. Генерация случайных чисел	218

5.4.4. Вычисление среднего и дисперсии.	219
5.4.5. Оценка параметров законов распределения	219
5.4.6. Deskриптивная статистика	220
5.4.7. Кластерный анализ	222
5.4.8. Линейные модели	226
5.4.9. Пошаговая регрессия.	227
5.4.10. Нелинейные регрессионные модели	229
5.4.11. Проверка гипотез	229
5.4.12. Многомерные статистики	230
5.4.13. Метод главных компонент.	230
5.4.14. Статистические графики	231
5.4.15. Статистический контроль в промышленности.	234
5.4.16. Планирование эксперимента.	235
5.4.17. Демонстрационные примеры.	238
5.4.18. Функции записи/чтения файлов данных	240
Глава 6. Анализ и идентификация систем.	242
6.1. Теоретическая преамбула.	242
6.1.1. Понятие о моделировании и моделях	242
6.1.2. Идентификация моделей и объектов моделирования	243
6.2. Основные характеристики (функции) систем.	245
6.2.1. Передаточная характеристика	245
6.2.2. Импульсная характеристика	245
6.2.3. Переходная функция.	245
6.2.4. Частотные характеристики	246
6.3. Теоретические модели объектов.	246
6.3.1. Дифференциальные уравнения	246
6.3.2. Уравнения переменных состояния	246
6.3.3. Разностные уравнения	247
6.3.4. Z-преобразование	247
6.3.5. Модели авторегрессии	248
6.3.6. Модель для переменных состояния	249
6.4. Методы оценивания	250
6.4.1. Оценивание параметрических моделей	250
6.4.2. Оценивание импульсной характеристики	251
6.4.3. Оценивание спектров и частотных характеристик	252
6.5. Пакет расширения System Identification Toolbox	253
6.5.1. Назначение пакета System Identification.	253
6.5.2. Графический интерфейс System Identification Toolbox	254
6.5.3. Пример работы в среде GUI.	255
6.5.4. Исследование исходных данных	256

6.5.5. Построение модели.	257
6.5.6. Оценка модели.	258
6.5.7. Сохранение модели	264
6.6. Работа с пакетом System Identification в командном режиме . .	265
6.6.1. Работа с графическим интерфейсом	265
6.6.2. Имитация и предсказание	265
6.6.3. Манипуляции с данными.	266
6.6.4. Непараметрическое оценивание.	267
6.6.5. Параметрическое оценивание	271
6.6.6. Итерационное параметрическое оценивание	277
6.6.7. Задания структуры модели	280
6.6.8. Манипуляции с моделями	285
6.6.9. Выбор структуры модели	285
6.6.10. Преобразования модели	287
6.6.11. Анализ модели	288
6.6.12. Извлечения информации о модели	290
6.6.13 Проверка адекватности модели	291
6.7. Дополнительные возможности пакета System Identification . .	294
6.7.1. Средства демонстрации возможностей пакета	294
6.7.2. Идентификация с использованием блоков Simulink. . . .	295
6.7.3. Сохранение результатов	296
6.8. Идентификация систем в частотной области	297
6.8.1. О пакете Frequency Domain Identification	297
6.8.2. Частотная модель и метод оценивания	297
6.8.3. Функции пакета Frequency Domain Identification.	299
Глава 7. Проектирование и моделирование систем управления	300
7.1. Пакет Control System Toolbox 5.0	300
7.1.1. Назначение пакета Control System	300
7.1.2. Классы вычислительных объектов пакета	300
7.1.3. Общая характеристика функций пакета	301
7.1.4. Вывод полного списка средств пакета	302
7.2. Работа со средствами графического интерфейса	306
7.2.1. Вызов графического интерфейса	306
7.2.2. Загрузка моделей	307
7.2.3. Работа с редактором свойств	310
7.2.4. Установки графического интерфейса	311
7.2.5. Окно интерфейса rltool	313
7.2.6. Работа с окном rltool.	314
7.2.7. Коррекция системы	315
7.2.8. Дополнительные возможности графического интерфейса . .	317

7.3. Работа с пакетом Control System в командном режиме	319
7.3.1. Создание моделей стационарных систем	319
7.3.2. Получение информации об отдельных характеристиках модели	326
7.3.3. Преобразование моделей	327
7.3.4. «Арифметические» операции с моделями	328
7.3.5. Модели для переменных состояния	330
7.3.6. Модели динамики	336
7.3.7. Моделирование временного отклика систем	344
7.3.8. Создание и представление временных задержек	349
7.3.9. Моделирование частотного отклика систем	350
7.3.10. Композиция систем	358
7.3.11. Редукция порядка модели	358
7.3.12. Традиционное проектирование систем	361
7.3.13. Аналитическое конструирование регуляторов	363
7.3.14. Решение матричных уравнений	366
7.4. Работа с демонстрационными примерами	369
7.4.1. Вызов демонстрационных примеров	369
7.4.2. Виртуальная лаборатория по исследованию LCR-цепи	369
7.4.3. Моделирование динамики двигателя постоянного тока . . .	371
7.4.4. Моделирование операционного усилителя с отрицательной обратной связью.	373
7.5. Проектирования контроллера жесткого диска	376
7.5.1. Анализируемая модель	376
Глава 8. Имитационное моделирование.	384
8.1. Инструментальные наборы Toolbox и Blockset	384
8.2. Пакет Nonlinear Control Design (NCD) Blockset.	384
8.2.1. Назначение пакета NCD	384
8.2.2. Состав блоков пакета NCD	384
8.2.3. Демонстрация работы блоков пакета NCD	385
8.2.4. Оптимизация коэффициента передачи И-регулятора	385
8.2.5. Меню окна блока NCD Output	391
8.2.6. Настройка параметров PID-регулятора	392
8.2.7. Настройка параметров комплексного регулятора	395
8.2.8. Настройка параметров ПИ-регулятора для многомерного объекта.	397
8.2.9. Особенности решаемых задач	398
8.3. Пакет расширения Fixed-Point	399
8.3.1. Библиотека пакета Fixed-Point	399
8.3.2. Раздел демонстрационных примеров Filters&System Examples	401

8.3.3. Нелинейные преобразования	401
8.3.4. Математические операции	402
8.3.5. Осуществление временной задержки	404
8.3.6. Преобразования вида V-F, F-F и F-V	405
8.3.7. Цифровой программный контроллер	405
8.3.8. Интерфейсный блок пакета Fixed Point	406
8.3.9. Дополнительные примеры применения пакета Fixed Point	408
8.4. Пакет Digital Signal Processing (DSP) Blockset	411
8.4.1. Разделы библиотеки пакета DSP	411
8.4.2. Работа с источниками и получателями сигналов	411
8.4.3. Работа с блоками математических операций	413
8.4.4. Типовые матричные операции	413
8.4.5. Операции с полиномами	416
8.4.6. Квантование сигналов	417
8.4.7. Управление сигналами	418
8.4.8. Организация очереди и стека	420
8.4.9. Организация сдвигового регистра и линии задержки	422
8.4.10. Подраздел DSP Signal Attributes	423
8.4.11. Переключатели и счетчики	424
8.4.12. Обработка сигналов (раздел Signal Operations)	426
8.4.13. Раздел оценки блоков — DSP Estimation	427
8.4.14. Преобразования сигналов — раздел Transforms	429
8.4.15. Статистическая обработка данных — раздел DSP Statistics	430
8.4.16. Фильтрация сигналов (раздел Filtering)	432
8.5. Примеры моделирования систем на основе пакета DSP	433
8.5.1. Доступ к примерам применения пакета DSP	433
8.5.2. Адаптивная дельта—импульсная кодовая модуляция	433
8.5.3. Дельта-модуляция типа CVSD	435
8.5.4. Сравнение трех видов дельта-модуляции	435
8.5.5. Однополосная модуляция (SSB)	437
8.5.6. FIR-интерполяция синусоидального сигнала	438
8.5.7. Моделирование адаптивного фильтра	439
8.5.8. Моделирование многополосных фильтров	440
8.5.9. Моделирование аудиосистем	441
8.5.10. Быстрый оконный спектральный анализ	443
8.5.11. Моделирование приемника сигналов точного времени	443
8.5.12. Ситуационное моделирование приемника акустических кодов	444
8.6. Вейвлет-преобразования в пакете DSP	445
8.6.1. Роль вейвлет-преобразований	445
8.6.2. Интерполяция с применением вейвлет-преобразований	446

8.6.3. Реконструкция сигнала на основе wavelet-преобразования	446
8.6.4. Моделирование трехканального wavelet-мультиплексора	446
8.6.5. Очистка сигнала от шумов на основе вейвлет-преобразований	449
8.7. Моделирование энергетических систем	449
8.7.1. Состав библиотек Power System Blockset	449
8.7.2. Источники электрической энергии	449
8.7.3. Соединительные элементы	450
8.7.4. Библиотека компонентов Elements	452
8.7.5. Пример моделирования RLC-цепи	453
8.7.6. Моделирование устройств с трансформаторами	454
8.7.7. Нелинейный ограничитель пиковых напряжений	456
8.7.8. Линии передачи с сосредоточенными параметрами	457
8.7.9. Состав библиотеки энергетической электроники	458
8.7.10. Моделирование систем электропривода	464
8.7.11. Моделирование линии передачи электроэнергии с компенсаторами	466
8.7.12. Моделирование импульсного преобразователя с ключом на полевом транзисторе	466
8.7.13. Моделирование сложной энергетической системы	467
Глава 9. Основы событийного моделирования	471
9.1. Пакет Stateflow 4.0/5.0	471
9.1.1. Понятие о событийном моделировании	471
9.1.2. Назначение пакета Stateflow 4.0/5.0	471
9.1.3. Доступ к средствам Stateflow	472
9.1.4. Понятие о SF-диаграмме	472
9.2. Основные объекты SF-диаграмм	473
9.2.1. Состояния	473
9.2.3. Признаки памяти	474
9.2.4. Переходы	474
9.2.5. Признаки альтернативы	474
9.2.6. События	474
9.2.7. Процедуры	475
9.2.8. Данные	476
9.2.9. Описание объектов	476
9.3. Пример построения модели с SF-диаграммой	477
9.3.1. Работа с редактором SF-диаграмм	477
9.3.2. Установка параметров SF-диаграммы с помощью обозревателя	481
9.3.3. Сохранение модели с SF-диаграммой	481
9.4. Запуск, отладка и форматирование SF -диаграмм	481

9.4.1. Установка параметров запуска	481
9.4.2. Запуск модели	481
9.4.3. Работа с отладчиком SF-диаграмм	483
9.4.4. Средства отладки SF-диаграмм	485
9.4.5. Поиск объектов SF-диаграмм	487
9.4.6. Выбор стиля SF-диаграмм	487
9.4.7. Установка размера символов	487
9.5. Избранные примеры применения пакета Stateflow	487
9.5.1. Работа с демонстрационными примерами	487
9.5.2. Моделирование скользящего с трением бруска	488
9.5.3. Моделирование электрогидравлического механизма	488
9.5.4. Моделирование отказоустойчивой системы контроля топлива	491
Глава 10. Проектирование и моделирование коммуникационных систем	494
10.1. Пакеты Communications Blockset и Toolbox	494
10.1.1. Назначение пакетов	494
10.1.2. Основы работы	495
10.1.3. Вызов библиотек пакета из среды MATLAB	495
10.1.4. Вызов графического интерфейса пользователя	496
10.1.5. Доступ к библиотеке пакета Communications Blockset	497
10.1.6. Доступ к mdl-файлам из пакета Simulink	498
10.2. Работа с библиотеками Communications Blockset	499
10.2.1. Общие сведения о библиотеках	499
10.2.2. Задание сигналов	500
10.2.3. Примеры работы с источниками сигналов	500
10.2.4. Работа с виртуальными регистраторами	503
10.2.5. Моделирование кодирования и декодирования	505
10.2.6. Моделирование модуляторов	507
10.2.7. Библиотеки канала	509
10.2.8. Библиотека модулей синхронизации	511
10.2.9. Работа с основными функциями	512
10.2.10. Работа с утилитами и функциями	514
10.2.11. Применение блоков детектирования ошибок и коррекции	515
10.2.12. Применение блоков Interleaving	518
10.3. Работа с демонстрационными примерами	518
10.3.1. Представление библиотек в виде функциональной схемы	518
10.3.2. Доступ к примерам из библиотеки в виде функциональной схемы	520
10.3.3. Примеры моделирования сложной коммуникационной системы	521
10.4. MATLAB—функции пакета Communications Toolbox	523

10.4.1. Назначение пакета Communications Toolbox	523
10.4.2. Вызов полного списка функций	524
10.4.3. Вызов справки по конкретной функции	527
10.4.4. Функции построения источников сигналов и анализа ошибок.	528
10.4.5. Функции кодирования источника сигнала	530
10.4.6. Помехоустойчивое кодирование	531
10.4.7. Низкоуровневые функции помехоустойчивого кодирования	533
10.4.8. Модуляция и демодуляция	533
10.4.9. Специальные фильтры	538
10.4.10. Утилиты и другие функции	542
10.4.11. Примеры применения Communications Toolbox	544
Список литературы.	547

Глава 1. Работа с MATLAB и Simulink

1.1. Назначение и особенности системы MATLAB

1.1.1. Назначение системы MATLAB

MATLAB — одна из старейших, тщательно проработанных и проверенных временем систем автоматизации математических расчетов, построенная на расширенном представлении и применении матричных операций [1—23]. Это нашло отражение в названии системы — MATrix LABoratory — *матричная лаборатория*.

Матрицы широко применяются в сложных математических расчетах, например при решении задач линейной алгебры и математического моделирования статических и динамических систем и объектов [24—27]. Они являются основой автоматического составления и решения уравнений состояния динамических объектов и систем. Примером программы, выполняющей это, может служить расширение MATLAB — Simulink [4,7]. Оно существенно повышает интерес к системе MATLAB, вобравшей в себя лучшие достижения в области быстрого решения матричных задач за послевоенное время.

MATLAB поставляется как комплекс MATLAB+Simulink+Toolbox+Blockset, где разделами системы Toolbox и Blockset корпорация MathWorks называет пакеты расширения для систем MATLAB и Simulink, соответственно. При этом ядро новых реализаций системы MATLAB+Simulink+Toolbox+Blockset описано в книге [11]. В данной книге, которая является продолжением [11], дается описание важнейших пакетов расширения инструментального ящика Toolbox. Одной из основных задач системы MATLAB всегда было предоставление пользователям мощного *языка программирования*, ориентированного на технические и математические расчеты и способного превзойти возможности традиционных языков программирования, которые многие годы использовались для реализации численных методов. При этом особое внимание уделялось как повышению скорости вычислений, так и адаптации системы к решению самых разнообразных задач пользователей.

Важными достоинствами системы являются ее *открытость* и *расширяемость*. Большинство команд и функций системы реализовано в виде m-файлов текстового формата (с расширением .m) и файлов на языке Си, причем все файлы доступны для модификации. Пользователю дана возможность создавать не только отдельные файлы, но и библиотеки файлов для реализации специфических задач. Такие файлы можно готовить как в простом и удобном редакторе m-файлов системы MATLAB, так и в любом другом текстовом редакторе — например, Microsoft Word 95/97. Более того, такие файлы можно перенести с помощью буфера в командную строку MATLAB и тут же испол-

нить. А в новой реализации MATLAB 6.5 любой набор команд в справке можно тут же исполнить с помощью команды Evaluate Selection контекстного меню правой клавиши мыши.

Объем документации по пакетам расширения Toolbox составляет десятки тысяч страниц. Поэтому эта книга описывает достаточно полно только наиболее важные из пакетов расширения, которые используются для математических вычислений и моделирования систем и устройств. В этой главе описаны начала работы с базовой системой MATLAB и основным пакетом расширения Simulink, что позволит читателю уверенно пользоваться описанными далее пакетами расширения. Однако для более полного знакомства с MATLAB + Simulink надо использовать книгу [11].

1.1.2. Новые реализации MATLAB 6.*

Совсем недавно, в 2001 году, появилась новая версия этой системы — MATLAB 6.0 (реализация R12). Спустя некоторое время вышла ее модификация MATLAB 6.1 (R6.1) с существенно измененными и расширенными пакетами применений — в частности, с Simulink 4. Однако корпорация MathWorks не сочла ее очередной реализацией. И вот теперь, уже в 2002 году, появилась новейшая версия этой системы — MATLAB 6.5 (реализация R13).

Поразительная легкость модификации системы и возможность ее адаптации к решению специфических задач науки и техники привели к созданию десятков пакетов прикладных программ (Toolbox), намного расширивших сферы применения системы. Это особенно характерно для новых реализаций системы. Некоторые из пакетов расширения, например Simulink (моделирование динамических систем и устройств, заданных в виде системы блоков), Notebook (интеграция с текстовым процессором Word и подготовка «живых» электронных книг) и Symbolic (символьные вычисления с применением ядра системы Maple), настолько органично интегрировались с системой MATLAB, что стали ее составными частями.

1.2. Возможности систем MATLAB

1.2.1. Возможности прежних версий MATLAB 4.*

Уже первые, ориентированные на Microsoft Windows версии системы (MATLAB 4.x) обладали мощными средствами выполнения научно-технических вычислений и их визуализации. В том числе задание и применение обычных векторов и матриц, разреженных матриц, многомерных массивов, массивов ячеек и структур. Уже системы MATLAB 4.* обладали обширными возможностями в визуализации результатов вычислений и имели десятки пакетов расширения. Однако, поскольку эти возможности детально описывались в книгах [1—9], мы опустим их описание и отметим возможности только новейших реализаций MATLAB.

1.2.2. Возможности версий MATLAB 6.0/6.1

Версия системы MATLAB 6.0 не только имеет отмеченные выше возможности предшествующих версий, но и характеризуется целым рядом новых и важных возможностей:

- доведенное до более чем 600 число встроенных функций и команд;
- новый интерфейс с набором инструментов для управления средой, включающий в себя окно команд (Command Window), окно истории команд (Command History), браузер рабочей области (Workspace Browser) и редактор массивов (Array Editor);
- новые инструменты, позволяющие при помощи мыши интерактивно редактировать и форматировать графики, оптимизировать их коды и затраты памяти на графические команды и атрибуты;
- улучшенные алгоритмы на основе оптимизированной библиотеки LAPACK;
- новая библиотека FFTW (быстрых преобразований Фурье) Массачусетского технологического института;
- ускоренные методы интегральных преобразований;
- новые, более мощные и точные, алгоритмы интегрирования дифференциальных уравнений и квадратур;
- новые, современные функции визуализации: вывод на экран двумерных изображений, поверхностей и объемных фигур в виде прозрачных объектов;
- новая инструментальная панель Camera для управления перспективой и ускорения вывода графики с помощью OpenGL;
- новый интерфейс для вызова Java-процедур и использования Java-объектов непосредственно из MATLAB;
- новые, современные инструменты проектирования графического пользовательского интерфейса;
- обработка (регрессия, интерполяция, аппроксимация и вычисление основных статистических параметров) графических данных прямо из окна графики;
- новое приложение MATLAB для системы разработки Visual Studio, позволяющее автоматически, непосредственно из Microsoft Visual Studio преобразовывать Си и Си++ коды в выполняемые MATLAB файлы (MEX-файлы);
- интеграция с системами контроля версий кода, такими, как Visual Source Safe;
- новый интерфейс (последовательный порт) для обмена данными с внешним оборудованием из MATLAB;
- новый пакет управления измерительными приборами (Instrument Control ToolBox) для обмена информацией с приборами, подключенными к Каналу Общего Пользования (GPIB, HP-IB, IEEE-488) или к шине VXI через адаптер VXI — GPIB (только в версиях для Windows и Sun Solaris) и последовательному интерфейсу RS-232, RS-422, RS-485 (также и для Linux-версии), в том числе в соответствии со стандартом VISA (Virtual Instruments Systems Application) (применение виртуальных измерительных приборов);

- существенно обновленные пакеты расширения, в частности новые версии пакета моделирования динамических систем Simulink 4 и Real Time Workshop 4;
- интеграция с системами управления потребностями, например DOORS.

Поставляемый с системой MATLAB 6.0 новый пакет расширения Simulink 4 также имеет ряд новинок. Они перечислены ниже по категориям.

Усовершенствование пользовательского интерфейса:

- новый графический отладчик для интерактивного поиска и диагностики ошибок в модели;
- усовершенствован навигатор моделей (Model Browser, Windows 95/98/Me/2000/NT4);
- новый однооконный режим для открытия подсистем;
- контекстное меню для блок-диаграмм (открывается щелчком правой кнопки мыши) как в Windows, так и в Unix версиях;
- новый диалог Finder для поиска моделей и библиотек.

Simulink поступает к пользователям с более 100 встроенными блоками, в состав которых входят наиболее необходимые функции моделирования. Блоки сгруппированы в библиотеки в соответствии с их назначением: источники сигнала, приемники, дискретные, непрерывные, нелинейные, математика, функции и таблицы, сигналы и системы. В дополнение к обширному набору встроенных блоков Simulink имеет расширяемую библиотеку блоков благодаря функции создания пользовательских блоков и библиотек.

Реализованы новые и улучшенные возможности блоков:

- наряду с существовавшей ранее поддержкой скалярных и векторных сигналов обеспечена поддержка матричных сигналов многими блоками Simulink;
- блоки Product, Multiplication, Gain и Math Function теперь поддерживают матричные операции на матричных сигналах;
- Mux и Demux блоки теперь поддерживают мультиплексирование матричных сигналов;
- новый блок Reshape изменяет размер матрицы своего входного сигнала;
- блок Probe теперь по умолчанию выводит размер матрицы сигнала, подаваемого на вход;
- новый блок Bitwise Logical Operator (логические операции по битам) накладывает маску, инвертирует или производит логические операции с отдельными битами целочисленного сигнала без знака;
- четыре новых блока Look-Up Table (просмотра таблиц);
- новый Polynomial блок выводит полиномиальную функцию от входного сигнала.

Расширенная поддержка для крупных приложений:

- новые объекты данных Simulink позволяют создавать специфические для приложений типы данных MATLAB;
- новый графический пользовательский интерфейс Simulink Explorer для наблюдения и редактирования объектов данных Simulink;
- усовершенствование блока Configurable Subsystems (конфигурируемые подсистемы);

- новое меню выбора блока конфигурируемой подсистемы;
- поддержка защиты интеллектуальной собственности с помощью S-функций, позволяющая не передавать исходный код S-функций (требуется Real-Time Workshop 4.0 (Лаборатория Реального Времени));
- поддержка S-функций, кодируемых на языке ADA (требуется новый отдельный пакет Real Time Workshop Ada Coder);
- улучшенная интеграция со Stateflow — пакетом инструментов моделирования систем, управляемых событиями, значительно усовершенствованный Stateflow Coder для генерации кода;
- run-time сервер MATLAB для запуска программ MATLAB без установленной системы MATLAB;
- улучшенная версия xPC Embedded Target для записи генерируемого кода не только на переносимые носители, но и в постоянные запоминающие устройства, твердотельные диски и на жесткий диск управляющего компьютера. Наряду с xPC поддерживаются другие платформы встроенных управляющих систем, включая VxWorks/Tornado (причем как UNIX, так и Windows хостом с MATLAB), Real Time Windows Target; Lynx Embedded OSEK Target, стандартизированную в автомобилестроении, DOS Target на управляющем компьютере Intel386 и старше (последняя только со снятым с производства компилятором Watcom Си/Си++ для DOS и несовместима с приложениями Windows). Но возможность работы без хоста с системой MATLAB (Stand-Alone) имеется только в xPC;
- поддержка xPC Target стандартной полевой шины промышленной автоматизации CAN, возможность синхронизации xPC сигналами, поступающими по этой шине;
- web-сервер, встроенный в xPC Target, позволяющий осуществлять управление встроенными компьютерами и просмотр их состояния при помощи браузеров Интернета (Microsoft Explorer 4.0 и старше и Netscape Navigator 4.5 и старше).

Все это говорит о том, что двенадцатый выпуск системы (MATLAB 6.0 + Simulink 4.0 + Stateflow 4.0 +...) подвергся не косметической, а самой серьезной переработке, выдвигающей эту систему на абсолютно новый уровень развития и применения.

Вышедшая вслед за MATLAB 6.0 версия MATLAB 6.1 претерпела весьма несущественные изменения. В нее, в частности, добавлены всего три новые функции — одна по обработке строк и две по реализации звуковых возможностей. Однако существенно обновился набор пакетов расширения этой системы. Тем не менее считать MATLAB 6.1 новой реализацией нельзя и не случайно MathWorks объявила MATLAB 6.1 лишь модификацией MATLAB 6.0.

1.2.3. Возможности новейшей версии MATLAB 6.5

В новейшую версию системы MATLAB 6.5, объявленную уже как новая, 13-я реализация, введены следующие усовершенствования:

- расширенная поддержка виртуальной машины Java Virtual Machine;
- применение новой версии основного пакета моделирования систем Simulink 5;

- обновление полутора десятков пакетов применения;
- поддержка новых компьютерных платформ на базе операционных систем Windows XP и Unix, а также интеграция с Office XP ;
- улучшенные опции печати и истории сессии;
- возможность стирания текущей директории в браузере директорий с помощью комбинации клавиш Shift+Delete (директория поступает в корзину Windows);
- опция автоматической записи Autosave в редакторе-отладчике m-файлов;
- улучшенный браузер системы помощи (Help Browser) и работа из него с демонстрационными примерами (отдельное окно последних удалено);
- отдельные усовершенствования в интерфейсе пользователя;
- поддержка импорта файлов в формате HDF с помощью нового инструмента HDF Import Tool;
- расширенная поддержка работы с файловыми серверами FTP и функцией ZIP;
- несколько новых математических функций, например логарифмической производной гамма-функции, функции тройного интегрирования, и др.;
- улучшенный синтаксис ряда функций;
- улучшенная диагностика ошибок в программах;
- усовершенствованный синтаксис функций пользовательского интерфейса GUI;
- улучшенные средства общения с внешними приложениями;
- новые логические функции true и false.

Большинство нововведений в новейшей версии системы относится к интерфейсу пользователя и его возможностям. Новые возможности версии MATLAB 6.5 мы будем оговаривать особо.

1.3. Особенности матричных систем MATLAB

1.3.1. Интеграция с другими программными системами

С системой MATLAB могут интегрироваться такие популярные математические системы, как Mathcad, Maple V и Mathematica. Есть тенденция и к объединению математических систем с современными текстовыми процессорами. Так, новое средство последних версий MATLAB — Notebook — позволяет готовить документы в текстовом процессоре Word 95/97 [66] со вставками в виде документов MATLAB и результатов вычислений, представленных в численном, табличном или графическом виде. Таким образом, становится возможной подготовка «живых» электронных книг, в которых демонстрируемые примеры могут быть оперативно изменены. Так, вы можете менять условия задач и тут же наблюдать изменение результатов их решения.

В MATLAB задачи расширения системы решаются с помощью специализированных *пакетов* (Toolbox). Многие из них содержат специальные средства для интеграции с другими программами, поддержки объектно-ориентированного и визуального программирования, для генерации различных прило-

жений. В состав системы MATLAB входит ядро одной из самых мощных, популярных и хорошо апробированных систем символьной математики (компьютерной алгебры) Maple V. Оно используется пакетами расширения Symbolic Math Toolbox и Extended Symbolic Math Toolbox, благодаря которым в среде MATLAB стали доступны принципиально новые возможности символьных и аналитических вычислений.

Новые свойства системе MATLAB придала ее интеграция с программной системой Simulink, созданной для моделирования блочно заданных динамических систем и устройств. Базируясь на принципах визуально-ориентированного программирования, Simulink позволяет выполнять моделирование сложных устройств с высокой степенью достоверности и прекрасными средствами представления результатов. Помимо естественной интеграции с пакетами расширения Symbolic Math и Simulink, MATLAB интегрируется с десятками мощных пакетов расширения, обзорно описанных в главе 11.

В свою очередь, многие другие математические системы, например Mathcad и Maple, допускают установление объектных и динамических связей с системой MATLAB, что позволяет использовать в них эффективные средства MATLAB для работы с матрицами. Эта прогрессивная тенденция интегрирования компьютерных математических систем, несомненно, будет продолжена.

1.3.2. Ориентация на матричные операции

Напомним, что двумерный массив чисел или математических выражений принято называть *матрицей*. А одномерный массив называют *вектором*. Примеры векторов и матриц даны ниже:

$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}$ Вектор из 4 элементов

$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 7 & 6 \end{bmatrix}$ Матрица размера 3×4

$\begin{bmatrix} a & a + b & a + b / c \\ x & y * x & z \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix}$ Матрица с элементами разного типа

Векторы и матрицы характеризуются *размерностью* и *размером*. Размерность определяет структурную организацию массивов в виде строки (размерность 1), страницы (размерность 2), куба (размерность 3) и т. д. Так что вектор является одномерным массивом, а матрица представляет собой двумерный массив с размерностью 2. MATLAB допускает задание и использование многомерных массивов, но в этой главе мы ограничимся только одномерными и двумерными массивами — векторами и матрицами.

Размер вектора — это число его элементов, а размер матрицы определяется числом ее строк m и столбцов n . Обычно размер матрицы указывают как $m \times n$. Матрица называется квадратной, если $m = n$, то есть число строк матрицы равно числу ее столбцов.

Векторы и матрицы могут иметь имена, например, \mathbf{V} — вектор или \mathbf{M} — матрица. В данной книге имена векторов и матриц набираются полужирным шрифтом. Элементы векторов и матриц рассматриваются как *индексированные переменные*, например:

- V_2 — второй элемент вектора \mathbf{V} ;
- M_{23} — третий элемент второй строки матрицы \mathbf{M} .

Интересно отметить, что даже обычные числа и переменные в MATLAB рассматриваются как матрицы размера 1×1 , что дает единообразные формы и методы проведения операций над обычными числами и массивами. Это также означает, что большинство вычислительных функций может работать с аргументами в виде векторов и матриц, вычисляя значения для каждого их элемента. Данная операция обычно называется *векторизацией* и обеспечивает упрощение записи операций, производимых одновременно над всеми элементами векторов и матриц, и существенное повышение скорости их выполнения.

1.3.3. Расширяемость системы

MATLAB — расширяемая система, и ее легко приспособить к решению нужных пользователю специфических классов задач. Ее огромное достоинство заключается в том, что это расширение достигается естественным путем и реализуется в виде так называемых *m-файлов* (с расширением *.m*). Иными словами, расширения системы хранятся на жестком диске компьютера и в нужный момент вызываются для использования точно так же, как встроенные в MATLAB (внутренние) функции и процедуры.

Благодаря текстовому формату *m-файлов* пользователь может ввести в систему любую новую команду, оператор или функцию и затем пользоваться ими столь же просто, как и встроенными операторами или функциями. При этом, в отличие от таких языков программирования, как Бейсик, Си или Паскаль, не требуется никакого объявления этих новых функций. Это роднит MATLAB с языками Лого и Форт [8, 9], имеющими словарную организацию операторов и функций и возможности пополнения словаря новыми определениями-словами. Но, поскольку новые определения в системе MATLAB хранятся в виде файлов на диске, это делает набор операторов и функций практически неограниченным.

В базовый набор слов системы входят спецзнаки, знаки арифметических и логических операций, арифметические, алгебраические, тригонометрические и некоторые специальные функции, функции быстрого преобразования Фурье и фильтрации, векторные и матричные функции, средства для работы с комплексными числами, операторы построения графиков в декартовой и полярной системах координат, трехмерных поверхностей и т. д. Словом, MATLAB предоставляет пользователю обширный набор готовых средств (большая часть из них — это внешние расширения в виде *M-файлов*).

Дополнительный уровень системы образуют ее *пакеты расширения*. Они позволяют быстро ориентировать систему на решение задач в той или иной предметной области: в специальных разделах математики, в физике и в астрономии, в области нейтронных сетей и средств телекоммуникаций, в математическом моделировании, проектировании событийно управляемых систем и т. д. Благодаря этому MATLAB обеспечивает высочайший уровень адаптации к решению задач конечного пользователя.

1.3.4. Мощные средства программирования

Многие математические системы создавались исходя из предположения, что пользователь будет решать свои задачи, практически не занимаясь программированием. Однако с самого начала было ясно, что подобный путь имеет недостатки и, по большому счету, порочен. Многие задачи нуждаются в развитых средствах программирования, которые упрощают запись их алгоритмов и порою открывают новые методы создания последних.

С одной стороны, MATLAB содержит огромное число встроенных операторов и функций (приближающееся к тысяче), которые успешно решают множество практических задач, для чего ранее приходилось готовить достаточно сложные программы. К примеру, это функции обращения или транспонирования матриц, вычисления значений производной или интеграла и т. д., и т. п. Число таких функций с учетом пакетов расширения системы уже достигает многих тысяч и непрерывно увеличивается.

Но, с другой стороны, система MATLAB с момента своего создания создавалась как мощный математико-ориентированный на технические вычисления язык программирования *высокого уровня*. И многие вполне справедливо рассматривали это как важное достоинство системы, свидетельствующее о возможности ее применения для решения новых, наиболее сложных математических задач.

Система MATLAB имеет *входной язык*, напоминающий Бейсик (с примесью средств Фортрана и Паскаля). Запись программ в системе традиционна и потому привычна для большинства пользователей компьютеров. К тому же система дает возможность редактировать программы с помощью любого, привычного для пользователя текстового редактора. Имеет она и собственный редактор с отладчиком.

Язык системы MATLAB в части программирования математических вычислений намного богаче любого универсального языка программирования высокого уровня. Он реализует почти все известные средства программирования, в том числе объектно-ориентированное и визуальное программирование. Это дает опытным программистам необъятные возможности для самовыражения.

1.3.5. Визуализация и графические средства

В последнее время создатели математических систем уделяют огромное внимание *визуализации* решения математических задач. Говоря проще, это означает, что постановка и описание решаемой задачи и результаты решения

должны быть предельно понятными не только тем, кто решает задачи, но и тем, кто в дальнейшем их изучают или просто просматривают. Большую роль в визуализации решения математических задач играет графическое представление результатов, причем как конечных, так и промежуточных.

Визуализация постановки задачи в MATLAB решается применением приложения Notebook и назначением именам функций достаточно ясных имен (идентификаторов). А визуализация результатов вычислений достигается применением обширных средств графики, в том числе анимационной, а также использованием (там, где это нужно) средств символьной математики.

Новая версия MATLAB напроочь избавилась от некоторой примитивности графиков, которая была присуща первым версиям этой системы. Теперь новые графические средства Handle Graphics (дескрипторная, или описательная, графика) позволяют создавать полноценные объекты графики высокого разрешения, как геометрического, так и цветового. Возможности этой графики поддерживаются *объектно-ориентированным программированием*, средства которого также имеются в языке программирования системы MATLAB.

Реализуются, причем с повышенной скоростью, построения графиков практически всех известных в науке и технике типов. Широко практикуются функциональная закраска сложных поверхностей, в том числе с интерполяцией по цвету, и свойства прозрачности, основанные на применении графических средств OpenGL. Возможен учет всевозможных световых эффектов — вплоть до бликов на поверхности сложных фигур при освещении их различными источниками света и с учетом свойств материалов отражающих поверхностей и прозрачности. Применение дескрипторной (описательной) графики позволяет создавать и типовые элементы пользовательского интерфейса — кнопки, меню, информационные и инструментальные панели и т. д., то есть реализовать элементы *визуально-ориентированного программирования*.

Графики выводятся отдельно от текстов в отдельных окнах. На одном графике можно представить множество кривых, отличающихся цветом (при цветном дисплее) и отличительными символами (кружками, крестиками, прямоугольниками и т. д.). Графики можно выводить в одно или в несколько окон. Наконец, в статьях и книгах формата Notebook, реализованных при совместной работе системы MATLAB с популярным текстовым процессором Word 95/97, графики могут располагаться вместе с текстом, формулами и результатами вычислений (числами, векторами и матрицами, таблицами и т. д.). В этом случае степень визуализации оказывается особенно высокой, поскольку документы класса Notebook, по существу, являются превосходно оформленными электронными книгами с действующими (вычисляемыми) примерами.

Особенно привлекательной выглядит возможность построения трехмерных поверхностей и фигур. По сравнению с системой Mathcad построение трехмерных фигур средствами MATLAB происходит почти на порядок быстрее. Кроме того, при построении таких графиков используется достаточно совершенный алгоритм удаления невидимых линий, что наряду с большими размерами графиков и возможностью интерполяции по цвету делает построенные трехмерные поверхности и фигуры весьма эстетичными и наглядными. Уже в

MATLAB 5.3.1 была введена эффектная возможность быстрого вращения графиков мышью в любом направлении. В MATLAB 6.* она улучшена — теперь вращать в пространстве можно даже плоскость с двумерными графиками.

Введен также ряд средств на основе графического интерфейса пользователя (GUI — Graphic User Interface), привычного для операционных систем Windows 95/98/NT. Это панели инструментов, редактор и отладчик m-файлов, красочная демонстрация возможностей и т. д. Есть и возможность создавать свои средства пользовательского интерфейса.

1.4. Установка и файловая система MATLAB 6.*

1.4.1. Системные требования

Новые версии системы MATLAB 6.* — весьма громоздкие программные комплексы, каждый из которых (при полной установке) требует до 1000—1500 Мбайт дисковой памяти (в зависимости от конкретной поставки, полноты справочной системы и числа устанавливаемых пакетов прикладных программ). Поэтому они поставляются на двух компакт-дисках (CD-ROM), на одном из которых размещены системные файлы, а на другом — PDF-файлы документации.

Для успешной установки MATLAB необходимы следующие минимальные средства:

- компьютер с микропроцессором не ниже Pentium и математическим сопроцессором; рекомендуются процессоры Pentium PRO, Pentium II, Pentium III, Pentium 4 или AMD Athlon (учтите, что для установки на ПК с процессором Pentium 4 годятся только версии, начиная с MATLAB 6.1);
- устройство считывания компакт-дисков (привод CD-ROM) (для установки), мышь, 8-разрядный графический адаптер и монитор, поддерживающие не менее 256 цветов;
- операционная система Windows 95/98 (оригинальная или второе издание) /Me (Millennium Edition) /2000/ (допускается также NT4 с сервис-пакетами 5 или 6a, а также Windows XP для MATLAB 6.5);
- ОЗУ емкостью 64 Мбайт для минимального варианта системы (рекомендуется иметь память не менее 128 Мбайт);
- до 1500 Мбайт дискового пространства при полной установке всех расширений и всех справочных систем (при ограничении справки англоязычными документами MATLAB 6.5 снижает свои «аппетиты» и устанавливается примерно в 1000 Мбайт дискового пространства).

Для использования расширенных возможностей системы нужны графический ускоритель, Windows-совместимые звуковая карта и принтер, текстовый процессор Microsoft Word 95/97/2000 для реализации Notebook, компиляторы языков Си/Си++ и/или ФОРТРАН для подготовки собственных файлов расширения и браузер Netscape Navigator 4.0 и выше или Microsoft Internet Explorer 4.0 и выше. Для просмотра файлов справочной системы в формате PDF нужна программа Adobe Reader или Adobe Acrobat 3.0 и выше.

Отличия между платформами, на которых может работать система MATLAB в основном связаны со скоростью выполнения операций, в особенности при выводе трехмерной графики, при расчете сцены и рендеринге с новым, введенным только в данной версии механизмом Open GL и с отдельными деталями интерфейса. Как гарантирует MathWorks, отличия совсем (или для платформ HP и IBM почти совсем) не затрагивают базового набора возможностей ядра и пакетов прикладных программ. Поэтому читатели, работающие с MATLAB 6.* на любой платформе, могут пользоваться всеми или большей частью материалов данной книги.

1.4.2. Установка систем MATLAB 6.*

Установка систем MATLAB в среде Windows 95/98/NT обычно не имеет никаких специфических особенностей и подобна установке других программных продуктов. Возможны типичная установка и выборочная, в ходе которых вам предлагается выбор компонентов системы. Последняя предпочтительнее, так как из-за огромного объема системы ее полная установка не всегда возможна.

Для установки системы на ПК достаточно вставить установочный компакт-диск в устройство считывания компакт-дисков. Диск запускается автоматически и выводит временное окно — заставку системы. При этом копируются вспомогательные файлы MathWorks Installer (Мастера установки). При выборочной установке в окне инсталлятора (рис. 1.1) надо отметить те пакеты расширения, которые желательно загрузить.

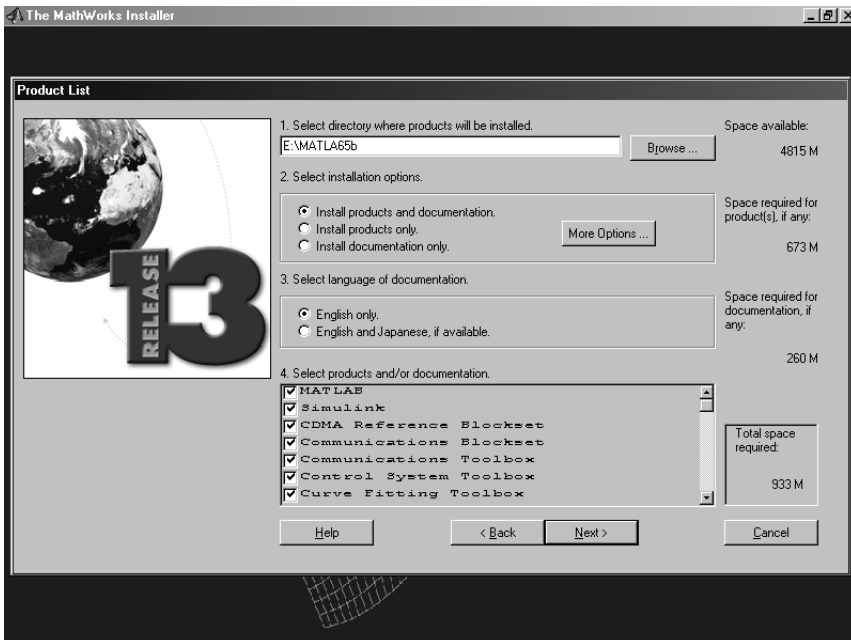


Рис. 1.1. Окно инсталлятора MATLAB с перечнем расширений

Полное описание установки можно найти в [6], но, как показывает практика, даже начинающий пользователь справляется с ней без особых затруднений. Учтите лишь, что нередко установка занимает 2—3 часа (меньше только на современных компьютерах со скоростными микропроцессорами).

1.4.3. Файловая система MATLAB

Система MATLAB состоит из многих тысяч файлов, находящихся в папках. Полезно иметь представление о содержании основных папок, поскольку это позволяет быстро оценить возможности системы, — например, узнать, какие операторы, функции или графические команды входят в нее.

В MATLAB особое значение имеют файлы двух типов — с расширениями `.mat` и `.m`. Первые являются бинарными файлами, в которых могут храниться значения переменных. Вторые представляют собой текстовые файлы, содержащие внешние программы, определения команд и функций системы. Именно к ним относится большая часть команд и функций, в том числе задаваемых пользователем для решения своих специфических задач. Нередко встречаются и файлы с расширением `.c` (коды на языке Си), файлы с откомпилированными кодами MATLAB с расширением `.mex` и другие. Исполняемые файлы имеют расширение `.exe`.

Особое значение имеет папка `MATLAB/TOOLBOX/MATLAB`. В ней содержится набор стандартных `m`-файлов системы. Просмотр этих файлов позволяет детально оценить возможности поставляемой конкретной версии системы. Ниже перечислены основные подпапки с этими файлами (деление на категории условно, на самом деле все подпапки находятся в общей папке `MATLAB/TOOLBOX/MATLAB`).

Подпапка команд общего назначения:

- `General` — команды общего назначения: работа со справкой, управление окном MATLAB, взаимодействие с операционной системой и т. д.

Подпапки операторов, конструкций языка и системных функций:

- `ops` — операторы и специальные символы;
- `lang` — конструкции языка программирования;
- `strfun` — строковые функции;
- `iofun` — функции ввода/вывода;
- `timefun` — функции времени и дат;
- `datatypes` — типы и структуры данных.

Подпапки основных математических и матричных функций:

- `elmat` — команды создания элементарных матриц и операций с ними;
- `elfun` — элементарные математические функции;
- `specfun` — специальные математические функции;
- `matfun` — матричные функции линейной алгебры;
- `datafun` — анализ данных и преобразования Фурье;
- `polyfun` — полиномиальные функции и функции интерполяции;
- `funfun` — функции функций и функции решения обыкновенных дифференциальных уравнений;
- `soarfun` — функции разреженных матриц.

Подпапки команд графики:

- graph2d — команды двумерной графики;
- graph3d — команды трехмерной графики;
- specgraph — команды специальной графики;
- graphics — команды дескрипторной графики;
- uitools — графика пользовательского интерфейса.

Полный состав файлов каждой подпапки (их список содержится в файле contents.m) можно вывести на просмотр с помощью команды `help имя`, где `имя` — название соответствующей подпапки.

1.5. Начало работы с системами MATLAB 6.*

1.5.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога

В этой книге предполагается, что MATLAB используется в среде операционной системы Windows 95 [75] или Windows 98/Me/2000 [76]. Копии сеансов работы MATLAB даны именно для этих случаев. Однако пользователи, работающие с Windows NT4 или XP, также могут обращаться к материалам данной книги без каких-либо ограничений, поскольку отличия касаются лишь мелких деталей пользовательского интерфейса. Это справедливо, хотя в меньшей мере, и для пользователей систем MATLAB на иных платформах.

MATLAB обычно запускается из главного меню операционной системы Windows 98 со стандартным видом рабочего стола, подобным использованному в Windows 95. Для раскрытия главного меню активизируется кнопка Пуск (Start), расположенная внизу рабочего стола слева, или можно щелкнуть на значке с логотипом системы на рабочем столе Windows.

После запуска MATLAB на экране появляется основное окно системы MATLAB, показанное на рис. 1.2. Обычно оно раскрыто не полностью и занимает часть рабочего стола. Вы можете раскрыть окно полностью, щелкнув на средней из трех кнопок, расположенных в конце титульной (верхней) строки окна. Левая кнопка сворачивает окно в кнопку с именем приложения, помещаемую в панель задач Windows 95/98, а правая закрывает окно и прекращает работу с MATLAB.

Система готова к проведению вычислений в *командном режиме*. При этом вы можете не обращать внимания на новации пользовательского интерфейса, привнесенного операционными системами Windows 95 и 98/Me/2000/NT4, в виде расширяемого окна и панели инструментов. Мы обсудим их роль позже.

Для явного уточнения версии системы следует вывести окно с информацией о системе (команда About MATLAB (О MATLAB) в меню Help (Помощь)). Это окно представлено на рис. 1.3 в центре. Из него видно, что в данном случае запущена бета-версия 6.5 (реализация R13) от 30 ноября 2001 г. Поскольку номер лицензии имеет конфиденциальный характер, вместо него на рисунке показана надпись Demo. Аналогичным образом легко получить данные о той версии, которая используется пользователем на его ПК.