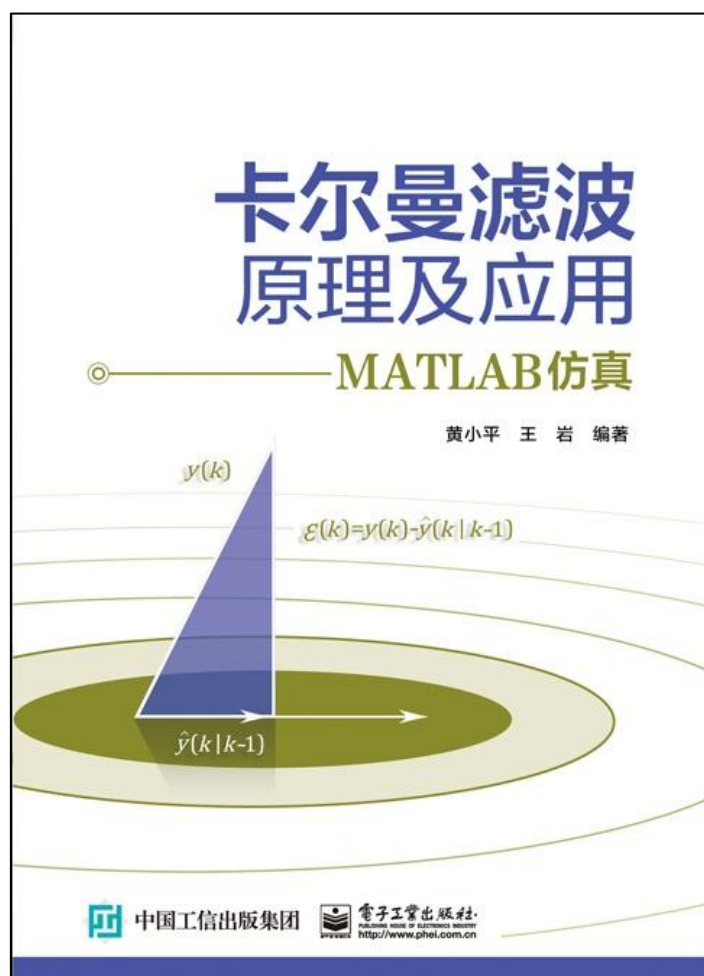


《卡尔曼滤波原理及应用-MATLAB 仿真》

原理+实例+程序+中文注释



基本信息

书名：卡尔曼滤波原理及应用：MATLAB 仿真

原价：39.80 元

作者：黄小平,王岩

出版社：电子工业出版社

出版日期：2015-06-01

ISBN：9787121263101

字数：

页码：188

版次：1

装帧：平装

开本：16 开

商品重量：0.4kg

内容简介

本书主要介绍数字信号处理中的 Kalman 滤波算法及在相关领域应用的相关内容。全书共 7 章组成。第 1 章为绪论。第 2 章介绍 MATLAB 算法仿真的编程基础，只有掌握一定的编程能力，才能快捷高效地仿真算法。第 3 章介绍线性 Kalman 滤波，它是经典的 Kalman 滤波算法，也是其他线性或非线性 Kalman 滤波算法的源头，如信息卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波等，都是以经典的线性 Kaman 滤波为蓝本的。第 4 章讨论扩展卡尔曼滤波，并介绍其在目标跟踪和制导领域的应用和算法仿真。第 5 章介绍 UKF 滤波算法，同时也给出其应用领域内的算法仿真实例。第 6 章介绍了交互多模型卡尔曼滤波算法。第 7 章介绍 Simulink 环境下，如何通过模块库和 S 函数构建 Kalman 滤波器，并给出了系统是线性和非线性两种情况的滤波器设计方法。

本书可以作为电子信息类各专业高年级本科生和硕士、博士研究生数字信号处理课程或者 Kalman 滤波原理的教材，也可以作为从事雷达、语音、图像等传感器数字信号处理的教师和科研人员的参考书。

目 录

第 1 章 绪论 t1

1. 1 滤波的基础知识 t1

1. 2 Kalman 滤波的背景 t1

1. 3 Kalman 滤波的发展过程 t2

1. 4 Kalman 滤波的应用领域 t4

第 2 章 MATLAB 仿真基础 t6

2. 1 MATLAB 简介 t6

2. 1. 1 MATLAB 发展历史 t6

2. 1. 2 MATLAB 7. 1 的系统简介 t7

2. 1. 3 M 文件编辑器的使用 t10

2. 2 数据类型和数组 t12

2. 2. 1 数据类型概述 t12

2. 2. 2 数组的创建 t13

2. 2. 3 数组的属性 t15

2. 2. 4 数组的操作 t16

2. 2. 5 结构体和元胞数组 t19

2. 3 程序设计 t21

2. 3. 1 条件语句 t21

2. 3. 2 循环语句 t23

2. 3. 3 函数 t25

2. 3. 4 画图 t27

2. 4 小结 t29

第 3 章 线性 Kalman 滤波 t30

3. 1 Kalman 滤波原理 t30

3. 1. 1 射影定理 t30

3. 1. 2 Kalman 滤波器 t33

3. 1. 3 Kalman 滤波的参数处理 t37

3. 2 Kalman 滤波在温度测量中的应用 t39

3. 2. 1 原理介绍 t39

3. 2. 2 MATLAB 仿真程序 t42

3. 3 Kalman 滤波在自由落体运动目标跟踪中的应用 t44

3. 3. 1 状态方程的建立 t44

3. 3. 2 MATLAB 仿真程序 t47

3. 4 Kalman 滤波在船舶 GPS 导航定位系统中的应用 t50

3. 4. 1 原理介绍 t50

3. 4. 2 MATLAB 仿真程序 t53

3. 5 Kalman 滤波在石油地震勘探中的应用 t55

3. 5. 1 石油地震勘探白噪声反卷积滤波原理 t55

3. 5. 2 石油地震勘探白噪声反卷积滤波仿真实现 t57

3. 5. 3 MATLAB 仿真程序 t58

3. 6 Kalman 滤波在视频图像目标跟踪中的应用 t60

3. 6. 1 视频图像处理的基本方法 t61

3. 6. 2 Kalman 滤波对自由下落的皮球跟踪应用 t68

3. 6. 3 目标检测 MATLAB 程序 t70

3. 6. 4 Kalman 滤波视频跟踪 MATLAB 程序 t72

第 4 章 扩展 Kalman 滤波 t77

4. 1 扩展 Kalman 滤波原理 t77

4. 1. 1 局部线性化 t77

4. 1. 2 线性 Kalman 滤波 t79

4. 2 简单非线性系统的扩展 Kalman 滤波器设计 t80

4. 2. 1 原理介绍 t80

4. 2. 2 标量非线性系统 EKF 的 MATLAB 程序 t83

4. 3 EKF 在目标跟踪中的应用 t84

4. 3. 1 目标跟踪数学建模 t84

4. 3. 2 基于观测距离的 EKF 目标跟踪算法 t85

4. 3. 3 基于距离的目标跟踪算法 MATLAB 程序 t87

4. 3. 4 基于 EKF 的纯方位目标跟踪算法 t89

4. 3. 5 纯方位目标跟踪算法 MATLAB 程序 t91

4. 4 EKF 在纯方位寻的导弹制导中的应用 t94

4. 4. 1 三维寻的制导系统 t94

4. 4. 2 EKF 在寻的制导问题中的算法分析 t96

4. 4. 3 仿真结果 t97

4. 4. 4 寻的制导 MATLAB 程序 t99

第 5 章 无迹 Kalman 滤波 t103

5. 1 无迹 Kalman 滤波原理 t103

- 5. 1. 1 无迹变换 t103
- 5. 1. 2 无迹 Kalman 滤波算法实现 t105
- 5. 2 无迹 Kalman 滤波在单观测站目标跟踪中的应用 t107
 - 5. 2. 1 原理介绍 t107
 - 5. 2. 2 仿真程序 t108
- 5. 3 UKF 在匀加速度直线运动目标跟踪中的应用 t111
 - 5. 3. 1 原理介绍 t111
 - 5. 3. 2 仿真程序 t113
- 5. 4 UKF 与 EKF 算法的应用比较 t116
- 第 6 章 交互多模型 Kalman 滤波 t119
 - 6. 1 交互多模型 Kalman 滤波原理 t119
 - 6. 2 交互多模型 Kalman 滤波在目标跟踪中的应用 t122
 - 6. 2. 1 问题描述 t122
 - 6. 2. 2 IMM 滤波器设计 t123
 - 6. 2. 3 仿真分析 t124
 - 6. 2. 4 IMM Kalman 滤波算法 MATLAB 仿真程序 t126
- 第 7 章 Kalman 滤波的 Simulink 仿真 t132
 - 7. 1 Simulink 概述 t132
 - 7. 1. 1 Simulink 启动 t132
 - 7. 1. 2 Simulink 仿真设置 t134
 - 7. 1. 3 Simulink 模块库简介 t139
 - 7. 2 S 函数 t143

- 7. 2. 1 S 函数原理 t143
- 7. 2. 2 S 函数的控制流程 t147
- 7. 3 线性 Kalman 的 Simulink 仿真 t148
 - 7. 3. 1 一维数据的 Kalman 滤波处理 t148
 - 7. 3. 2 状态方程和观测方程的 Simulink 建模 t154
 - 7. 3. 3 基于 S 函数的 Kalman 滤波器设计 t160
- 7. 4 非线性 Kalman 滤波 t167
 - 7. 4. 1 基于 Simulink 的 EKF 滤波器设计 t167
 - 7. 4. 2 基于 Simulink 的 UKF 滤波器设计 t174
- 7. 5 小结 t179

书中部分内容截图

第三章 线性卡尔曼滤波

在许多工程实践中，往往不能直接得到所需要的状态变量的真实值。例如，雷达在探测空中目标的时候，根据反射波等信息能算出目标的距离，但是雷达探测过程中存在随机干扰的问题，导致在观测得到的信号中往往夹杂有随机噪声。我们要从夹杂有随机噪声的观测信号中分离出飞机或导弹的运动状态量。要准确地得到所需的状态变量是不可能的，只能根据观测信号来估计或预测这些状态变量。Kalman滤波器就是这种能有效降低噪声影响的利器。在线性系统中，Kalman滤波是最优滤波器。随着计算机技术的发展，Kalman滤波的计算要求与复杂性已不再成为其应用的障碍，越来越受到人们的青睐。目前 Kalman 滤波理论已经广泛应用在国防、军事、跟踪、制导等许多高科技领域。

3.1 Kalman滤波原理

在几何上 Kalman 滤波器可以看做是状态变量在由观测生成的线性空间上的射影。因此射影定理是 Kalman 滤波推导的基本工具。在介绍线性离散系统的 Kalman 滤波方程之前，先介绍射影定理。

3.1.1 射影定理

定义 3.1 由 $m \times 1$ 维随机向量 $y \in R^m$ 的线性函数估计 $n \times 1$ 维随机变量 $x \in R^n$ ，记估

3.2 Kalman滤波在温度测量中的应用

3.2.1 原理介绍

到这里，读者也许还没弄明白 Kalman 滤波到底是怎样的一个过程，在此结合温

我们需要确定卡尔曼滤波器两个初始值，分别是 $X(0)$ 和 $P(0)$ 。

运行下一节所附程序得到如图 3.3 和图 3.4 的仿真结果。

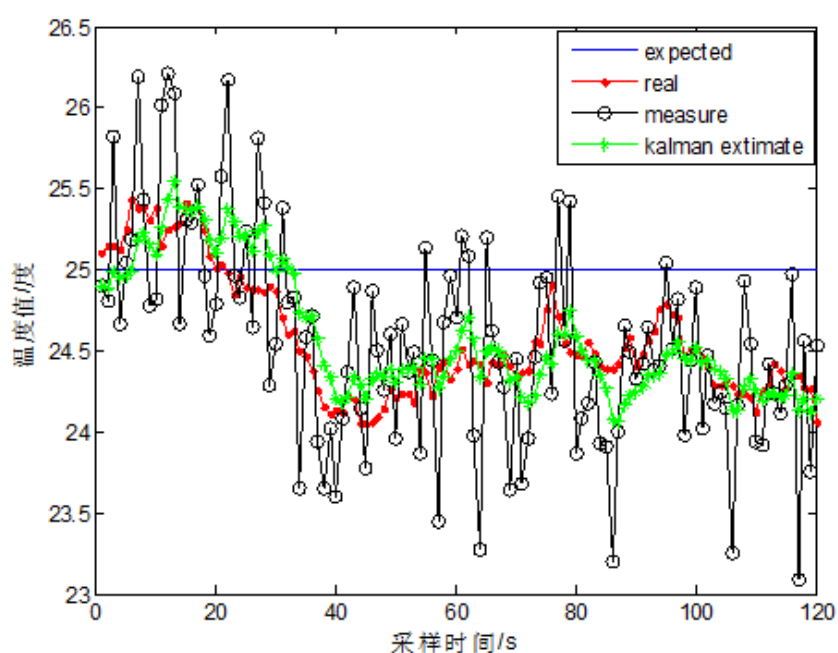


图 3.3 房间温度估计

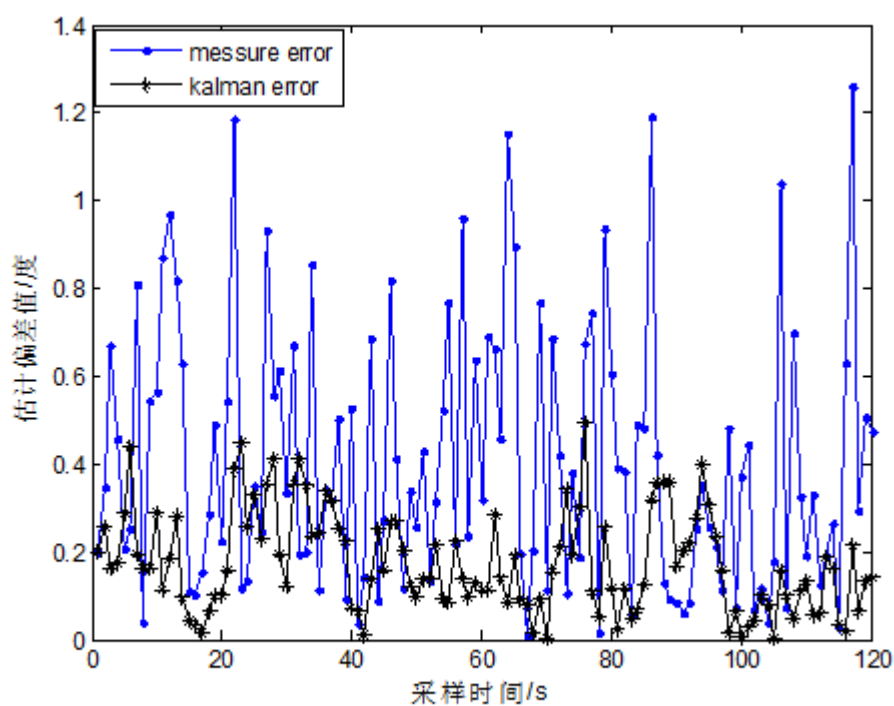


图 3.4 房间温度误差分析

3.2.2 Matlab 仿真程序

```
function main
N=120;%采样点的个数, 时间单位是分钟, 可理解为试验进行了 60 分钟的测量
CON=25;%室内温度的理论值,在这个理论值得基础上受过程噪声会有波动
% 对状态和测量初始化
Xexpect=CON*ones(1,N); %期望的温度是恒定的 25 度, 但真实温度不可能会这样的
X=zeros(1,N); % 房间各时刻真实温度值
Xkf=zeros(1,N); % Kalman 滤波处理的状态, 也叫估计值
Z=zeros(1,N); % 温度计测量值
P=zeros(1,N);
%赋初值
X(1)=25.1; %假如初始值房间温度为 25.1 度
P(1)=0.01; %初始值的协方差
Z(1)=24.9;
Xkf(1)=Z(1); %初始测量值为 24.9 度, 可以作为滤波器的初始估计状态
% 噪声
Q=0.01;
R=0.25;
W=sqrt(Q)*randn(1,N); % 方差决定噪声的大小
V=sqrt(R)*randn(1,N); % 方差决定噪声的大小
% 系统矩阵
F=1;
G=1;
H=1;
I=eye(1); %本系统状态为一维
```

完整版程序请看书，此为部分截图（下同）

3.4 Kalman滤波在船舶GPS导航定位系统中的应用

3.4.1 原理介绍

全球定位系统（Global Positioning System, GPS）广泛应用于军事和国民经济各领域。船舶 GPS 导航定位原理如图 3.8 所示，将一台 GPS 接收机安装在运动目标（船舶）上就可以进行导航定位计算。GPS 接收机可以实时收到在轨的导航卫星播发的信号，算出接受载体（船舶）的位置和速度。由于民用领域 GPS 导航卫星播发的信号人为加入了高频振荡随机干扰信号，致使所有派生的卫星信号均产生高频抖动。为了提高定位精度，需要对 GPS 关于船舶的位置和速度的观测信号进行滤波。在 GPS 系统中人为加入的高频随机干扰信号可看成是 GPS 观测的观测噪声。观测噪声强度（方差）可由 GPS 观测信号用系统辨识方法求得。

3.4.2 Matlab 仿真程序

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
% Kalman 滤波在船舶 GPS 导航定位系统中的应用  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
function Kalman  
clc;clear;  
T=1;%雷达扫描周期  
N=80/T;%总的采样次数  
X=zeros(4,N);% 目标真实位置、速度  
X(:,1)=[-100,2,200,20];% 目标初始位置、速度  
Z=zeros(2,N);% 传感器对位置的观测  
Z(:,1)=[X(1,1),X(3,1)]; % 观测初始化  
delta_w=1e-2; %如果增大这个参数，目标真实轨迹就是曲线了  
Q=delta_w*diag([0.5,1,0.5,1]);% 过程噪声均值  
R=100*eye(2); %观测噪声均值  
F=[1,T,0,0;0,1,0,0;0,0,1,T;0,0,0,1]; % 状态转移矩阵  
H=[1,0,0,0;0,0,1,0]; % 观测矩阵  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
for t=2:N  
    X(:,t)=F*X(:,t-1)+sqrtm(Q)*randn(4,1);%目标真实轨迹  
    Z(:,t)=H*X(:,t)+sqrtm(R)*randn(2,1);%对目标观测  
end
```

第七章 Kalman 滤波的 SIMULINK 仿真

Simulink 是 MATLAB 软件的扩展，是实现动态系统建模和仿真的一个软件包。它与 MATLAB 语言的主要区别是，其与用户交互接口是基于 Windows 的模型化图形输入，使用户可以把更多的精力投入到系统模型的构建，而非语言的编程上。

7.1 Simulink 概述

1990 年，MathWorks 软件公司为 MATLAB 提供了新的系统模型化输入与仿真工具，并命名为 SIMULAB，该工具很快就在工程界获得了广泛的认可，使仿真软件进入了模型化图形组态阶段，但因其名字与当时比较著名的软件 SIMULA 类似，所以在 1992 年正式将该软件更名为 Simulink。

Simulink 的出现为系统仿真与设计带来福音。顾名思义，该软件有两个主要功能：Simu（仿真）和 Link（连接），即该软件可以利用鼠标在模型窗口上绘制出所需要的仿真系统模型，然后利用 Simulink 提供的功能来对系统进行仿真

假定一个目标做匀速直线运动，状态方程为，

$$X(k+1) = F * X(k) + G * w(k) \quad (7.1)$$

其中目标的状态为 $X(k) = [x(k), \dot{x}(k), y(k), \dot{y}(k)]^T$ ，初始时刻的值为 $X(0) = [10, 5, 12, 5]^T$ ，目标的过程噪声 $w(k)$ 的方差为 $Q = \text{diag}[0.01, 0.09]$ ，即水平和垂直方向的速度噪声方差分别为 0.01 和 0.09，假如采样时间为 1s，则 F 和 G 分别为

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} 0.5\Delta t^2 & 0 \\ \Delta t & 0 \\ 0 & 0.5\Delta t^2 \\ 0 & \Delta t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0.5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

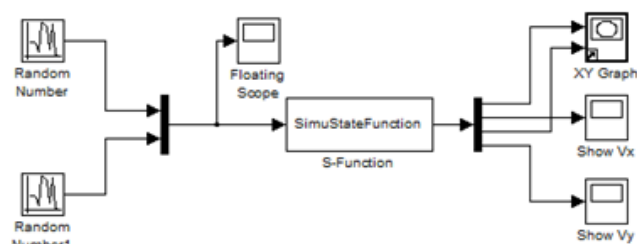


图 7-21 S 系统状态方程模型

和图 7-25。

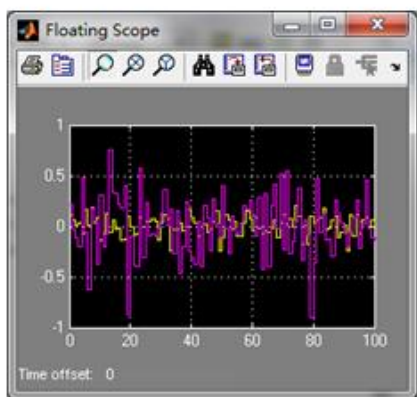


图 7-22 过程噪声模型

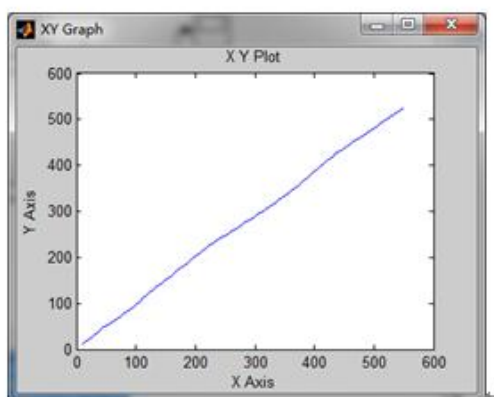


图 7-23 目标运行轨迹

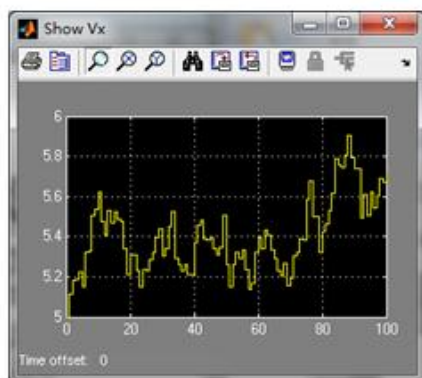


图 7-24 x 方向的速度

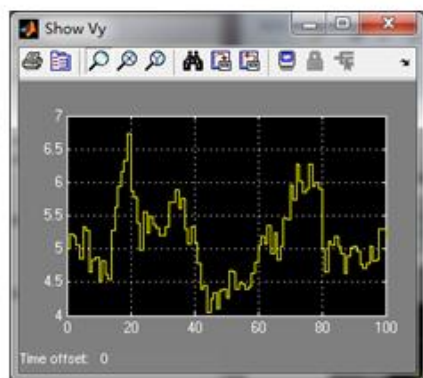


图 7-25 y 方向的速度

在 MATLAB 中编辑 M 文件 SimuStateFunction.m 和 KalmanFilter.m, 分别如下所示: ↵

(1) SimuStateFunction.m 文件 ↵

```
% 功能说明: S 函数仿真系统的状态方程  $X(k+1)=F*x(k)+G*w(k)$  ↵  
function [sys,x0,str,ts]=SimuStateFunction(t,x,u,flag) ↵  
global Xstate; ↵  
switch flag ↵  
    case 0 % 系统进行初始化, 调用 mdlInitializeSizes 函数 ↵  
        [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes; ↵  
    case 2 % 更新离散状态变量, 调用 mdlUpdate 函数 ↵  
        sys=mdlUpdate(t,x,u); ↵  
    case 3 % 计算 S 函数的输出, 调用 mdlOutputs ↵  
        sys=mdlOutputs(t,x,u); ↵  
    case {1,4} ↵  
        sys=[]; ↵  
    case 9 % 仿真结束, 保存状态值 ↵  
        save('Xstate','Xstate'); ↵  
    otherwise % 其他未知情况处理, 用户可以自定义 ↵  
        error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]); ↵  
end ↵
```

(4) ffun.m ↵

```
function Xnew=ffun(X) % 状态方程函数 ↵  
Xnew(1,1)=X(1)+1; ↵  
Xnew(2,1)=X(2)+sin(0.1*X(1)); ↵
```

(5) hfun.m ↵

```
function d=hfun(X) % 观测方程函数 ↵  
x0=0;y0=0; ↵  
d=sqrt( (X(1)-x0)^2+(X(2)-y0)^2 ); ↵
```

本例的所有文件清单如下, ↵

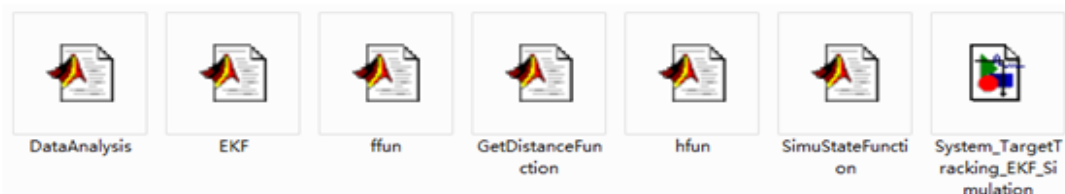


图 7-38 工程文件列表 ↵

运行系统的 Simulink 仿真模型, 得到以下仿真结果, 其中图 7-39 是真实状态,