

收稿日期: 2002- 05- 10

采用 Simulink 实现跟踪—微分器

Realization of Tracking—differentiator Based of Simulink

朱建华 孙秀霞 王春山
Zhu Jianhua Sun Xiuxia Wang Chunshan

(空军工程大学工程学院 西安 710038)

(The Engineering Institute of the Air Force Engineering University, Xi'an, 710038, China)

摘 要 提出的跟踪—微分器可以在对象结构未知的情况下,从受到噪声污染的信号中提取跟踪信号和微分信号,采用 Simulink 可以很方便地完成跟踪—微分器的编程。实践证明,新的跟踪—微分器可以应用在许多技术领域。

关键词 Matlab Simulink 跟踪—微分器

在实际工程中,常存在由不连续或带随机噪声的量测信号合理地提取连续信号及微分信号的问题。如实现 PID 调节,需要由不连续参考输入合理地提取微分信号;目标跟踪需要从雷达的位置量测信号中合理地提取连续的位置信号及速度信号,等等。由于直接求微分在物理上无法实现,而采用线性微分及线性滤波等手段还不能令人满意地解决诸如此类问题^[1]。为此,文献 [1] 提出了一种非线性的跟踪—微分器,可以在对象模型未知或非线性的情况下完成这样的功能。

在跟踪—微分器的实现上,采用 Simulink 可以很方便地实现跟踪—微分器的软件编程与调试,如果同时使用 Matlab 中与 Simulink 配套的各种工具箱,就可以很方便地把带有跟踪—微分器的 Simulink 程序转换成各种低级语言编写的程序,甚至可以生成可执行程序,固化到硬件中。

1 跟踪—微分器

所谓跟踪—微分器就是这样的结构:对它输入一个信号 $v(t)$,它将输出 2 个信号 z_1 和 z_2 ,其中 z_1 跟踪 $v(t)$,而 $z_2 = \dot{z}_1$,从而把 z_2 作为 $v(t)$ 的“近似微分”。仿真表明,适当构造跟踪—微分器的内部结构,信号 z_1, z_2 可以在输入端信号不连续或包含一定的噪声时较好地提取出连续信号及其微分信号,而且速度快,精度高。

离散化的一阶跟踪—微分器的差分方程如下:

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + h^* x_2(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) + h^* f_{st2}(x_1(k), x_2(k), u_0(k), r, h) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $f_{st2}(\cdot)$ 由式 (2) 给出:

$$\begin{cases} W = hr, W_1 = hW \\ e(k) = x_1(k) - u_0(k), z_1(k) = e(k) + hx_2(k) \\ g(k) = \begin{cases} x_2(k) - \text{sign}(z_1(k))(W - \sqrt{W^2 + 8r|z_1(k)|/2}), & |z_1(k)| \geq W \\ x_2(k) + z_1(k)/h, & |z_1(k)| \leq W \end{cases} \\ f_{st2}(x_1(k), x_2(k), u_0(k), r, h) = \begin{cases} -r \text{sign}(g(k)), & |g(k)| \geq W \\ -rg(k)/W, & |g(k)| \leq W \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

式中, u_0 是被跟踪的输入信号, x_1 和 x_2 是跟踪—微分器的状态变量, h 是离散化采样步长, r 是反映跟踪快慢的速度因子。式 (1) 和式 (2) 按等时区方法综合出其最速控制的综合函数。这种形式的跟踪—微分器在跟踪性能、微分品质及消除颤震等方面都有很好地效果。

为了能跟踪二阶导数,需要将上述两个二阶离散跟踪—微分器串起来,并以第一个跟踪—微分器的第二个输出作为第二个跟踪—微分器的输入。即:

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + h^* x_2(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) + h^* f_{st2}(x_1(k), x_2(k), u_0(k), r, h) \\ x_3(k+1) = x_3(k) + h^* x_4(k) \\ x_4(k+1) = x_4(k) + h^* f_{st2}(x_3(k), x_4(k), u_0(k), r, h) \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + h^* x_2(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) + h^* f_{st2}(x_1(k), x_2(k), u_0(k), r, h) \end{cases}$$

从上述讨论可以看出，跟踪—微分器的参数选择并不要求事先知道系统的准确模型。这样，我们就可以采用二阶跟踪—微分器或者多个二阶跟踪—微分器的串联，在有噪声的条件下得到某个信号的跟踪信号及其导数的估计。

2 Matlab 仿真工具 Simulink 实时工作室 RTW 实时控制工具箱 xPC

Matlab 是一种面向科学与工程计算的高级语言，它集科学计算、自动控制、信号处理、神经网络和图像处理等学科的处理功能于一体，具有极高的编程效率。正是因为 MATLAB 具有这样的优点，现在，Matlab 已被从事科学研究、工程计算的广大科技工作者、高校师生确认为必须掌握的计算工具，是从理论通向实际的桥梁，也是最可信赖的科技资源之一。

仿真工具 Simulink 是 Matlab 提供的一个用来对动态系统进行建模、仿真和分析的软件包，它支持线性和非线性系统，能够在连续时间域、离散时间域或者两者混合的时间域里进行建模，它同样支持具有多种采样速率的系统^[3,4]。

实时工作室 RTW (Real Time Workshop)，简而言之，是和 Matlab、Simulink 一起使用的一个工具，它可以直接从 Simulink 模型生成 C 代码并且自动建立可以在不同环境下运行的可执行程序^[3,4]。

实时控制工具箱 xPC 是一种可以对基于标准 PC 硬件的实时系统进行设计、测试、调参的解决方案。这种方案采用主—从设计，即在主 PC 机之外还采用一台从 PC 机，用来进行实时控制^[5]。

3 采用 Simulink 来实现跟踪—微分器

在 Matlab 的 Simulink 环境中，可以采用多层封装的方法来实现跟踪—微分器的编程。例如，可以把跟踪—微分器封装为一个单独的模块，如图 1 所示。

在这个模块中的第一层子系统的结构如图 2 所示。

图 2 中的 Simulink 模块实现的就是式 (1) 所实现的功能，其中 FST2 模块实现的就是函数 f_{st2} 的功能，它的内部对应的是下一层封装。它的参数设置窗口的图形如图 3 所示。

在采用 Simulink 进行编程时，可以采用 Simulink 中的 Scope 模块来对各个信号进行跟踪和观测，这样可以非常直观地知道程序运行过程中各个量的变化情况。

在建立起了如图 1 所示的跟踪—微分器的 Simulink 模块之后，只需要采用简单的复制和粘贴操作就可以把它放在其他的 Simulink 软件中使用了。如果有必要，还可以配合采用实时工作室 RTW 把建立起来的

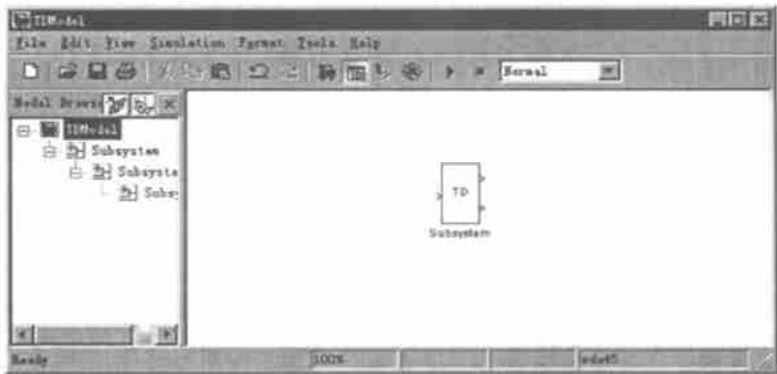


图 1 跟踪—微分器的外观

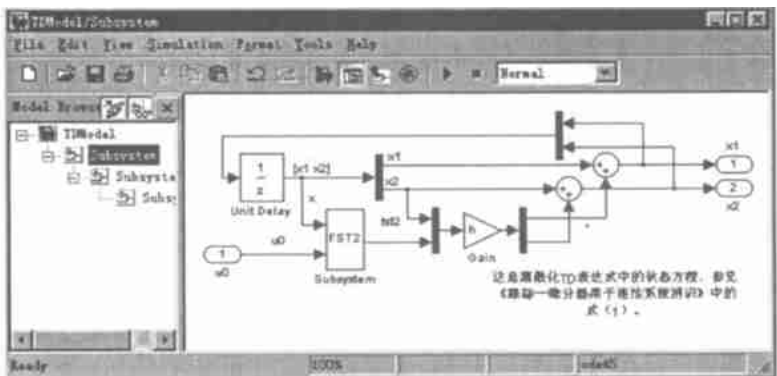


图 2 跟踪—微分器第一层子系统的结构

Simulink 软件转换为 C 语言程序,也可以配套采用实时控制工具箱 xPC 来对硬件进行控制,例如,可以对通过硬件采集来的信号用跟踪—微分器处理后再应用于设备的实时控制等等。

4 应用举例

图 4 为对某一个系统进行参数辨识所采用的 Simulink 模块图。

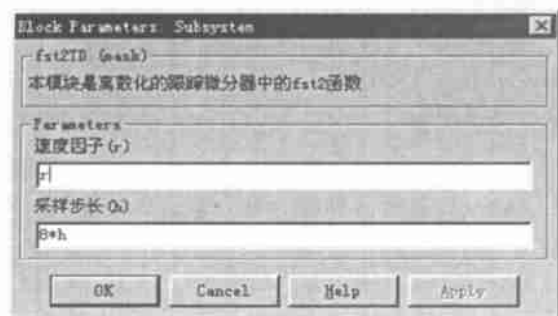


图 3 跟踪—微分器第一层子系统的参数设置窗口

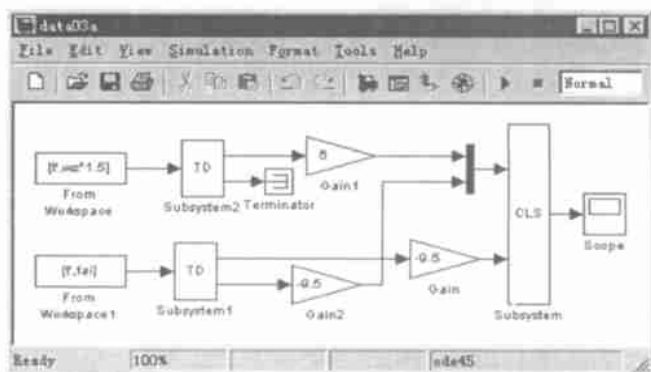


图 4 跟踪—微分器的应用举例

图 4 中 2 个“From Workspace”模块是把来自 Matlab 工作空间的数据作为该 Simulink 模块的输入,实际上是把量测所得的辨识对象的输入输出数据送来进行处理。2 个“TD”模块即跟踪—微分器模块,作用是对辨识对象的输入输出信号进行滤波,给出跟踪—信号和一阶导数信号的估计,作为辨识对象的扩张状态估计。最后的“CLS”模块为连续最小二乘法模块,功能为对加权后的扩张状态信号进行处理,给出辨识结果。“Scope”模块的功能为显示辨识结果,并传送至工作空间。最后的参数辨识结果与辨识前的预先估计非常相近,证明辨识结果可信。

从图 4 中可以看出,采用 Simulink 编写的跟踪—微分器模块在使用时非常方便,只需要从图 1 所示的模型中把它拷贝过来再进行适当的参数设置就可以了。同时,图中跟踪—微分器模块的作用非常明显,这充分体现了 Simulink 软件编程的优越性。

参 考 文 献

- 1 韩京清, 王伟. 非线性跟踪—微分器. 系统科学与数学, 1994, 14 (2)
- 2 张文革, 韩京清. 跟踪—微分器用于连续系统辨识. 控制与决策, 1999 (11)
- 3 范影乐, 等. MATLAB 仿真应用详解. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- 4 张志涌, 等. MATLAB 教程——基于 6.x 版本. 北京: 北京航空航天大学, 2001
- 5 xPC Target User's Guide, Math Works Inc, 2000, 5

Abstract Present a new model of tracking—differentiator, which can track the different signal with noise, the new model can be used in the system whose inner construction is unknown. The Simulink software simulation proves that it is easy to compose the model through programming, through precise, we find that the new tracking—differentiator is applied to many fields of technical application.

Keywords Matlab, Smulink, tracking—differentiator

作者简介 朱建华 男, 讲师, 硕士研究生, 研究方向为飞控理论及应用。

孙秀霞 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为飞控理论及应用。

王春山 男, 助工, 硕士研究生, 研究方向为飞控理论及应用。