

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.01.008

# 护栏立柱性能测试智能虚拟仪器系统的实现方法<sup>\*</sup>

涂晓威, 雷正保

(长沙理工大学 汽车与机械工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** 针对护栏立柱性能测试智能虚拟仪器系统开发过程中 Labview 数据处理和分析能力的不足, 结合 MATLAB 强大的数据运算能力进行智能虚拟仪器系统开发。以在 Labview 中调用 MATLAB 卡尔曼滤波算法对传感器采集信号进行处理为例, 分别实现基于 MATLAB 脚本节点、COM 组件技术和 DLL(动态链接库)3 种 Labview 和 MATLAB 混合编程方法的卡尔曼滤波算法开发, 并对 3 种混合编程方式的运行速度、技术特点等进行对比分析。结果表明, DLL 实现方式的运行速度最快, 运行时间为 3.1 ms; MATLAB Script 次之, 运行时间为 190.3 ms; COM 最慢, 运行时间为 1 453.2 ms。

**关键词:** 交通工程; 护栏立柱; 性能测试仪器; 智能虚拟仪器; 混合编程; 卡尔曼滤波

中图分类号: U491.59

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)01-0037-05

智能虚拟仪器系统是公路护栏立柱性能测试仪器的的重要组成部分, 基于 Labview 开发该系统具有简明、直观、快捷、方便的优势。Labview 集成了数据采集、串口操作、信号处理等特定的应用程序模块, 拥有强大的界面开发、硬件控制、网络通信能力, 但在算法支持、数据运算处理方面存在欠缺, 不利于大型应用程序的开发。MATLAB 拥有强大的数据处理能力和丰富的工具箱, 但在界面开发、网络通信、硬件控制方面不如 Labview。为推动智能化仪器系统的开发, 相关学者结合两者优势实现混合编程, 如彭宇宁等利用动态链接库(DLL)技术实现了 Labview 和 MATLAB 混合编程<sup>[1]</sup>; 陈旻灏等基于 COM 组件技术实现了 Labview 和 MATLAB 混合编程, 开发了天然气压缩因子计算软件, 解决了虚拟仪器开发过程中的复杂数据运算难题<sup>[2]</sup>。但针对两者新版本开发环境和多种混合编程技术进行实现的研究较少。本文以在 Labview 中调用 MATLAB 卡尔曼滤波程序对传感器采集信号进行处理为例, 实现基于 MATLAB 脚本节点、COM 组件、DLL 动态链接库 3 种混合编程技术的卡尔曼滤波算法开发, 并对 3 种方法的运行效率和技术特点等进行对比分析。

## 1 卡尔曼滤波的原理

卡尔曼滤波基于最小均方误差为最佳估计准

则, 能在线性高斯情况下对带随机干扰的目标进行动态估计<sup>[3]</sup>, 广泛应用于信号处理、传感器数据融合、系统控制等。卡尔曼滤波的状态方程和观测方程如下<sup>[4]</sup>:

$$X_k = F_{k,k-1} X_{k-1} + I_{k-1} W_k \quad (1)$$

$$Z_k = H_k X_k + V_k \quad (2)$$

式中:  $F_{k,k-1}$  为  $t_{k-1}$  到  $t_k$  时刻的状态转移矩阵;  $I_{k-1}$  为系统噪声驱动矩阵;  $W_k$  为系统激励噪声序列;  $H_k$  为量测矩阵;  $V_k$  为量测噪声序列。

卡尔曼滤波主要由预测和更新校正两部分构成, 前者利用时间更新方程获取当前状态的先验估计, 后者负责反馈, 利用测量更新方程将当前测量变量与先验估计值相结合建立对当前状态改进的后验估计<sup>[5]</sup>。时间更新方程为:

$$\hat{X}_k^- = F \hat{X}_{k-1} + B \hat{U}_{k-1} \quad (3)$$

$$P_k^- = F P_{k-1} F^T + Q \quad (4)$$

状态更新方程为:

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k (Z_k - H \hat{X}_k^-) \quad (6)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad (7)$$

式中:  $X_k$  为第  $k$  步的状态变量,  $X_k \in R^n$ ;  $\hat{X}_k^-$  为在已知  $k$  步之前状态的条件第  $k$  步的先验状态估计值(—代表先验, —代表估计),  $\hat{X}_k^- \in R^n$ ;  $F$  为状态转

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家自然科学基金项目(52072048); 湖南省重点领域研发计划项目(2019SK2174)

移矩阵; $B$ 为输入控制矩阵; $U$ 为控制向量; $P^-$ 为先验估计误差协方差矩阵; $P$ 为后验估计误差协方差矩阵; $Q$ 为过程噪声协方差矩阵; $K$ 为卡尔曼增益; $H$ 为观测模型矩阵; $Z$ 为测量变量; $I$ 为单位矩阵。

本文以  $y = \sin(x)$  加上随机噪声代替虚拟仪器采集的带噪声的原始数据,开发卡尔曼滤波算法对数据进行滤波处理, MATLAB 运行结果见图 1。

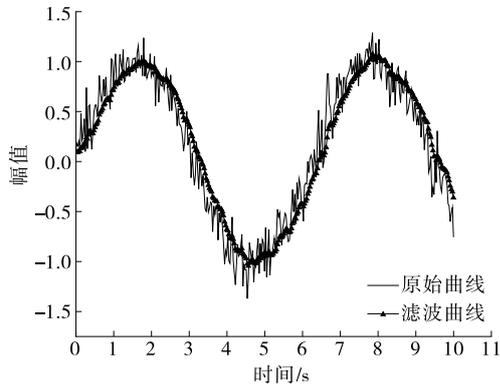


图 1 卡尔曼滤波效果图

## 2 基于混合编程的滤波算法开发

编程环境为 MATLAB 2018a、Labview 2017、VS2017。采用 Labview 和 MATLAB 混合编程方式进行智能化虚拟仪器系统开发, Labview 负责数据采集、用户界面设计等, MATLAB 在后台为 Labview 提供算法支持,其工作原理见图 2。以采用混合编程方式开发卡尔曼滤波算法对 Labview 采集信号进行滤波处理为例,基于 MATLAB 脚本节点、COM 组件技术、DLL 3 种混合编程技术实现 Labview 和 MATLAB 混合编程。



图 2 Labview 调用 MATLAB 算法数据处理

### 2.1 基于 MATLAB Script 节点的卡尔曼滤波算法的实现

Labview 在使用 MATLAB Script 节点调用 MATLAB 算法时,通过 ActiveX 控件与 MATLAB Server 建立通信,将 MATLAB 作为一个 ActiveX 服务器建立 ActiveX 通道。通过该通道, Labview 将调用的函数传送到 MATLAB,由 MATLAB 后台进行运算处理并返回结果<sup>[6]</sup>。该方法简单实用,用户可直接编辑 MATLAB 程序或导入程序 M 文件。但依赖于客户机安装 MATLAB 后台运行,不

利于大型应用程序开发。注意事项如下:1) 目标机需安装 MATLAB。2) MATLAB 和 Labview 数据类型定义有所区别,使用 MATLAB 脚本节点需注意输入、输出数据类型的转换使其相匹配,两者对应的数据类型定义见表 1。

表 1 MATLAB Script 节点输入、输出数据类型

Labview 数据类型	MATLAB 数据类型
双精度浮点数	Real
双精度浮点复数	Complex
双精度浮点型一维数组	1-D Array of Real
双精度浮点复数一维数组	1-D Array of Complex
双精度浮点型多维数组	2-D Array of Real
双精度浮点型复数多维数组	2-D Array of Complex
字符串	String
路径	Path

选择数学—>脚本与公式—>脚本节点—>MATLAB 脚本,可以直接在节点框图中编写卡尔曼滤波算法,或选择 Import 选项,导入编写好的 MATLAB 算法程序 M 文件。以采集数据和滤波数据作为输出,数据类型为 1-D Array of Real;以过程噪声  $Q$  和测量噪声  $R$  作为输入,数据类型为 Real。程序框图见图 3,数据滤波结果见图 4。

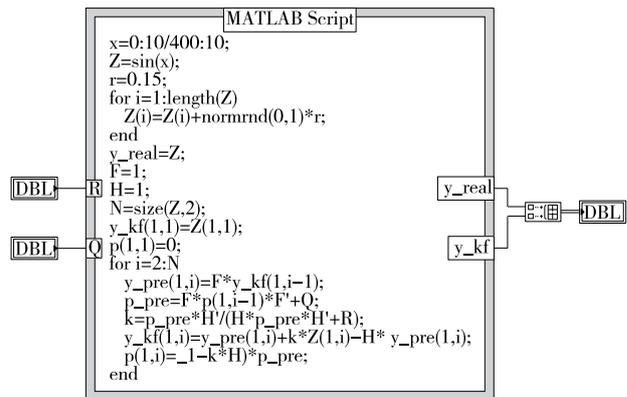


图 3 卡尔曼滤波算法的 MATLAB Script 节点实现

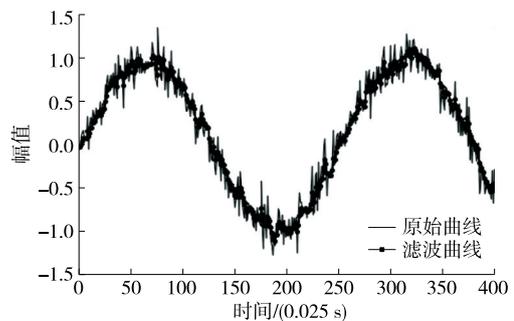


图 4 基于 MATLAB Script 实现采集数据滤波

### 2.2 基于 COM 组件技术的卡尔曼滤波算法的实现

MATLAB COM Builder 能将 MATLAB 算法转换为独立的 COM 组件对象,Labview 等支持 COM 组件的编程语言,通过 COM 组件,使开发的算法得以共享<sup>[1]</sup>。

#### 2.2.1 创建 COM 组件

(1) 在 MATLAB 中选择应用程序 -> Application Compiler -> 新建 -> Library Compiler Project,设置生成 COM 组件名称,组件版本选择 1.0 默认值。

(2) 选择 Generic COM Component,添加卡尔曼滤波算法 M 文件。需注意的是,它只接受具有单个入口点的 MATLAB 函数和 MEX 文件为导入函数。以 Q 和 R 作为输入、原始数据和滤波数据作为输出:

```
function[y_real,y_kf]=kalmanfilter(Q,R)
<函数体>
end
```

(3) 选择 Package 将 COM 组件打包并发布,打包完成后在目标路径下生成目标 DLL 文件并自动注册到系统中。

注意事项如下:1) 为避免注册失败,打包目标路径不能含有中文。2) 为避免调用时找不到目标注册文件,注册后不能改变或删除目标存储路径。3) 为使 COM 组件能在未安装 MATLAB 的客户机上使用,安装与版本匹配的 MCRInstaller.exe。

#### 2.2.2 Labview 调用 COM 组件实现混合编程

(1) 选择函数选板 -> 互接口 -> ActiveX -> 打开自动化控件,通过引用 COM 对象的方式调用 COM 组件,在自动化引用句柄接口选择生成的已注册类型库中目标 DLL 文件,返回指向目标 ActiveX 对象的自动化引用句柄。

(2) 选择互接口 -> ActiveX -> 调节节点,将返回的目标 ActiveX 对象的自动化引用句柄与调节节点引用端相连,选择 MATLAB 程序中目标函数名,其中 Nargout 传递的是输出变量个数,其余输入、输出变量和 MATLAB 定义的函数输入、输出变量一致。

(3) 调节节点输出变量数据类型为变体数据,其没有特定的数据类型,但具有相应的属性。为使 Labview 能对输入数据进行显示和处理,使用 ActiveX -> 变体至数据转换控件进行数据转换。本文将输出的变体数据转换为数组形式进行显示和处

理,图 5 为程序框图。Labview 中的数据滤波结果见图 6。

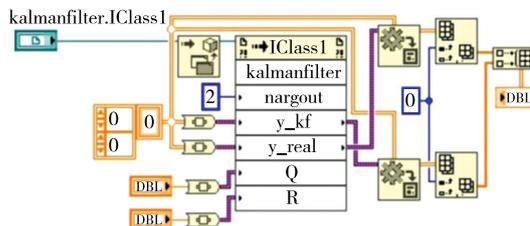


图 5 卡尔曼滤波算法 COM 实现程序框图

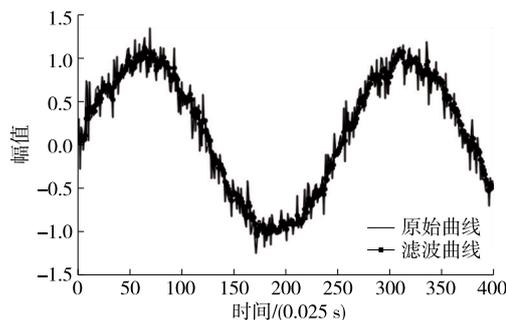


图 6 基于 COM 实现采集数据滤波

### 2.3 基于 DLL 的卡尔曼滤波算法的实现

DLL 由已封装好的可执行代码组成,其内部函数具有共享性,只需按 DLL 开发规范和编程策略编写并留有正确编程接口,就能被支持 DLL 的应用程序所调用<sup>[7]</sup>。由 MATLAB 编译器可将函数文件直接生成动态链接库文件,其数据类型为 mxArray 指针。但 Labview 不支持 mxArray,它支持标准的 C 数据类型,需利用 Visual Studio(VS)进行数据类型转换。本文利用 MATLAB 进行卡尔曼滤波算法开发,采用 Labview 进行调用,由 C 完成 Labview 和 MATLAB 之间的数据转换和传递,混合编程流程见图 7。

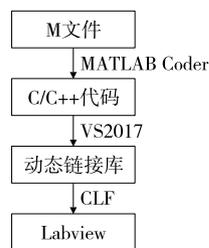


图 7 基于 DLL 的混合编程流程

#### 2.3.1 DLL 生成

(1) 利用 MATLAB Coder 将卡尔曼滤波算法 M 文件编译生成 C 文件。

(2) 通过 VS2017 新建一个项目,将生成的 C

文件中的 Kaerman.c、Kaerman.h、rt\_nonfinite.h、rtwtypes.h等文件添加到工程项目中。Kaerman.c 中包含目标算法程序。

(3) 创建模型定义文件 Kaermandll.def, 具体内容如下:

```
LIBRARY "mydll"
EXPORTS:此为关键词
Kaerman:声明的函数名
```

(4) 将项目配置类型设为动态库(.dll), 选择生成解决方案, 目标路径下将生成动态链接库文件。

### 2.3.2 DLL 调用

(1) 选择互连接口—>库与可执行程序—>调用函数节点, 对调用库函数进行配置, 库名/路径中添加目标动态链接库文件, 选择目标函数。

(2) 根据生成的 C 代码函数原型对函数输入参数和类型及返回值类型进行配置, 如果配置参数不匹配, 会导致 DLL 调用失败。本文将输入 Q 和 R 配置为 8 字节双精度数值, 将输出配置为 8 字节双精度数组, 数据格式为数组数据指针。

图 8 为卡尔曼滤波算法 DLL 实现的程序框图, 图 9 为 Labview 中数据滤波结果。

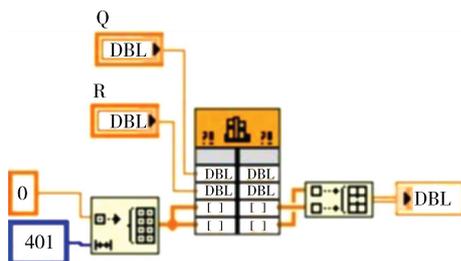


图 8 卡尔曼滤波算法 DLL 实现的程序框图

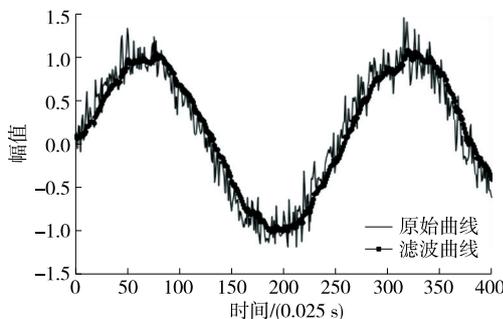


图 9 基于 DLL 实现采集数据滤波

## 2.4 混合编程原理和优势

结合上述 3 种混合编程技术实现卡尔曼滤波算法的开发, 混合编程原理见图 10。

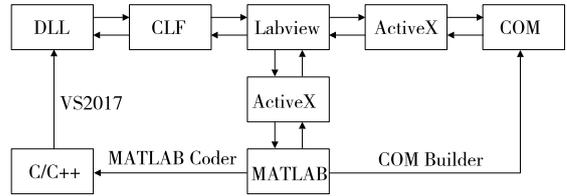


图 10 混合编程原理框图

通过混合编程, 可直接在前面板输入调试参数, 改变 Q、R 噪声值以调节卡尔曼增益实时查看滤波效果, 提高虚拟仪器系统算法开发和调试效率。如果使用 MATLAB 进行算法参数调试, 需根据不同参数编写程序绘制图像查看效果, 工作量大, 不能实时观测到调试效果; 使用 Labview 进行算法开发, 程序实现较困难, 程序繁琐、复杂。

## 3 3 种混合编程技术的比较

在智能虚拟仪器系统开发过程中, 有些场合对 Labview 程序的运行速度有较高要求, 如数据采集、仪器控制等。利用混合编程进行智能虚拟仪器系统开发时, 算法程序本身运行时间一定的情况下, 减少 Labview 调用 MATLAB 算法所需时间能有效提升程序运行速度。以基于混合编程开发卡尔曼滤波算法对传感器采集数据进行处理为例, 对比分析 3 种混合编程方式的运行速度。为方便统计调用算法的运行时间, 使用平铺式顺序结构获取程序运行前的时间及程序运行结束后的时间<sup>[8]</sup>, 其中 code 部分选用 3 种混合编程卡尔曼滤波实现采集数据处理代码。程序框图见图 11。

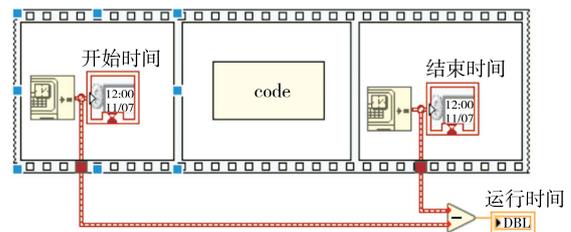


图 11 时间计算程序框图

为避免偶然性, 采用 3 次程序运行时间, 取平均值进行比较(见表 2)。

表 2 3 种混合编程方式数据处理运行时间 单位:s

混合编程方式	各次的运行时间			运行时间均值
	1	2	3	
MATLAB Script	0.189 9	0.191 5	0.189 5	0.190 3
COM	1.431 8	1.435 6	1.438 3	1.435 2
DLL	0.003 2	0.002 8	0.003 3	0.003 1

从表 2 可以看出:基于 DLL 技术的卡尔曼滤波算法的运行效率最高,运行时间仅 3.1 ms。该方式通过模块化加载,使 Labview 并行运行机制的优势得到有效发挥,但存在 MATLAB 编译器直接生成 DLL 数据格式 Labview 不能识别的问题,需借助 VS 进行数据格式转换以实现数据交换,实现较复杂。该方式下程序调用可以脱离 MATLAB 环境,执行效率高,适用于大型应用程序的开发。基于 MATLAB Script 技术的混合编程方式的运行速度次之,运行时间为 190.3 ms。该方式可直接在脚本节点中进行算法编写开发,实现简单,但依赖于 MATLAB 后台运行进行数据处理和交换,运行速度因此受到影响,且其可移植性不好,适用于简单应用程序开发。基于 COM 组件技术的混合编程方式可脱离 MATLAB 环境运行,其实现比 DLL 简单,但其运行速度最慢,且没有安装 MATLAB 的目标机调用 COM 组件需安装与 MATLAB 版本相匹配的 MCRInstaller.exe。

#### 4 结论

本文针对公路护栏立柱性能测试智能虚拟仪器系统开发中 Labview 数据处理和分析能力的不足,以运用混合编程开发卡尔曼滤波算法对传感器采集信号进行处理为例,对基于 MATLAB Script、COM、DLL 3 种技术的 Labview 和 MATLAB 混合编程方法进行研究。结果表明:基于 3 种技术的混合编程方式的运行速度优劣排序为 DLL > MATLAB Script > COM;实现复杂度优劣排序为

DLL > COM > MATLAB Script;DLL 需借助 VS 进行二次封装;MATLAB Script 需 MATLAB 后台支持;COM 和 DLL 都可以脱离 MATLAB 运行,但 COM 需安装 MCRInstaller.exe。选择合适的混合编程方式可有效提高性能测试智能虚拟仪器系统开发效率,提升程序运行速度。

#### 参考文献:

[1] 彭宇宁,朱后.利用 DLL 技术实现 LabVIEW 和 MATLAB 混合编程[J].计算机与现代化,2007(8):93-95.  
 [2] 陈旻灏,黄希扬,沈昱明.Matlab 与 LabVIEW 混合编程的天然气压缩因子软件设计[J].化工自动化及仪表,2019,46(10):844-848.  
 [3] 彭丁聪.卡尔曼滤波的基本原理及应用[J].软件导刊,2009,8(11):32-34.  
 [4] 秦永元,张洪钺,汪叔华.卡尔曼滤波与组合导航原理[M].2 版.西安:西北工业大学出版社,2012.  
 [5] 徐何,李滔,李勇.Matlab 与 LabVIEW 混合编程方法应用研究[J].科学技术与工程,2010,10(33):8267-8271.  
 [6] 王艳萍,杨建宋.VC++6.0 与 Matlab 混合编程在物理实验数据处理系统中的应用[J].实验室研究与探索,2011,30(5):64-67.  
 [7] 牛佳乐,邢兰昌,华陈权,等.基于 LabVIEW 与 MATLAB 混合编程的气液两相流测量软件开发[J].实验室研究与探索,2018,37(9):110-115.  
 [8] 张世国,汪玮,方海涛.LabVIEW 程序循环结构运行速度讨论[J].计算机应用,2018,38(S1):170-172.

收稿日期:2022-04-20

\*\*\*\*\*

## 《公路与汽运》杂志 2023 年征订启事

《公路与汽运》杂志由长沙理工大学主办,是一份介绍汽车、道路、桥梁等公路交通领域科技信息的面向国内外公开发行的技术类科技期刊。为首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、湖南省一级期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊,被中国期刊全文数据库及中文科技期刊数据库全文收录、万方数据—数字化期刊群全文上网,并荣获首届《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊奖。

本刊立足公路交通系统,报道国内外汽车与公路交通领域的最新研究成果,荟萃汽车运用与维修技术,传播公路交通安全知识,介绍公路运输行业的新技术与管理经验,刊登公路交通工程的新工艺、新技术、新材料。2023 年拟设主要栏目:汽车工程;交通规划与管理;运输与物流;道路工程;桥隧工程;工程经济与管理。

本刊为双月刊,逢单月 25 日出版。发行代号:国内 42-95,国外 DK43002。每期定价 15 元,全年 90 元。读者可在当地邮局订阅,也可直接向本刊编辑部索取订单订阅,订阅款请汇至本刊编辑部或银行账号。

通信地址:长沙理工大学云塘校区 8 号信箱 邮编:410114 联系电话:0731-83528400

开户行:工商银行长沙银迅支行 户名:长沙理工大学 账号:190101600910988886