

一种复杂精确实时控制的通用实现方法

A General Realization Method of Achieve Complex and Precise Real-time Control

黄 睿 (杭州职业技术学院 信电系 浙江杭州 310018)

谢建蔚 (浙江大学机械与能源学院 浙江杭州 310027)

摘 要: Windows 操作系统具有良好的用户界面和丰富的接口函数,节省开发时间和难度,但是由于其不是一个实时操作系统,开发实时控制软件较困难,而某些复杂控制算法涉及到矩阵运算等,采用一般的程序语言实现较繁杂,执行效率不高且易出错。本文基于 ActiveX 控件技术,介绍了一种在 Windows 环境下结合 MATLAB 的强大科学计算功能,实现复杂精确实时控制的实现方法,该方法具有很强的通用性,可以给广大科技工作者和工程人员提供一定的帮助和参考。

关键词: ActiveX 控件 实时控制 MATLAB Delphi COM 编程

1 引言

Windows 作为主流的操作系统,为程序员提供了丰富的内部接口函数,很容易构造良好的人机界面,相对于其它操作系统,开发时间短,难度小。但是 Windows 操作系统的设计面向商业办公自动化,注重的是多任务平均处理性能,对底层硬件操作的限制十分严格,普通用户在此环境下实现实时控制的难度很大,常常需要采取特殊手段来实现一定范围内的实时控制。

组件对象模型(Component Object Model, COM)是微软定义的关于组件形态和接口的标准规范,实现了软件组件在二进制上的兼容性,确保了不同编程语言之间的互操作性,实现了与编程语言无关的软件重用。

众所周知, MATLAB 具有强大的科学计算处理能力和丰富的工具箱,在信号处理、自动控制等诸多领域应用广泛。

本文基于 ActiveX 控件和数据采集卡设备,同时结合 MATLAB 的强大科学计算功能,给出了在 windows 环境下实现复杂算法的实时控制的一种简捷方法。

2 基于 ActiveX 的实时控制

基于个人计算机的实时控制平台一般包括数据采集卡、功率放大元件、信号处理以及控制软件。一般的数据采集卡厂商都会提供相应的 ActiveX 控件以方便用户的设计。本文以研华公司的 ActiveDAQ 为例进行介绍。ActiveDAQ 包括多个实现不同 I/O 功能的组件,可用于 Microsoft Visual C++, Microsoft Visual Basic, Borland C++ Builder, Borland Delphi and Microsoft Visual Studio .NET 等不同的开发环境。通过组件的属性、事件和方法,可以方便的实现输入输出操作。

在安装 ActiveDAQ 之后,作为 ActiveX 控件导入开发环境之中即可进行编程,但是在程序运行之前,需要先运行 Advantech Device Manager 配置工具安装相应的 dll 驱动。

DAQAI 是 ActiveDAQ 控件组中最常用的,它实现外部信号的采样输入,其中下列属性、方法以及事件对数据采集功能的实现具有关键作用。

DeviceNumber: 指定设备编号,必须与 Advantech Device Manager 中的一致。

StartChanne: 开始采样的通道。

NumberOfChannels: 采样的通道总数。

NumberOfSamples: 采样点数。

SampleRate: 采样率, 单位赫兹;

TransferMode: 采样传送模式。包括软件触发和中断触发。软件触发通过方法 RealInput 或 RawInput 实现单点数据的采样。中断触发在采完 NumberOfSamples 指定的点数之后触发事件 OnEventReal 或 OnEventRaw。

CyclicMode: 在中断模式下, 如果选择循环, 则在采完 NumberOfSamples 采样点之后, 中断事件会不断触发, 在实时控制下需要选择此工作方式。

AcquireStart: 开始中断采样

AcquireStop: 停止中断采样。

OnEventReal: 采集完 NumberOfSamples 之后触发, 返回采样点数量和采样数据。

OpenDevice: 初始化采集卡, 必须在指定 DeviceNumber 之后, 在采集任务之前运行。

CloseDevice: 采集卡复位, 在采集任务完成之后运行该方法。

需要特别说明的是: 1) 采集卡以轮询方式工作, 在多通道采样时, 设定的采样频率 SampleRate 只是指定了在不同通道之间的切换采集频率, 而不是单通道的采样频率。2) 事件 OnEventReal 返回的采样数据按照通道序号循环排列, 如 $Ch1(k)$, $Ch1(k)$, $Ch2(k+1)$, $Ch2(k+1)$, \dots ; 3) 实时控制应用时, 为保证采样时间的精确, 需要采用中断传输方式, 并设置属性 CyclicMode 和 EventEnabled 为 true, 控制频率等效为中断触发的频率, 而不是采样频率。

一个简单的实时控制的 Delphi 源代码示意如下:

```
procedure TfrmMain. DAQAllEventReal ( Sender:
TObject; DataCount: Integer; Data: OleVariant );
var
.....//局部变量声明;
begin
//1. 导入采集得到的数据
for i := 1 to DataCount do
    ActualValue [ i ] := DoSomeTransform ( Data
[ i ] );
```

```
//2. 如果需要, 进行滤波
```

```
    DoFilter ( ActualValue );
```

```
//3. 计算控制量
```

```
    CtrlEffort := GetCtrlEffort ( );
```

```
//4. 输出到外部设备
```

```
    OutputControl ( CtrlEffort );
```

```
//5. 保存数据及一些其他操作
```

```
.....
```

```
end;
```

3 基于 Matlab COM 的控制器控件设计

Mathworks 公司在 MATLAB6.5 版本之后推出了将 M 函数编译为 COM 组件的工具 COM Builder, 使用这个工具可以充分利用 MATLAB 的强大功能, 快速方便地生成用户的 COM 组件, 以提供给其他支持 COM 编程的高级语言调用。

根据 COM 组件的建立与使用步骤简要说明如下, 关于 COM Builder 的安装与配置在此略过, 详细信息请参考 MATLAB COM Builder User's Guide。

第一步: 在 MATLAB 中编写 M 函数

由于这不是本文的主要内容, 因此具体过程不再详述, 仅着重说明几点:

1) 全局变量默认为 COM 组件的属性, 需要在所有的 M 函数中以 global 声明;

2) M 函数的文件名被作为组件的方法名, 而不是文件中的 M 函数名;

3) 对实时控制应用而言, 一般需要包括一个初始化方法和一个控制策略方法, 在初始化方法中进行控制器参数的初始设置, 需要初始化的内部使用变量也要用 global 声明, 在轨迹跟踪控制中, 控制方法的输入为参考值、当前实际值, 输出为控制量。

初始化方法示例如下。

```
function Initial
% 用户接口
global PropertyName_1, PropertyName_2
% 需要初始化的内部变量
global PrivateValue_1, PrivateValue_2
```

```
% 进行初始化
PrivateValue1 = 0;
PrivateValue2 = 0;
```

控制方法 GetCtrl 根据输入值 fln1, fln2 进行计算输出 fOut。控制的输入值一般为当前的实际值以及期望值。

```
function fOut\] = GetCtrl( fln1, fln2 )
% 用户接口
global PropertyName1, PropertyName2
% 需要初始化的内部变量
global PrivtVal1, PrivtVal2
% 检查输入变量
.....
% 计算中间状态变量
CalculateLocalValues;
.....
% 计算输出量
fOut = CalculateOutput;
% 其它操作
UpdatePrivateValues;
.....
```

第二步: 编译成 COM 组件

运行 COMTool 命令进入 GUI 界面进行操作。一个 COM 组件可以包括多个类, 因此对于控制应用而言, COM 组件名可以为 MyControllers, 类名可以为 ControlType1, ControlType2 等, 类名不需要加前缀 T, 导入 Delphi 后会自动添加。此外还有一些限制, 如组件名和类名都不允许有空格; 不同类的 M 文件不能同名, 并且不能存在同一子目录下; M 文件所在的目录不允许有空格。

第三步: 在 Windows 中安装并注册

在 MABLAB 中编译后自动会在本机注册。对于一台已经安装了 MATLAB 的计算机而言, 可以将 COM 组件安装在 MATLAB 的根目录下, 以避免重复安装相关的动态链接库。如果某个 COM 组件经过修改后重新安装, 需要先使用 mwregsvr 或 regsvr32 命令卸载该 COM 组件, 并建议升级修改后的组件版本号。如果已经安装有旧版本的类库且不希望将其覆盖, 只需要将

新版本的 dll 文件复制到本机上并进行注册即可, 为方便管理建议与老版本位于同一目录下。

第四步: 导入 Delphi 环境

在 Delphi 开发环境中导入 COM 组件的过程与导入一般的 ActiveX 控件没有什么区别, 在此略过。

第五步: Delphi 下的 COM 编程

在调用 COM 组件的方法时, 第一个输入参数为输出量的个数, 紧随其后的为输出变量, 然后是输入变量, 输入输出变量的类型必须为 OleVariant, 可以有单变量和数组两种方式, 当输入输出数据较多时建议采用数组形式, 其中输入数组在 MATLAB COM 组件中作为行向量处理, 例如

```
procedure UseMATLABCOM1( );
var
    MyOut: array[1..100] of double;
    InData, OutData: OleVariant;
    I: integer;
    P: Pointer;
begin
    InData := VarArrayCreate( [1, 100], varDouble );
    OutData := VarArrayCreate( [1, 100], varDouble );
    for I := 1 to 100 do
        InData[I] := sin(I);
        TstCOM. Plot(1, OutData, InData);
        P := VarArrayLock( OutData );
        try
            Move( P^, MyOut[I], 100 * SizeOf( double ) );
        finally
            VarArrayUnlock( OutData );
        end
    end;
end;
当输入、输出数据较少时采用单变量形式较为方便, 例如: procedure UseMATLABCOM2( );
var
    InData1, InData2, OutData1, OutData2: Ole-
```

```
Variant;
begin
    InData1 = 0.1;
    InData2 = 0.2;
    TstCOM.Plot(2, OutData1, OutData2, InData1,
InData2);
end;
```

需要注意输入的实际数据类型,很多 MATLAB 函数只支持浮点数,而不支持整数。

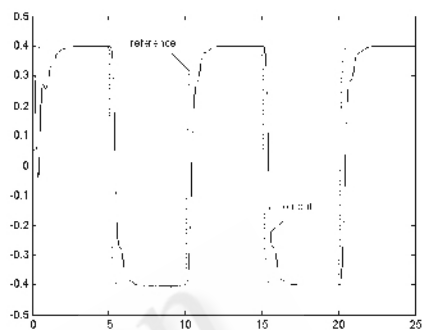
在开始实时控制之前,首先进行控制器参数的设置以及初始化,然后设置数据采集卡的相关参数之后开始运行循环中断采样方式。假设控制器类为 FCtrl,Active DAQ 的模拟输入控件为 FDAQAI,源代码示例如下。

```
.....
//参数设置
FCtrl.PropertyName1 = ProValue1;
FCtrl.PropertyName2 = ProValue2;
.....
FCtrl.Initial; //初始化
FDAQAI.DeviceNumber = 0; //设置 DAQAI 的采样参数,如采样频率,采样通道等
.....
FDAQAI.OpenDevice(); //初始化采集卡
FDAQAI.AcquireStart(); //开始中断采样
```

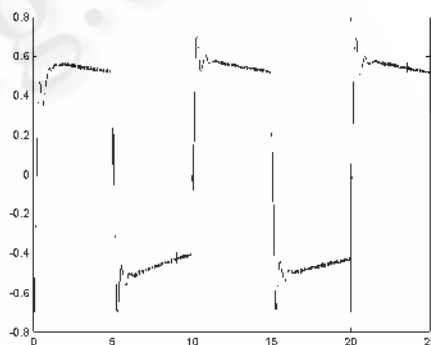
此时,前述的采集卡的中断触发事件 OnEventReal 中的“u = GetControlValue()”要改为“FCtrl.GetCtrl(1, u, RealInput, RefInput)”。

4 实验

采用以上介绍的控制器设计方法,针对某气动伺服系统进行基于 RBF 神经网络的自适应鲁棒控制,控制平台由研华工控机、研华数据采集卡 PCL-816、被控对象以及位移传感器组成。由于控制算法中涉及了大量的矩阵运算,如果采用其他的编程语言进行开发,将费时费力并且容易出错,调试困难,借助 MATLAB 强大的科学计算功能,能够极大地简化控制算法的代码实现。所有程序代码在 Windows 2000, Delphi 5 和 Matlab6.5 下调试通过。实验获得的对给定方波的跟踪试验曲线如图 1 所示。



(a) 参考信号与实际轨迹



(b) 控制输出

图 1 频率 0.1Hz,幅值 0.4rad 方波信号跟随

5 结论

本文介绍了一种通用的 Windows 环境下的实时控制器的编写方法,采用 COM 组件能够方便的得到高定时精度的实时数据采集和控制,同时基于 COM 技术实现了高级编程语言与 MATLAB 的混合编程,充分利用了 MATLAB 的强大的科学计算能力,具有高效、便于调试等优点,为 Windows 环境下的高精度测试和实时控制提供了一种较简单实用的一种实现方法。通过采用该种实时控制器设计方法,实现了基于神经网络的鲁棒控制算法的气动系统伺服控制,实验结果证明了该方法的可行性和有效性。

参考文献

- 1 ADVANTECH Co., Ltd. PCL-711B PC-MultiLab Card User's Manual. 2001. 5-13.
- 2 ADVANTECH Co., Ltd. ADVANTECH ActiveDAQ User's Manual (Ver 1.6). 2003. 22-24, 39-45, 67-69.
- 3 Mathworks Co., Ltd. MATLAB COM Builder User's Guide. 3/2-20 页, A/1-10, B/1-15.