

文章编号:1007-757X(2020)04-0085-03

MATLAB 与 C# 混合编程方法研究

亓雪冬 李霞

(中国石油大学(华东) 1. 信息化建设处; 2. 控制科学与工程学院, 山东 青岛 266580)

摘要: 研究了 MATLAB 与 C# 混合编程方法。首先讨论了 MATLAB 与 C# 混合编程架构, 分析了架构各关键部分的作用和调用关系, 接下来研究了 MATLAB 与 C# 数据类型转换方法、MATLAB 函数对应的 .Net 程序接口形式等混合编程的关键技术, 最后通过实际项目设计了混合编程流程, 编制了相关程序, 验证了 MATLAB 和 C# 混合编程的可行性。实践表明, MATLAB 和 C# 两种语言的集成, 能够充分发挥各自的优势, 拓展解决问题的空间, 提高系统设计和开发效率。

关键词: MATLAB; C#; .Net; 混合编程

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

Research on Mixed Programming Method of MATLAB and C#

Qi Xuedong¹, LI xia²

(1. Information Construction Department; 2. College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China)

Abstract: Mixed programming of MATLAB and C# is studied. First, the mixed programming architecture of MATLAB and C# is discussed, and the role and calling relationship of each key part of the architecture are analyzed. Next, key techniques of mixed programming are studied such as MATLAB and C# data type conversion method and different .Net interface API forms generated by MATLAB functions. Finally, the mixed programming flow is designed and the feasibility of mixed programming of MATLAB and C# is verified. Practice shows that the integration of MATLAB and C# can give full use to their respective advantages, expand the space for solving problems, and improve system design and development efficiency.

Key words: MATLAB; C#; .Net; mixed programming

0 引言

MATLAB 是美国 MathWorks 公司的科学计算软件, 以矩阵作为基本数据组织单元, 集成了数据分析、无线通信、深度学习、信号处理、控制系统、金融建模和计算机视觉等众多科学和工程领域大量优秀算法, 在科学研究和工程设计等领域应用广泛。C# 是微软公司发布的一种面向对象的、运行于 .NET Framework 和 .NET Core 之上的高级程序设计语言。C# 以其较高的运行效率、强大的表示能力、优雅的语法风格、创新的语言特性和便捷的面向组件编程等特点成为 .NET 开发的重要编程语言。

对比这两种编程语言, 其侧重的领域有所不同。C# 更偏重于传统桌面和网络编程领域, 而 MATLAB 更偏重于数据分析和计算领域^[1-2]。为了能够将这两种编程语言有机融合, 充分发挥各自的优势, 本文从混合编程架构、混合编程数据类型转换、混合编程调用接口等几个方面研究了 MATLAB 与 C# 之间混合编程的方法。

1 MATLAB 与 C# 混合编程架构

MATLAB 与 C# 混合编程重要概念、关键部分以及关

键部分之间的联系如图 1 所示。

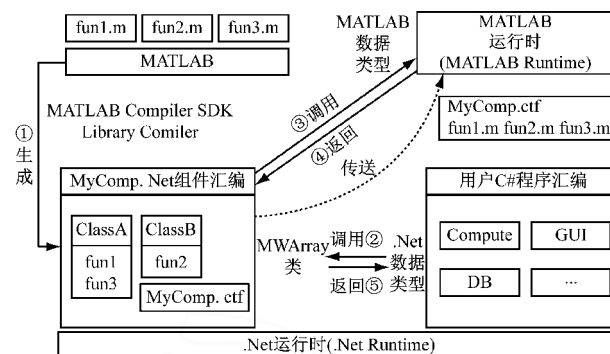


图 1 MATLAB 与 C# 混合编程架构

图中 fun1.m~fun3.m 为 MATLAB 的 M 函数, 仅能够运行在 MATLAB 环境中, 需使用 MATLAB Compiler SDK 中的库编译器 (Library Compiler) 将 M 函数转换为 .Net 组件汇编^[3-5], 才能被 C# 调用。转换过程中, 可以根据业务需求和软件设计规则将这些 M 函数逻辑划分到 .Net 组件的不同类中。如图 1 中, .Net 组件名为 MyComp, 其下包含两个类 ClassA 和 ClassB, ClassA 中包含 fun1 和 fun3, ClassB 包含 fun2。

作者简介: 亓雪冬 (1978-), 男, 博士, 工程师, 研究方向: 计算机应用技术, 计算机辅助教育。

李霞 (1977-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 电工电子学应用, 计算机辅助教育。

ClassA 和 ClassB 中的 fun1~fun3 方法仅为对 M 函数的 .Net 接口, M 函数的实际源代码被加密后存储在 MyComp 组件的资源区域中, 名为 MyComp.ctf。MyComp 组件初始化时将 MyComp.ctf 发送至 MATLAB 运行时, 初始化 MATLAB 运行环境; MyComp 组件收到用户 .Net 调用请求时, 首先将 MyComp.ctf 发送至 MATLAB 运行时, 初始化 MATLAB 运行环境; 然后将 .Net 调用转化为 MATLAB 调用转发至 MATLAB 运行时进行实际处理; 调用结束后再将返回结果转发至用户程序。

可见, MATLAB 函数转换后的 .Net 组件在实际执行过程中必须依赖 MATLAB 运行时。MATLAB 运行时是一套独立的共享库, 为编译后的 MATLAB 程序执行提供支持。对比 MATLAB, MATLAB 运行时体积更小, 可独立分发和安装, 且可免费使用。

此外, 在混合编程过程中, 还需考虑 MATLAB 与 C# 数据类型转换以及 MATLAB 函数对应的 .Net 接口 API 形式等问题, 这些问题在本文后续部分详细讨论。

2 MATLAB 与 C# 混合编程关键技术

2.1 MATLAB 与 C# 数据类型转换

MATLAB 数据类型与 .Net 数据类型不兼容, 为了使得在调用过程中能够正确传递数据, MATLAB Compiler SDK 提供了 .Net 形式的 MWArray 数据转换类库。MWArray 类及其子类一方面是对 MATLAB 原始数据类型的封装, 另一

方面其构造函数、方法、运算符重载等实现了与 C# 常见数据类型的转换。因此, MWArray 类库左右衔接 MATLAB 与 C# 数据类型, 实现了这两种数据类型的转换。

MWArray 类库层次结构, 如图 2 所示^[6]。

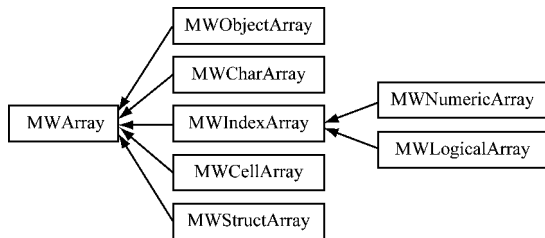


图 2 MWArray 类库层次结构

其中 MWArray 为整个类库的抽象基类, 代表了 MATLAB 数据类型的抽象; MWOBJECTArray、MWCharArray、MWCellArray 和 MWStructArray 为 MWArray 的子类, 分别代表 Matlab 对象、字符、元胞和结构体数组; MWIndexArray 为 MWArray 的抽象子类, 代表了 MATLAB 可索引的数据类型的抽象; MWNumericArray 和 MWLogicalArray 为 MWIndexArray 的子类, 代表 Matlab 的 numeric 和 logical 数组类型。

MWArray 类库可以与 C# 简单变量、数组变量进行转换。例如 x、y、z 分别为 double 变量、double[] 一维数组和 double[,] 二维数组, 并均已初始化数据; mwn 为 MWNumericArray 类型实例, 则它们之间的转换如表 1 所示。

表 1 MWNumericArray 数据类型转换表

编号	转换前的类型	转换后的类型	语句
1	double	MWNumericArray	mwn = x;
2	MWNumericArray	double	x = (double)mwn;
3	double[]	MWNumericArray	mwn = y;
4	MWNumericArray	double[]	y = mwn.ToVector();
5	double[,]	MWNumericArray	mwn = MWNumericArray(z)
6	MWNumericArray	double[,]	z = mwn.ToArray();

表 1 中, 可直接将 double 变量或 double[] 一维数组隐式转变为 MWNumericArray 类型 (编号 1、3), 通过 MWNumericArray 的构造函数可将 double[,] 二维数组转换为 MWNumericArray 类型 (编号 5); 反之, MWNumericArray 类型可通过显示类型转换转变为 double 变量 (编号 2), 通过 ToVector 和 ToArray 方法转变为 double[] 一维数组和 double[,] 二维数组 (编号 4、6)。

2.2 MATLAB 函数对应 .Net 接口 API

MATLAB 中的函数在转变为 .Net 组件汇编时, 每个函数均会生成 3 种不同形式的 .Net 方法, 分别是单输出形式 (single output)、标准形式 (standard) 和串接形式 (feval)^[7]。例如某个 MATLAB 函数的原型为:

function [Out1, ..., OutN] = foo(In1, ..., InN).

则转变后的 3 种 .Net 方法原型为:

1) 单输出形式 (single output)

public MWArray foo(MWArray In1, ..., MWArray InN);

2) 标准形式 (standard)

public MWArray[] foo(int numArgsOut, MWArray In1, ..., MWArray InN);

3) 串接形式 (feval)

public void foo(int numArgsOut, ref MWArray[] ArgsOut, MWArray[] ArgsIn)。

这里, 单输出形式返回值为 MWArray 类型, 适合仅有 1 个返回值的情况; 标准形式返回值为 MWArray 类型的数组, 适合具有多个返回值的情况, 此外需通过第 1 个参数 numArgsOut 指定返回数组元素的个数; 串接形式与标准形式类似, 区别为不通过函数返回值而是通过按引用传递参数的形式从参数中返回数据。

3 MATLAB 与 C# 混合编程应用

3.1 应用案例

在笔者实际项目中, 需定时通过安装在水底管道表面的监控传感器采集管道中的声波信号, 计算声波的功率谱密

度,进而通过功率谱密度分析判断管道是否有裂纹及其破损程度。设计方案使用 C# 程序连接监控传感器获取原始声波信号,而后将声波信号传递至自行编写的 MATLAB 函数,函数内部使用 MATLAB 的频谱分析函数计算声波信号的功率谱密度。此过程中涉及 MATLAB 与 C# 的混合编程。

3.2 混合编程流程及实现

核心算法的混合编程流程主要分为以下 4 个步骤:

1) 在 MATLAB 中编写计算功率谱密度的函数 ComputeFFT,参数 data 为按时间采集的信号向量, interval 为采集时间间隔,返回频率 freq 和功率谱密度 powerSpect 两个向量。

```
function [freq, powerSpect] = ComputeFFT(data, interval)
```

```
fftData = fft(data);
```

```
N = length(fftData)
```

```
freq = (0:N-1)/(N*interval);
```

```
powerSpect = abs(fftData)/(sqrt(N));
```

2) 通过 MATLAB Compiler SDK 将 MATLAB 函数 ComputeFFT 转变为 .Net 组件,组件名和命名空间为 SpectraComp,类名为 SignalAnalyzer,方法名为 ComputeFFT,3 种重载形式分别为:

```
public MArray ComputeFFT ( MArray data, MArray interval)
```

```
public MArray[] ComputeFFT (int numArgsOut, MArray data, MArray interval)
```

```
public void ComputeFFT (int numArgsOut, ref MArray[] ArgsOut, MArray[] ArgsIn)
```

3) 在 C# 程序中引用基础组件 MArray.dll 和上述步骤生成的组件 SpectraComp.dll,并启用相关命名空间:

```
using MathWorks. MATLAB. NET. Arrays;
```

```
using SpectraComp;
```

4) 在 C# 中调用 SpectraComp 组件的 ComputeFFT 方法计算功率谱密度。这里采用标准 API 形式,第 1 个参数为返回值个数,第 2、3 参数为声波信号及采样时间间隔,按照 MArray 类型转换规则,后两个参数会被自动转变为 MArray 类型。返回值 argsOut 为 MArray[] 数组,包含 2 个元素,argsOut[0] 表示频率向量,argsOut[1] 表示功率谱向量,最后使用 MArray 的 ToVector 方法将上述两个向量转变为 C# 一维数组

```
const int N = 1024; # 每次采集数据个数为 1024
```

```
const interval = 0.001; # 数据点间隔为 0.001 秒
```

```
# 数组 data 用于存储声波信号
```

```
double[] data = new data[N];
```

```
.....
```

```
# 计算功率谱密度
```

```
SignalAnalyzer signalAnalyzer= new SignalAnalyzer();
```

```
MArray[] argsOut = signalAnalyzer. Computefft(2, data, interval);
```

```
double[] freq = argsOut[0]. ToVector(MArrayCom-
```

```
ponent. Real);
```

```
double[] powerSpect = argsOut[1]. ToVector(MArrayComponent. Real);
```

```
.....
```

某次采集的时域声波信号和对应计算的功率谱密度,绘制图形如图 3 所示。

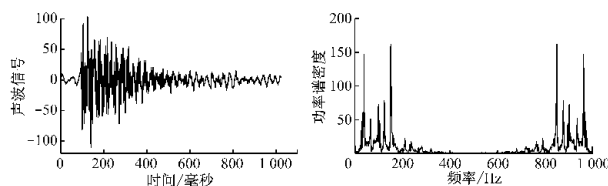


图 3 时域声波信号(左)和对应的功率谱密度(右)

4 总结

MATLAB 作为重要的数值计算软件,包含大量优秀算法库,广泛应用于科学研究和工程设计等领域。MATLAB Compiler SDK 作为 MATLAB 组件,能够将 MATLAB 函数库转变为 .Net 组件汇编库,简化了 MATLAB 程序与 C# 程序之间的混合编程方案。本文研究了 MATLAB 与 C# 混合编程的宏观架构以及关键技术,设计了混合编程流程,编制了相关程序。实践表明,MATLAB 和 C# 两种语言的集成,能够充分发挥各自的优势,拓展解决问题的空间,提高系统设计和开发效率。

参考文献

- [1] 王文斌,剡昌锋,刘朝阳,等. MATLAB 绘图窗嵌入. NET 项目混合编程[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(12): 3413-3417.
- [2] 郑建波,于生宝,苏发,等. C# 与 Matlab 混合编程的 CSAMT 静态校正软件设计[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(7): 113-116.
- [3] 陈柳松,杨利,张宇,等. 基于. NET 程序集的 C# 与 Matlab 混合编程技术及应用[J]. 控制与信息技术, 2018(2): 44-46.
- [4] 刘亚,王静,田新城. 基于 C# 和 Matlab 混合编程的轴承故障诊断系统[J]. 计算机应用, 2018, 38(S2): 236-238.
- [5] Yu Zhang, Jian-Ping An, Pan Chen. Research of Hybrid Programming with C#. net and Matlab[J]. Physics Procedia, 2012(24): 1677-1681.
- [6] mathworks. Data Conversion Between . NET and MATLAB [EB/OL]. [2019-11-10]. https://ww2.mathworks.cn/help/compiler_sdk/dotnet/data-conversion-between-net-and-matlab.html.
- [7] mathworks. Data Conversion Classes and MATLAB Compiler SDK Interface [EB/OL]. [2019-11-10]. https://ww2.mathworks.cn/help/compiler_sdk/dotnet/overview-of-data-conversion-classes.html.

(收稿日期: 2019. 08. 30)