

VB.NET 和 MATLAB 混合编程在高铁 CPⅢ 控制网平差中的应用

黄 鹰^{1,2}, 刘立臣³, 王文杰^{1,2}, 唐诗华^{1,2}

(1. 桂林好测信息科技有限公司, 广西 桂林 541004; 2. 广西空间信息与测绘重点实验室, 桂林理工大学, 广西 桂林 541004; 3. 中铁十三局集团有限公司第三工程处, 沈阳 110043)

摘要: 在高铁 CPⅢ 控制网平差中要进行大量的矩阵运算, MATLAB 是强大的矩阵运算工具, VB.NET 是一个高效快速的软件开发平台。VB.NET 调用 MATLAB 编译的动态连接库进行矩阵运算, 减少了代码的编写和复杂算法的研究, 提高了平差程序的运算效率。

关键词: VB.NET; MATLAB; 矩阵运算; CPⅢ 控制网; 平差

中图分类号: P207⁺.2

文献标识码: A

Adjustment of high-speed rail CPⅢ control network by VB.NET and MATLAB mixed programming

Huang Ying^{1,2}, Liu Lichen³, Wang Wenjie^{1,2}, Tang ShiHua^{1,2}

(1. Guilin Good Survey Mdt InfoTech Ltd, Guilin 541004, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Spatial Information and Geomatics, Guilin 541004, China; 3. Thirteen Bureau of China Railway Group Limited Company of The Third Engineering Department, Shenyang 110043, China)

Abstract: In the adjustment of CPⅢ high-speed railway control network, large matrix calculation is needed. MATLAB is a powerful matrix calculation tool, and VB.NET is a rapid and efficient software development platform. When taking matrix operation, the dynamic link library compiled by MATLAB is called by VB.NET platform, which greatly reduces the amount of coding work and the depth of complex algorithm. Experiments show that the efficiency of the adjustment program is improved significantly.

Key words: VB.NET; MATLAB; matrix operations; CPⅢ control network; adjustment

0 引言

CPⅢ 控制网^[1]是为铺设无砟轨道和运营维护提供控制基准的三维控制网, 分为 CPⅢ 平面和高程控制网。CPⅢ 控制网的主要特点是控制点数量众多, 沿线路方向每 60m 左右布设一对, 点对的横向间距约为 10~20m^[2]。其平面网采用自由设站的方法测量, 每 120m 左右设置一个测站, 每一个测站观测约 12 个方向。通常把几公里或上十公里的测段作为一个网进行整体平差, 观测量多, 计算量大。在平差过程中使用 VB 编写的矩阵运算代码进行大型矩阵运算, 其速度极慢。

VB.NET 是微软公司新推出的开发工具, 它是一种完全面向对象的编程语言, 具有强大的界面编程能力。Visual Basic 是 Windows 环境下的一种简单、易学的编程语言, 但在进行数值计算时需要编

写大量的代码, 还需要反复调试以保证其可靠性和稳定性。通常使用 VB 语言编写的矩阵运算程序的运算效率不及 MATLAB。MATLAB 矩阵运算的算法经过商业化的考验, 比较可靠, 省去了许多软件维护费用, 特别是要编写一些复杂的算法。VB.NET 调用 MATLAB 编译的 DLL 进行矩阵运算, 大大缩短了平差运算时间。

收稿日期: 2012-05-21; 修订日期: 2012-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071294); 广西自然科学基金资助项目 (编号: 桂 0640178); 广西自然科学基金资助项目 (编号: 桂科基 0991023)。

作者简介: 黄鹰 (1986-), 男 (汉族), 广西柳州人, 硕士。

1 误差方程的建立

由于 CPⅢ 平面控制网为边角交会网, 以水平距离和水平方向值作为观测值, 首先对各观测值展开成误差方程。

1.1 距离误差方程

$$V_{S_{ij}} = -\frac{X_j^0 - X_i^0}{S_{ij}^0} \hat{x}_i - \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{S_{ij}^0} \hat{y}_i + \frac{X_j^0 - X_i^0}{S_{ij}^0} \hat{x}_j + \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{S_{ij}^0} \hat{y}_j - (S_{ij} - S_{ij}^0) \quad (1)$$

式 (1) 近似距离 $S_{ij}^0 = \sqrt{(X_i^0 - X_j^0)^2 + (Y_i^0 - Y_j^0)^2}$

1.2 方向误差方程

$$V_{L_{ij}} = +\frac{\rho''(Y_j^0 - Y_i^0)}{(S_{ij}^0)^2} \hat{x}_i - \frac{\rho''(X_j^0 - X_i^0)}{(S_{ij}^0)^2} \hat{y}_i - \frac{\rho''(Y_j^0 - Y_i^0)}{(S_{ij}^0)^2} \hat{x}_j + \frac{\rho''(X_j^0 - X_i^0)}{(S_{ij}^0)^2} \hat{y}_j - \hat{w}_i - (T_{ij}^0 - (L_{ij} + w_j^0)) \quad (2)$$

式中 (2) 中: $T_{ij} = \arctan \frac{Y_j^0 - Y_i^0}{X_j^0 - X_i^0}$, $\rho'' = 206265''$, w_i 为测站上的定向角未知数。

1.3 两类观测值权的确定

按经验公式或标称精度确定角度、边长的中误差 m_β, m_s , 计算边角权, 设水平方向观测值的中误差为单位权中误差。

$$\left\{ \begin{array}{l} P_\beta = 1 \\ P_{s_i} = \frac{m_\beta^2}{m_{s_i}^2} \end{array} \right\}, \text{其中 } m_{s_i} = a + b * S_i.$$

1.4 求解过程

由距离与方向误差方程可以组成约束平差的误差方程:

$$V = B\hat{x} - l \quad (3)$$

按最小二乘原理, 式 (3) 的 \hat{x} 必须满足 $V^T P V = \min$ 的要求, 按数学上求函数自由极值的方法得间接平差法方程式为:

$$B^T P B \hat{x} - B^T P l = 0 \quad (4)$$

式 (4) 中系数矩阵 $B^T P B$ 为满秩, \hat{x} 有唯一解, 解式 (4) 得:

$$\hat{x} = (B^T P B)^{-1} B^T P l \quad (5)$$

将求出的 \hat{x} 带入误差方程 (3), 即可求得改正数 V , 从而平差结果为:

$$\hat{L} = L + V, \hat{X} = X^0 + \hat{x} \quad (6)$$

2 混合编程平差

2.1 M 文件转换为 DLL

使用动态链接库的方法就是通过 MATLAB 自带的工具将编写的 M 文件封装为动态链接库 (.dll), 这样在 VB.NET 中就可以通过访问该动态链接库并调用封装在里面的函数来实现矩阵运算功能。本文开发环境为 MATLAB R2008a, VB.NET 为 2008 版本。通过调用 DLL 实现二者的结合, 不但可以使用 MATLAB 现有的基本函数, 还可以按想要的功能编写自己的 M 文件。混合调用编程的过程如图 1 所示。

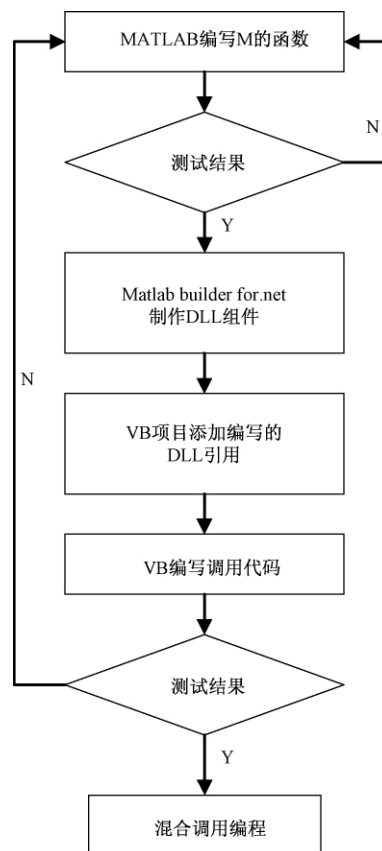


图 1 混合编程流程

M 文件有两种, 一种为脚本式 (Script), 一种为函数式 (Function), 这里要转化的 M 文件必须是函数式, 函数式 M 文件名必须和代码中的函数名相同。首先建立 7 个 M 函数文件, 矩阵运算的基本函数如表 1 所示。

在 MATLAB 的 compiler 编译器中新建一个项目, 选择 .NET 生成器 (MATLAB Builder NE) 中的 .NET 组件 (.NET Component), 项目名为 calcu, 编译器会建立一个名为 calcuclass 的类, 把以上六个函数添加到该项目中。编译之后生成一个 calcu.dll 文件, 创建的 DLL 会自动在系统中注册, 该文件已经封装了以上六个函数。

2.2 VB.NET 调用 DLL 的矩阵运算

编译 DLL 后, 将 calcu.dll 添加到 VB 的引用

MATLAB 矩阵运算函数表 表 1

函数功能说明	文件名	代码
矩阵求逆	CALinv. m	function result = CALinv (a) result = inv (a) ;
矩阵相乘	MUL. m	function result = MUL (a ,b) result = a* b;
矩阵相加	Add. m	function result = Add (a ,b) result = a + b;
矩阵转置	TURN. m	function result = TURN (a) result = a' ;
矩阵相减	Subtr. m	function result = Subtr (a ,b) result = a-b;
对角稀疏矩阵	spra. m	function result = spra (a) result = sparse (diag (a ,0)) ;
误差方程系数的稀疏矩阵	VBsparse. m	function result = VBsparse (i j ,s ,m ,n) result = sparse (i j ,s ,m ,n) ;

中，导入命名空间：

Imports calcu

Imports MathWorks. MATLAB. NET. Arrays

第一个命名空间是对 calcu 的引用，第二个命名空间用于声明 MATLAB 的数据类型。

对 calcuclass 类的实例化：

Dim CAL As New calcuclass

类的实例化定义了一个可以引用 calcuclass 类型对象的变量 CAL，通过 CAL 变量可以调用 calcuclass 所封装的函数，如矩阵 A 求逆为：

CAL. CALinv (A) ;

矩阵 A、B 相乘为：

C = CAL. MUL (A , B)

设有 n 个观测值，必要观测数为 t，建立的数组如表 2 所示，VB 中矩阵用数组表示，建立的数组变量都是 double 类型，如待定参数的改正数矩阵：

Dim x (n - 1 , 0) as double

其对应 MATLAB 的数据类型声明格式如下：

Dim Mx as MWNumericArray

在列误差方程时，误差方程矩阵存于 VB 的 double 类型数组中，由于 MATLAB 的基本数据单位是矩阵，调用 MATLAB 函数计算前，需将全部 VB 的 double 数组类型转为 MATLAB 的矩阵类型，以误差方程常数项矩阵转换为例，VB 数组到 MATLAB 数据类型的转换可以直接赋值，如：

Ml = L

矩阵计算完成再将 MATLAB 变量赋值给 VB 数组，转换方法将在后面介绍。

2.3 矩阵储存的优化

变量对照表 表 2

VB 变量			对应的 MATLAB 变量
变量名	维数	变量说明	变量名
i		稀疏矩阵非零元素的行指标向量	Mi
j		稀疏矩阵非零元素的列指标向量	Mj
s		稀疏矩阵非零元素的值向量	Ms
m	1* 1	稀疏矩阵的行数	Mm
n	1* 1	稀疏矩阵的列数	Mn
x	t* 1	待定参数的改正数	Mx
L	n* 1	误差方程常数项	Ml
V	n* 1	观测值改正数	MV
P	n* 1	权阵	MP
Qxx	t* t	待定参数协因数阵	MQxx
Qll	n* n	观测值协因数阵	MQll

一个优秀的程序必须考虑尽量减少对内存的占用，对大型控制网平差而言，应当考虑数据的优化存储。在间接平差时，稀疏矩阵与对称矩阵都可以压缩存储，从而降低内存空间。

由于误差方差系数矩阵是零元素较多的稀疏矩阵，在建立误差方程时只储存了非零元素的值及其位置，在表 2 中，i、j 向量记录非零元素的位置，s 记录非零元素值。生成 MATLAB 格式的稀疏矩阵：

CAL. VBsparse (Mi ,Mj ,Ms ,Mm ,Mn)

权矩阵为正对角阵，属于特殊的稀疏矩阵，权阵的数据转换将用表 1 当中的对角稀疏矩阵函数 spra 进行转换：

CAL. spra (MP)

使用稀疏矩阵可以显著减少程序对内存的占用。

精度评定时，协因数阵属于对称矩阵。对称矩

阵关于主对角线对称, 有 $a_{ij} = a_{ji}$, 因此只需存储上三角或下三角部分即可。如只存储下三角中的元素 a_{ij} , 对于上三角中的元素 a_{ij} , 它和对应的 a_{ji} 相等, 因此当访问的元素在上三角时, 直接去访问和它对应的下三角元素即可, 如此, 原来需要 $n^* n$ 个存储单元, 现在只需要 $n(n+1)/2$ 个存储单元, 节约了 $n(n-1)/2$ 个存储单元, 当 n 较大时, 可以节省相当大的存储资源。

向量d的下标k:	0	1	2	3	4	5			$n(n+1)/2-1$	
下三角元素:	a_{11}	a_{21}	a_{22}	a_{31}	a_{32}	a_{33}		a_{n1}	a_{n2}	a_{nn}
	第1行	第2行		第3行					第n行		

图2 对称矩阵压缩存储

在矩阵计算完成后, 若是对称矩阵则按上述方法压缩输出并转换为 VB 的一维数组。

VB 与 MATLAB 矩阵计算及转换的流程如图 3 所示。

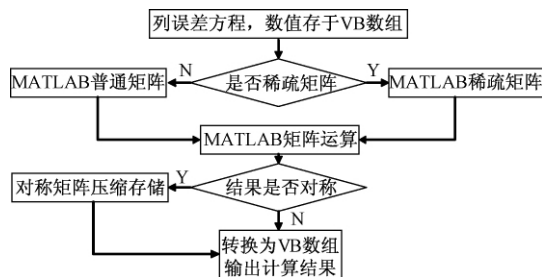


图3 矩阵计算流程

2.4 法方程的求解

对公式 (5)、(3) 使用 MATLAB 函数求解如下:

With CAL

$Mx = CAL.MUL(.CALinv(.MUL(.MUL(.TURN(MB), MP), MB)), .MUL(.MUL(.TURN(MB), MP), MI))$ 对应公式 (3)

$MV = .Subtr(.MUL(MB, Mx), MI)$ 对应公式 (3)

End With

计算完成后要将 MATLAB 的数据类型转换为 VB 数组, 以便输出显示。MATLAB 数据类型转换为 VB 数组格式如下:

$X = Mx.ToArray(MWArrayComponent.Real)$

$V = MV.ToArray(MWArrayComponent.Real)$

3 算例

为体现 MATLAB 的矩阵运算效率, 现用京石线某两段分别长为 6.5km、8km 的 CPⅢ网以及某实验

以存储下三角为例, 将下三角部分以行为顺序存储到一个一维向量中去。在下三角中共有 $n^*(n+1)/2$ 个元素, 因此, 设存储到向量 $d[n(n+1)/2]$ 中, 存储顺序如图 2 所示。原矩阵下三角中的某一个元素 a_{ij} 对应 d 中某个元素 $d(k)$, d 中的下标 k 与 i 、 j 的关系为:

$$k = i * (i - 1) / 2 + j - 1$$

段 700m 的 CPⅢ测量数据进行平差, 运算时间如表 3 所示。从表 3 中可以看出, 对较小的控制网, 混合计算优势不明显, 然而较大控制网的平差, 混合运算速度明显提高。

全网平差时间对比

表 3

网长 (km)	总点数	观测值总数	混合计算时间 (s)	纯 VB 计算时间 (s)
0.7	37	194	2.36	10.356
6.5	269	1368	3.965	453.089
8	344	1834	5.54	564.026

4 结束语

(1) VB.NET 是个高效快速的开发平台, 但矩阵运算需要编写大量的代码, 而且还要研究一些复杂的优化算法。通过 VB.NET 调用 MATLAB 进行矩阵运算, 无需考虑复杂的优化算法, 使用稀疏矩阵的计算也变得简单, 大大提高了开发效率与程序的运算效率。

(2) 对于大型控制网的平差软件编制使用 VB.NET 与 MATLAB 结合, 可以充分发挥两者的优势。VB 调用 MATLAB 编译的动态连接库后如要发布到未安装 MATLAB 的计算机上运行, 必须在目标计算机上安装 MATLAB 运行库 MCRInstaller。由于程序发布需要附带该运行库文件, 给程序部署带来不便, 而小型控制网的混合计算速度也不明显, 所以对于小型控制网平差软件, 使用纯 VB 编程为宜。

(3) 本文以 CPⅢ控制网平差程序为例, 介绍了 VB.NET 与 MATLAB 混合编程的一种方法, 二者的结合还可以拓展到其它如图像处理、小波分析等诸多应用领域, 可以降低软件开发难度, 缩短开发周期。并且, 由于是 VB 调用动态链接库, 使得

(下转第 59 页)

采集、处理、三维重建和储量计算过程全数字一体化。

系统的应用对促进矿山规范开采、开展各种税费的征收、有效打击和预防违法行为、实现矿山动态监管等有显著作用。

参 考 文 献

- [1] 邓国平, 王少波. 矿政管理新举措: 矿山储量动态监管 [N]. 中国国土资源报, 2006-09-25 (8).
- [2] 陈绍清, 曹廷龙, 靳晓光. 小型露天采石场安全技术条件研究 [J]. 非金属矿, 2011, 34 (6): 77~79.
- [3] 蒋锐, 宋焕斌. 基于三维栅格数据的露天矿山储量动态监测研究与应用 [J]. 矿产与地质, 2009, 23 (5): 469~472.
- [4] 张剑清. 摄影测量学 (第二版) [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2010.

- [5] 杨彪, 李浩. 基于普通数码影像的 DTM 数据采集系统研究与开发 [J]. 工程勘察, 2003, (6): 50~53.
- [6] Biao Yang, Hao Li. A Sequential Algorithm for Digital Camera Calibration with Single Images [A]. Proceedings of International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2011) [C]. Hong Kong: IACSIT Press, 2011. p178~185.
- [7] Luca Lucchese. Geometric calibration of digital cameras through multi-view rectification [J]. Image and Vision Computing, 2005, 23 (5): 517~539.
- [8] 李浩. 水电工程近景数字影像技术的研究及应用 [D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [9] 苏博. 高山峡谷地区多基线数码影像量测方法研究及应用 [D]. 南京: 河海大学, 2011.

(上接第 53 页)

MATLAB 中的算法需要改变时不必对主程序代码进行修改就可以运用新算法, 这有利于软件的升级。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国铁道部. 铁建设 [2006] 189 号客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [2] 刘成龙, 杨友涛, 徐小左. 高速铁路 CPⅢ 交会网必要测量精度的仿真计算 [J]. 西南交通大学学报, 2008, (6): 718~723.
- [3] 秦永乐. Visual Basic 测绘程序设计 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.
- [4] 张良, 何也熙. MATLAB、Access 和 VB.NET 混合编程方法的研究和应用 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30 (5):

- 1232~1235.
- [5] 冯莉, 李巨, 邓云华, 李玺钦等. VB 与 MATLAB 混合编程探讨 [J]. 爆轰波与冲击波, 2005, 9 (3): 106~110.
- [6] 葛哲学. 精通 MATLAB [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [7] 冯旭. 在 VB 开发环境中调用由 MATLAB 函数转化的 DLL [J]. 西北民族大学学报 (自然科学版), 2005, 25 (53): 65~67.
- [8] 赵增强, 况雨春, 戚蒿, 张天津. 基于 VB.NET 和 MATLAB 的三牙轮钻头仿真软件开发 [J]. 石油钻采工艺, 2009, 31 (2): 19~22.
- [9] 李毛毛. 无砟轨道 CPⅢ 控制网数据处理方法研究及软件的集成 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.