

无编程数学模型开发平台 MyM 及其应用^①

米培元

(天津大学 计算机科学与技术学院, 天津 300072)

摘要: MyM 是一个数学模型开发、可视化和动态模拟应用的集成开发平台。用户不需要了解计算机编程, 简单的写下数学方程, 就可以通过图形化界面构建和设计动态模拟系统。介绍了 MyM 语言和 MyM 工具, 用一个实例说明了构建数学模型和动态模拟的可视化过程。最后说明了 MyM 架构及其功能特点, 对 MyM 软件的应用进行了展望。

关键词: 数学模型; 可视化; 无编程; 图表; 应用

No Programming Mathematical Model Development Platform MyM and Its Application

MI Pei-Yuan

(School of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The MyM package is used to define, visualize and run mathematical models of dynamic systems. Without the help of a programmer, users just have to write down the mathematical equations and they can build a graphical user interface themselves by just drawing graphs and charts on a canvas. This article introduces the MyM Language and the MyM tools. An example is given to describe how to construct and dynamically visualize the mathematical model. Finally, it shows the architecture and functional characteristics of the MyM. The application of the software is discussed.

Key words: mathematical model; visualization; no programming; chart; application

数学模型^[1]使用数学语言来描述一个系统。数学模型应用广泛, 不仅用于自然科学和工程学, 还用于社会科学。有一类数学模型是用常微分方程、差分方程组和代数方程组来描述的方程模型。

如今, 科研工作者在数学建模的过程中必须要掌握一定的编程能力, 借助数学工具软件(如 MATLAB 和 Mathematica、Maple)才能构建自己的数学方程模型。这类商业数学软件都有其独特的编程语言, 学习和开发时间过长, 而且模型的可视化动态模拟效果也不是很理想。一种无编程的数学模型开发及可视化动态模拟平台成为迫切的需求。

MyM^[2]是与 Tizio BV 公司与荷兰环保局合作开发的一个数学模型可视化仿真软件集成开发平台。最大的特点是在没有程序员的帮助下, 简单的用图形化的用户界面来构建大型动态模拟模型。它提供了一个规

范的数学建模的形式, 并能自动跟踪各变量之间的关系。用户只需写下软件规范化的数学模型, 就可以在图形界面上通过拖放方式生成图表视图。在完成一系列界面视图设计后, 用户就可以很方便的发布数学模型给客户和同事。

1 MyM概述

1.1 MyM 语言

MyM 规定了数学模型的规范, 称之为 MyM 语言^[3]。这种语言是基于方程的, 它使用近似于标准的数学符号。用 MyM 语言创建的数学模型称为 MyM 模型。

MyM 语言是功能语言, 而不是编程语言。因此, 在 MyM 中方程式 $a=a+1$ 没有意义, 因为没有 a 的值满足这个方程式。

① 收稿时间:2011-04-18;收到修改稿时间 2011-06-10

1.2 MyM 提供的工具

MyM 提供的主要工具^[4]有:

MyM Studio: MyM 模型的源码编辑、编译和生成仿真模拟都被整合在 MyM Studio。它需要安装 Visual C++ 8 编译器才能使用。

MyM GIM: 图形界面管理器，它有两种模式：设计模式和用户模式。在设计模式中可以设计模型的视图。在用户模式中可以进行模型的展示和模拟。

应用实例

为了说明 MyM 的使用，本文举水动力学上一个简单的薄壁孔口泄流数学模型例子，阐述用 MyM 进行数学模型开发和可视化动态模拟过程。假设有个水库，上游有河水流入，在水库侧壁上有孔口用以排水。我们将水库抽象成规则的容器，如图 1 所示。

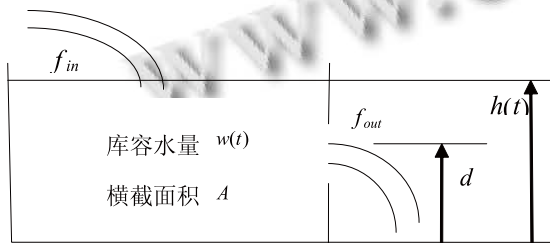


图 1 水库孔口泄流示意图

设容器某时刻的体积为 $w(t)$ ，初始容量为 w_0 ，容器的横截面积为 A ，进水量为 f_{in} 。孔口的截面积为 s ，孔口到容器底的垂直距离是 d ，孔口流出的速度为 v ，流出水量为 f_{out} 。容器的某时刻水位为 $h(t)$ ，如果 $h(t) > d$ ，水就会从容器中漏出。孔口的流出水速 v 由托里切利定理（在充水容器中，水面下孔口流出的水，其速度和孔口到液面的高度平方根以及重力加速度的 2 倍的平方根成正比。）得： $v = \sqrt{2g \max(h-d, 0)}$ 其中 g 是引力常数 (9.81m/s^2)。容器流出量 f_{out} 就为： $f_{out} = C s v$ ，为收缩系数（水流出时向内部收缩形成水弧线的影响系数）。容器的容量 $w(t)$ 的积分方程则为： $w(t) = w_0 + \int_0^t (f_{in} - f_{out}) dt$ ，则某时刻水位 $h(t)$ 的数学方程式为： $h(t) = w(t) / A$ 。模型的方程参见表 1 左列。

2.1 构建 MyM 数学模型

首先要在 MyM Studio 中创建规范化的数学模型^[5]。打开 MyM Studio，单击菜单 Build->Add New Item，在空白的文本编辑器中编辑 MyM 模型。将上面例子的数学方程用 MyM 语言编写的就会得到（参见表 1 右侧）：通过表 1

的对比我们可以看到：MyM 模型几乎是直接翻译数学方程模型。

MyM 不区分大小写，感叹号后的文本是注释。MyM 关注动态模型，时间的设置很重要。本例中首先设定了一个时间框架，变量 t 指当前时间，时间 t 的五个语句指定了时间 t 的性质。 $t.min = 0$ 和 $t.max = 10$ 设置时间遍历从 0 到 10，即模拟应从是时间 $t=0$ 开始到 $t=10$ 结束。 $t.step = 0.1$ 指步长 t 为 0.1，计算变量值的数值积分步骤的方法是二阶 Runge Kutta 方法^[6]。最后， $t.sample$ 指定变量值存储的样本率。每个 MyM 模型中至少有一个模块 (module) 必须被定义，而且以“begin”开始，以“end”结束。

表 1 数学方程与 MyM 模型对比表

数学方程	MyM 模型
	! !水库薄壁小孔模型 !
	t.min = 0; t.max = 10; t.step = 0.1; t.sample = 0.1; t.method = RK2;
	module main begin
$g=9.81$ $C=0.62$	const g=9.81; const C=0.62;
$w(t), h(t)$ $w_0=10$ $A=2.0$ $f_{in}=2$ $d=0.2$ $s=0.1$ $v(t)$ $f_{out}(t)$	real w_0=10, A=20, w(t), h(t); real f_in(t)=2; real d=0.2; real s=0.1; real v(t); real f_out(t);
$v = \sqrt{2g \max(h-d, 0)}$ $f_{out} = C s v$ $w(t) = w_0 + \int_0^t (f_{in} - f_{out}) dt$ $h(t) = w(t) / A$	v(t)=sqrt(2.0*g*max(h-d,0)); f_out(t)=C*s*v; w(t)=integ(f_in-f_out,w_0); h=w/A; end;

一个 MyM 模型可以看作是一个语句序列，每个语句通过分号终止。在这个例子中使用了两类的语句：声明和方程式。声明是让人们知道模型存在哪些变量，性质是什么。这里所有的变量被声明为 real 变量，表示浮点型数字。容量 $w(t)$ 和高度 $h(t)$ 被声明为时间 t 的函数。MyM 模型中的方程式有相同的格式，左侧一个

变量被定义为等于右侧的数学表达式。变量 w_0 和 A 是输入函数，因为它们没有出现在方程式的左边，其值可以通过 MyM 的用户界面去设置和修改，在声明中可设置一个默认的值。MyM 提供了许多标准的数学函数，函数 sqrt 得到参数的平方根。关于积分方程，MyM 提供了函数 $\text{integ}(a,b)$ ， a 是被积值， b 是初始值。

在最后一个表达式中 $h = w/A$ 的时间依赖没有明确的给出，因为变量 $w(t)$ 和 $h(t)$ 已经被声明为时间因变的，所以 MyM 已经知道这些变量依赖于时间。如果需要，方程式也可以写成 $h(t) = w(t)/A$ 。

在 MyM Studio 中将写好的 MyM 模型保存为 .m 文件。然后单击菜单 Build->Build Model，软件会自动生成一个后缀为 mdl 的文件，它包含 MyM 模型的所有信息。如果没有错误输出，再单击菜单 Build->compile，软件自动生成该模型的 C 语言文件和该模型的用户库，它是提供给后台模拟器和相关 API 使用的中间件。

2.2 设计模型视图

对于数学模型的动态模拟，最直接有效的方法是图表的动态演示。MyM 模型视图的设计是基于部件 (Widget) 的，部件主要分为容器和图表。图表是模型方程式变量的可视化表示，图表被放置在容器中。在 MyM GIM (图形界面管理器) 中打开模型的 mdl 文件，软件会自动生成一个空视图，此时 GIM 处于设计模式。

2.2.1 添加容器

本例的模型演示视图设计是将 MyM 模型视图分为五个容器：水库的横截面积，过程演示 (水库水位，孔口速度，流出水量)，孔口设置 (孔口面积，孔口高度)，进水控制 (进水量,初始容量) 和库容水量。



图 2 视图容器设计

单击菜单 New->Container，然后按住鼠标左键在当前空视图中拖出一个阴影矩形，松开左键软件就会自动生成一个默认容器。单击菜单

Edit->Layout，会弹出“设计配置窗口”，可以对部件进行各种显示设置，如标签名称、字体、颜色、显示效果等等。在当前容器中依次拖出五个容器，分别在其“设计配置窗口”进行设置，形成如图 2 所示的视图容器设计。

2.2.2 添加图表

下一步工作就是在容器中加入变量对应的图表。双击容器，就能对其进行打开操作。打开“过程演示”容器，单击菜单 New->Variable 或者使用快捷键 Ctrl+N 弹出“变量添加框”(如图 3 所示)。

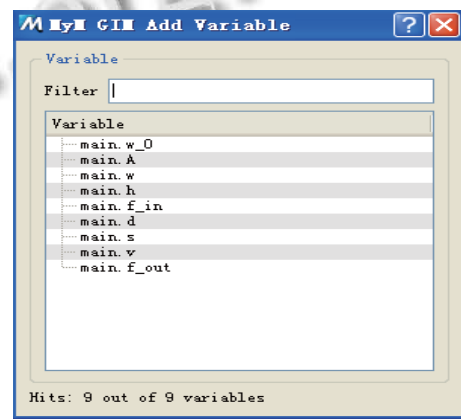


图 3 变量添加框

单击 main.h(水位)使其背景色变为蓝色，然后在“过程演示”容器中按住鼠标左键拖放出一个矩形，软件会自动填充一个关于变量 h 的线性二维图表。同样的，通过菜单 Edit->Layout 在“设计配置窗口”中对图表进行标签、网格等显示设置。我们还可以通过菜单 Edit->widget 改变图表的表现形式，除了线性图，还可以选择柱状图，饼状图等等。如果是一维的变量，拖放出来的默认图表是带滑块的滚动条 (如横截面积 A 等)。坐标轴上的区间范围还可以通过菜单 Edit->Range 改变。

“变量添加框”会找到当前所有未添加到视图中的变量，当“变量添加框”没有变量时，表明模型中所有变量都添加入到视图中了，结果如图 4 所示。

2.2.3 保存视图或方案

构建好视图后，我们可以将此保存为 vcd 后缀的文件，以备将来对视图进行修改。我们还可以利用 GIM 的时间管理器组件跟踪模拟时间，拖拽时间滑块，将模型变量可视化动态模拟变化录像，保存为一个演示

方案。

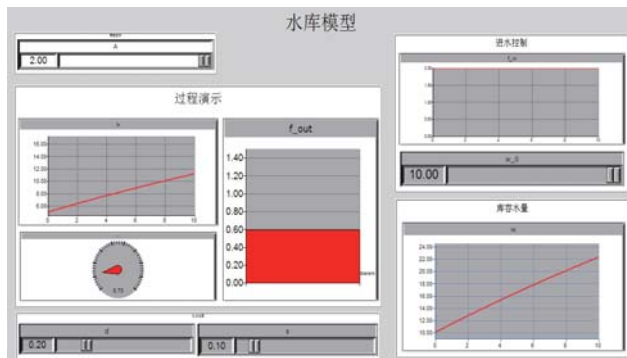


图 4 模型的视图

2.3 动态模拟模型

设计好模型的视图后，将 MyM GIM 在菜单中切换到用户模式下开始动态模拟。任何部件都有放大/缩小状态和打开/关闭状态，模型视图的演示者可以通过状态变化，突出他要展示的细节。MyM 能可视化操作变量的值。如在上面例子的模型演示中，水库横截面积 A 减小，可将其变量对应的滚动条部件的滑块向左拖动软件会自动进行实时数值计算。根据模型方程，水库水位、孔口流出速度和流出量等就会增加。对比图 4，图 5 中视图中线性表、罗盘指针和柱状图都实时动态的做出了模拟变化（如图 5 所示）。

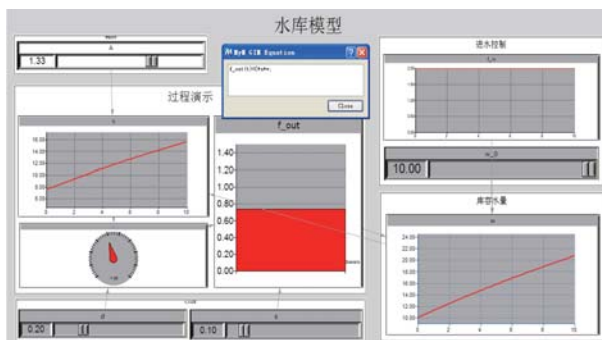


图 5 视图变化图示

只有输入输出数据的图表显示功能是不够的，评价和了解一个模型，还必须要知道它的内部结构。MyM 在视图上还可以看到各变量之间的依赖关系和变量相关的方程式，揭示模型结构的内在联系。单击菜单 View->Dependencies，软件会自动将变量依赖关系用箭头串联起来。单击菜单 Tools->Equation Swatch 可以查看与该变量相关的方程表达式（如图 5 所示变

量 f_out 的方程式）。

MyM 语言还提供了数组、循环函数、重用模块等用法，科研工作者可方便地在自己所属领域构建数学方程模型。

3 MyM 总结及应用展望

MyM 规定了一系列的模型建模数学规范，使用规范的变量、方程式和数学符号创建 MyM 模型。编译一个 MyM 模型分两步：首先模型方程文件被转换成 C 语言代码，然后用 C 语言编译器把它转化成可执行的 MyM 模型。软件后台的 MyM 模拟器和相关 API 接口是 MyM 模型和前台用户图形化界面的桥梁：通过它，GIM 可以很容易地创建编辑和使用多个模型用户界面；方案库和用户库也通过它与 GIM 交互，产生方程模型的可视化动态模拟效果（如图 6 架构所示）。

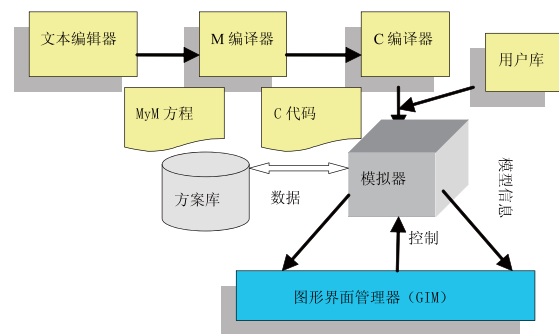


图 6 MyM 软件架构

MyM 具有同类型软件所不具有的功能特点：

① 多用户角色。在 MyM 模型的开发过程中一个人担任多种角色，比如：模型的创建者可以开发和调试模型，也可以是设计可视化界面。这样减少了模型开发者和可视化设计者之间对模型的理解差异，更能展现方程模型的本质。

② 更新模型和界面方便。由于有新的理论见解或额外的经验数据出现，原有的模型经常改变来构建新的数学模型。这要求模型构建优良，允许其他人扩展和修改。MyM 支持这种高频反复操作而且是无编程的。

③ 动态模拟可视化。建模的演示一般都是高度动态的，以往模型模拟通常有复杂的反馈回路和长时延迟，容易导致溢出甚至是崩溃。MyM 使用数据可视化方式，利用包括动画录像等技术去表现动态效果。

（下转第 224 页）

入页面 body 的 OnLoad 函数中,此函数在相关联的 C 程序中,要输出在浏览器端使用的 JavaScript 语句。格式化输出的内容应该为:

```
Document.network_form.ip_addr.value="10.144.66.86"
```

```
Document.network_form.sub_mask.value="255.255.255.0"
```

```
Document.network_form.gate_way.value="10.144.66.254"
```

这种方法是对本文第三章讲到的创建动态数据方法 B 的一种延伸,可以完全把动态数据和页面设计分开,可以充分地利用一些工具进行操作界面的设计。

当点击 Apply 按钮之后,GoAhead 解析 action="/goform/NetworkSetting" 将执行 goform/后面的表单函数 NetworkSetting。在该表单函数中,执行完功能配置后的返回页面有两种方法,一种是利用 websHeader(),websFooter(),websDone()和 websWrite() 来构造 web 页面,另一种可以通过 websRedirect()函数载入页面^[1]。

4 结语

GoAhead webserver 是一款小巧而功能丰富的嵌入式 web 服务器,可以利用它提供的 Ejscrip 和 GoForm 进行方便有效的动态数据交互。除此之外,GoAhead 还支持使用 SSL 进行数据加密和认证,还支持摘要认证机制,以及它的用户管理功能可以对不同的用户设置不同的访问权限。由于具有以上的种种优点,GoAhead webserver 的应用将日益广泛。

参考文献

- 1 <http://www.goahead.com>.GoAhead webserver.
- 2 房芳,马旭东.基于嵌入式 Web 技术的监控系统设计与实现.计算机工程与设计,2009,35(23):237-239.
- 3 潘琢金,王秋实.嵌入式 Web 服务器中动态 Web 技术的研究.计算机工程设计,2010,31(18):3975-3978.
- 4 谢仕义,徐兵.嵌入式 Web 服务器的设计及其 CGI 实现.计算机工程与设计,2007,28(7):1598-1600.
- 5 张曦煌,柴志雷.嵌入式 Web 服务器中 CGI 的特点及实现.小型微型计算机系统,2003,24(11):2046-2047.

(上接第 239 页)

④ 简单直观操纵。拖放模式生成图表。用户还可以通过直接操作图形界面控制模型的一些参数,并可以测试不同的方案来进行假设分析操作。

现如今,MyM 越来越受世界各国科研小组重视,利用其开发了很多大型动态模型,如荷兰环保局研发的大型动态模型 IVM 模型和 TARGETS 模型。MyM 也可以为已存在的模型构建图形化界面,如美国航天宇航局 NASA 也用其构建月球相关的数学模型。无论科研领域是环境科学、流行病学、机械工程或系统控制,所有可用方程系统描述的数学模型都可以在 MyM 中处理。MyM 的应用具有很好的推广前景。

参考文献

- 1 谭勇基,蔡志杰.数学模型.第 2 版.上海:复旦大学出版社,2011.2-10.
- 2 MyM 主页.<http://www.my-m.eu/>.
- 3 MyM 手册文档.MyM Language Reference Manual,2008.http://www.my-m.eu/?page=support_manuals.
- 4 MyM 手册文档.MyM_manual_GettingStarted,2008.http://www.my-m.eu/?page=support_manuals.
- 5 MyM 手册文档.MyM Language Tutorial,2008. http://www.my-m.eu/?page=support_manuals.
- 6 孙俊逸,朱永松.计算方法.北京:机械工业出版社,2011.139-147.