

基于智能体建模

相比于系统动力学建模和离散事件建模,基于智能体建模是一个比较新的建模方法。事实上,在2002—2003年仿真实践者们使用它之前,基于智能体的建模主要存在于学术界。其兴起的原因有:

- 希望对系统有更深入的认识,而传统的建模方法无法胜任;
- 计算机科学带来的建模技术新发展,如面向对象建模、UML和状态图等;
- 随着CPU性能和存储技术的快速发展,相比于系统动力学模型和离散事件模型,基于智能体模型有更多的需求。

基于智能体的建模提供给建模者另一种观察系统的方式:

通常,用户可能不知道系统行为、无法确定关键变量及其相关性或无法识别一个过程流,但可以洞察系统中对象的行为。在这种情况下,可以通过创建对象(智能体)并定义其行为来进行建模。然后,连接创建的各个智能体使其互动,或将其放置在具有动态特性的特定环境中。这样,系统的全局行为可以通过大量(数十个、数百个、数千个、数百万个)并发的独立行为得以涌现。

目前,尚没有用于智能体建模的标准语言,现有基于智能体的模型结构主要来源于可视化编辑器或脚本语言。智能体的行为可用多种方式指定,由于智能体通常具有特定的状态,并且其动作和反应都依赖于状态,因此建议通过状态图定义智能体的行为。此外,还有一些智能体的行为是通过执行特定事件的规则进行定义的。

在多数情况下,捕获智能体内部动态性的最佳方法是使用系统动力学建模方法和离散事件建模方法,并将存量和流量图或流程流图放置在智能体内部。而在智能体外部,智能体所处环境的动态性常采用传统方法进行建模。因此,许多基于智能体的模型都是多方法模型。

在智能体模型中,智能体可以用来表示不同的事物,如车辆、设备单元、项目、产品、想法、组织机构、投资、土地、不同角色的人等,如图3-1所示。

学术界对智能体的属性应该包括什么一直争论不休,争论的内容包括智能体的主动与被动特性、空间感知能力、学习能力、社交能力、智力等。在基于智能体的建模应用中,智能体的例子多种多样,有的可以相互通信,有的却彻底隔离;有的处于空间中,有的却不在空间中;有的可以学习和适应,有的却从不改变行为模式。

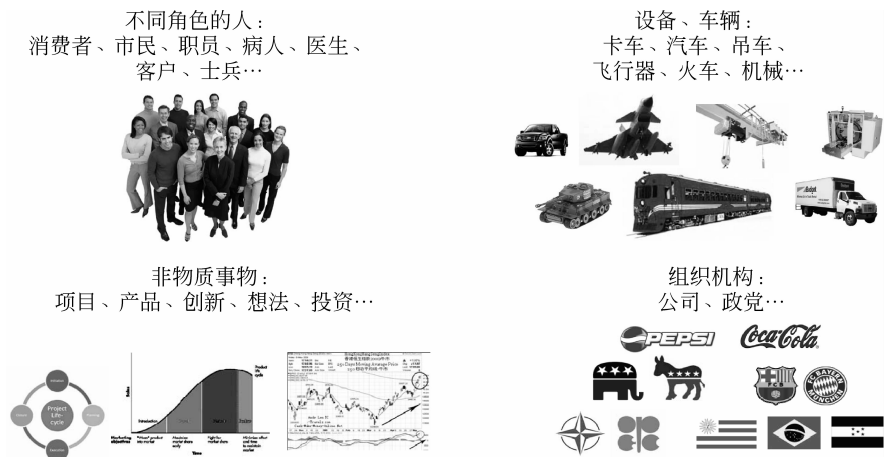


图 3-1 智能体

以下事实有利于读者正视学术界的文献或基于智能体建模的各种理论：

- 智能体不是细胞自动机。智能体无须处于离散空间（如生命游戏中的网格）。在很多基于智能体的模型中，并没有空间这一概念。当涉及空间时，大多也是指连续空间，如一个地理地图或设施平面图等。
- 智能体不必是人。任何事物都可以是智能体：汽车、设备、项目、想法、组织机构，甚至是一次投资。在一个钢厂模型中，每一个机器都被建模为一个活动对象，而模拟它们的交互炼钢过程就是一个基于智能体的模型。
- 绝对被动的对象也可以是智能体。例如，可以模拟一个供水管路网络，将管路网段设为智能体，即可研究相关的保养、替换调度、开销、损坏等事件。
- 基于智能体建模中可以有大量智能体，也可仅有少量智能体。智能体可以是同一类型的，也可以是不同类型的。
- 一些基于智能体的模型中智能体是不交互的。例如，在健康经济学领域所用到的饮酒、肥胖、慢性病等模型中，个体的动态仅取决于个人特性参数，在部分情况下取决于环境。

3.1 市场模型

本节将建立一个基于智能体的消费者市场模型。模型中的每一个消费者都是一个智能体，该模型可帮助了解产品进入市场的过程。因为人的决策通常具有随机性，所以基于智能体建模方法是理想的模拟市场仿真的方法。

进行以下假设：

模型中有 5000 人未使用过该产品，但在广告和口碑效应的作用下，他们最终会购买该产品。

3.2 创建智能体群

首先建立一个简单模型,模拟消费者在广告的影响下购买该产品。

最初消费者并未使用该产品,但是均具有使用该产品的潜在兴趣(即潜在用户)。广告可让消费者产生购买该产品的需求,在特定的某一天一定百分比的潜在用户可能对购买该产品产生兴趣。为实现该功能,设置 $\text{Advertizing effectiveness} = 0.1$ 确定某一天准备购买该产品的潜在用户的百分比。

运行 AnyLogic 软件,显示“欢迎”页面。

“欢迎”页面介绍了 AnyLogic 软件,提供了非常实用的项目及其特征的概述,并给出示例模型供用户学习,如图 3-2 所示。

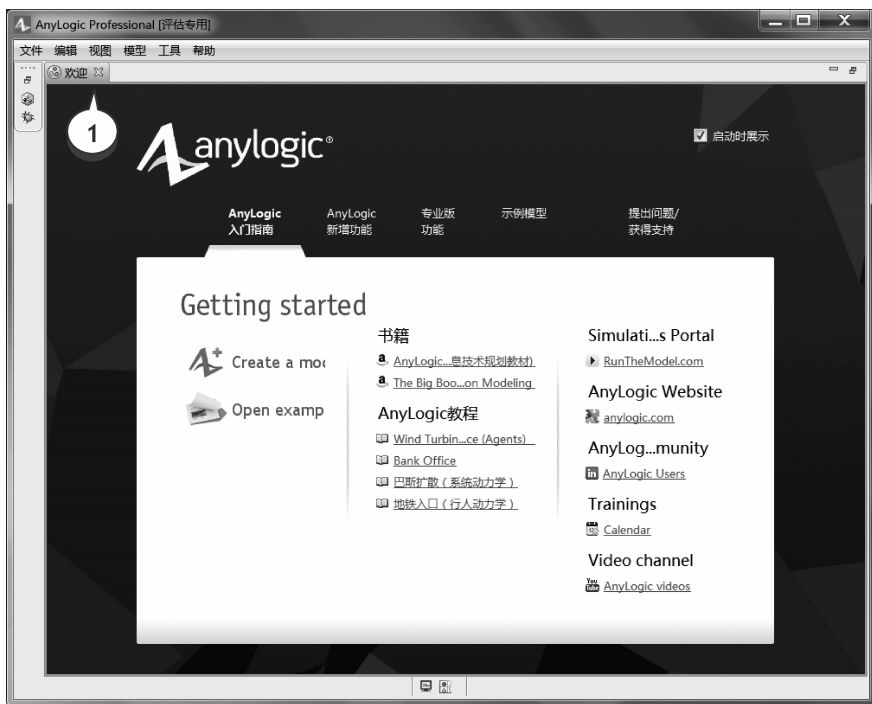


图 3-2 欢迎页面

(1) 关闭“欢迎”页面,在主菜单中依次选择“文件”→“新建”→“模型”命令来创建一个新的模型。该操作将打开“新模型”向导对话框,如图 3-3 所示。

(2) 在“模型名称”文本框中,输入新模型的名称 Market。

(3) 在“位置”文本框中,设置存储所建立模型的文件夹。可以通过单击“浏览”按钮来浏览文件夹或在“位置”文本框中直接输入文件夹的名称。

(4) 单击“完成”按钮,完成设置。

AnyLogic 界面如图 3-4 所示。

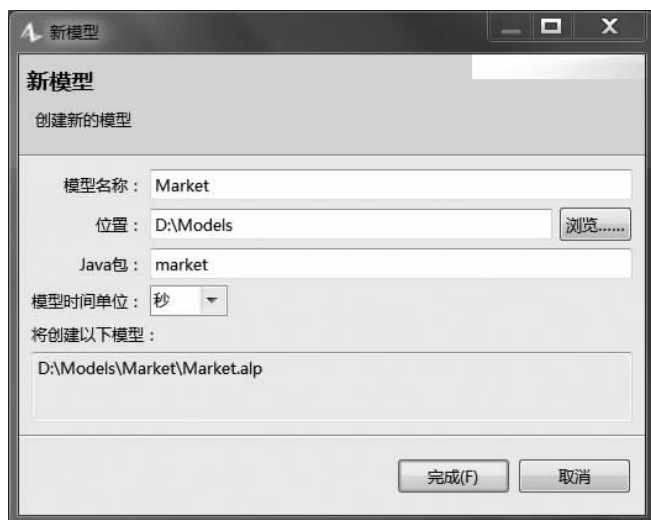


图 3-3 “新模型”对话框

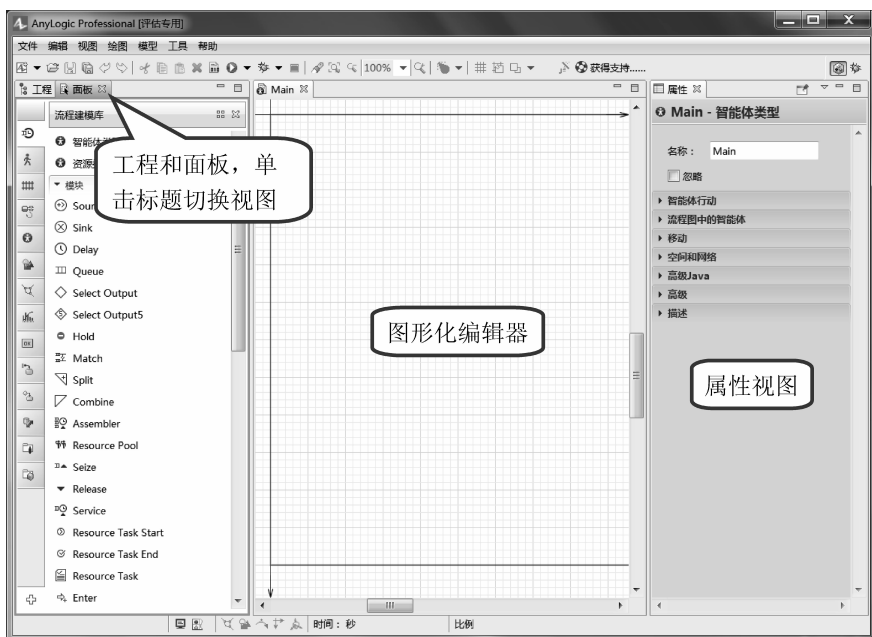


图 3-4 AnyLogic 界面

【AnyLogic 工作区】

图形化编辑器可以使用户编辑智能体类的图表,通过将其从“面板”中拖曳到图形化编辑器,放置在编辑器的画布上,可实现模型元素的添加。放置在蓝色框架内的元素会在模型运行时显示于模型窗口。

“工程”视图可以使用户访问工作区中已经打开的 AnyLogic 模型,工作区树可以实现模型的快速导航。

“面板”视图中列出了面板中的对象组。如果向模型中添加元素,只需将元素从面板中拖曳到图形化编辑器即可。

“属性”视图允许用户查看或修改所选项目的属性。

若要打开或关闭一个视图,需从“视图”菜单中选择相应的项目。项目在选定后,其视图可见。

使用鼠标拖曳视图的边缘,可调整视图的尺寸。

通过“工具”菜单中的“重置视图”命令可将视图恢复到其默认位置。

(5) 打开“工程”视图查看模型的结构。“面板”和“工程”视图位于工作区的左侧,单击相应的标签可对“面板”视图和“工程”视图进行切换。“工程”视图如图 3-5 所示。

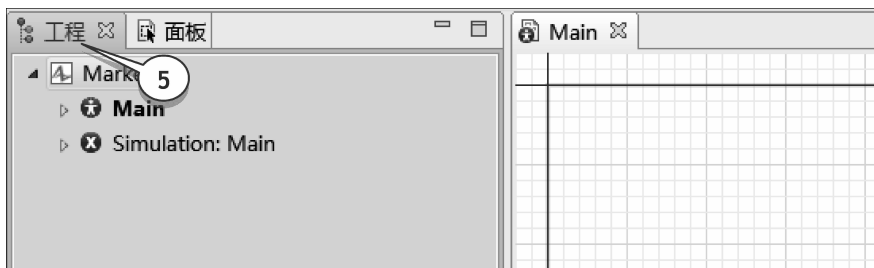


图 3-5 “工程”视图

【工程视图中模型的导航】

- “工程”视图允许用户访问工作区中已经打开的 AnyLogic 工程,并可通过工作区树实现工程的快速导航。
- AnyLogic 通过树结构显示模型,顶层显示模型;中层显示智能体类和实验;底层分支组织组成智能体结构的元素。
- 默认情况下,模型有一个 Main 智能体类和一个仿真 Simulation,如图 3-6 所示。双击智能体类或实验会在图形化编辑器中打开其图表。
- 单击工程树中的模型元素进行元素选择,并将其集中放置在图形化编辑器中,若在图形化图表中找不到相应元素,可通过该操作进行元素查找。

图形化编辑器中显示模型的 Main 智能体类的空白表。



图 3-6 Main 智能体类的空白表

【智能体】

智能体是模型的构建模块,用户可以利用其模拟现实世界中的各类对象,包括组织结构、公司、卡车、加工站、资源、城市、零售商、物理对象、控制器等。

通常每个智能体表示模型的一个逻辑部分,因此可将模型分解成许多细节层级。

本案例中模型只有一个智能体类 Main。若要添加消费者,需首先建立表示消费者的智能体类,再将所建智能体类的各实体组成智能体群。在 AnyLogic 7 中,可以通过“新建智能体”向导建立智能体。

(6) 添加一个新的模型元素,需首先单击图 3-7 中“面板”标签,将视图切换到“面板”视图。



图 3-7 “面板”标签

(7) 打开“智能体”面板。打开一个指定的面板,进入“面板”视图,将鼠标悬浮在视图的垂直导航面板上方。

(8) 扩展视图可显示所有的面板名称,用户可对任意所需面板进行选择。单击并选择“智能体”面板,如图 3-8 所示。



图 3-8 “智能体”面板

熟悉这些图标以后,可直接单击导航栏中相应的面板图标。

(9) 将“智能体”从“智能体”面板中拖曳到 Main 图表中,此时“新建智能体”向导将打开,如图 3-9 所示。

(10) 进入“第 1 步. 选择你想创建什么”页面,选择最能满足建模需求的选项。在本案例中,要创建多个同类型智能体,因此选择“智能体”群并单击“下一步”按钮,如图 3-10 所示。

(11) 进入“第 2 步. 创建新的智能体类型”页面,在“新类型的名称”文本框中输入

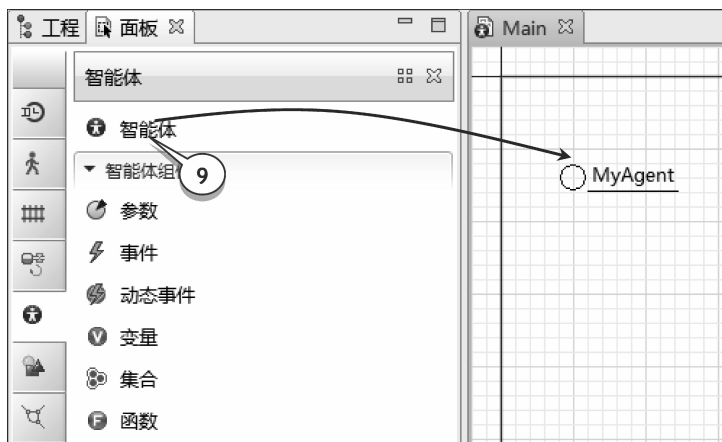


图 3-9 Main 图表中新智能体 MyAgent



图 3-10 “第 1 步. 选择你想创建什么”页面

Consumer。此时，“智能体群名”文本框中的信息自动变成 consumers，如图 3-11 所示。

(12) 然后单击“下一步”按钮。

(13) 在进入的“智能体动画”页面中，选择智能体的动画图形。在本示例模型中，因为使用二维动画创建了一个简单的模型，因此选择“二维”单选按钮，并选择列表中的第一项“人”，单击“下一步”按钮，如图 3-12 所示。

(14) 进入“智能体参数”页面，定义智能体的参数或特征。



图 3-11 “第 2 步. 创建新的智能体类型”页面



图 3-12 “第 3 步. 智能体动画”页面

由于本示例模型只考虑广告相关的产品购买,因此添加参数 AdEffectiveness,定义在某一天准备购买产品的潜在用户的百分比,如图 3-13 所示。



图 3-13 “第 4 步. 智能体参数”页面

(15) 在左部的“参数”列表中,单击“<添加新……>”项,创建一个新的参数。

(16) 在“参数”文本框中,将默认的参数更改为 AdEffectiveness,在“类型”下拉列表框中选择为 double。假设在某一天有 1% 的潜在用户将要购买该产品,则将参数值设置为 0.01。

(17) 单击“下一步”按钮。

(18) 进入“群大小”页面,在“创建群具有……个智能体”文本框中输入 5000,创建 5000 个 Consumer 类的实体,如图 3-14 所示。群中的每个实体都将模拟一个特定的智能体,即用户。

虽然创建了智能体群,但在 Main 图表中并没有显示 5000 个人的动画。而在模型运行时,AnyLogic 将利用群中创建的名为 consumers 的 5000 个智能体对市场进行仿真。

(19) 单击“下一步”按钮。

(20) 进入“配置新环境”页面,保留环境空间类型的默认值“连续”及其“大小” 500×500 。AnyLogic 将在 500×500 像素的矩形框内显示智能体。

(21) 选择“应用随机布局”复选框,在定义的 500×500 像素的矩形框内随机分布智能体。本示例模型无须创建智能体网络,因此保留“网络类型”的默认值“无网络/用户定义”,如图 3-15 所示。

(22) 单击“完成”按钮。



图 3-14 “第 5 步. 群大小”页面



图 3-15 “第 6 步. 配置新环境”页面

(23) 通过“工程”视图查看利用向导创建的新元素,展开模型树的分支查看其内部构件,如图 3-16 所示。

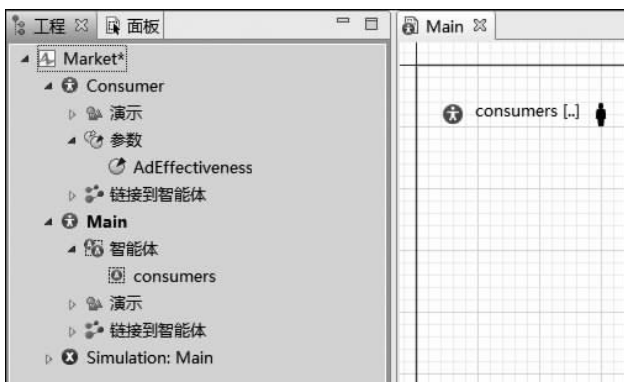


图 3-16 “工程”视图中元素及内部构件显示

模型中现有两个智能体类：Consumer 和 Main。

- Consumer 智能体类具有智能体的动画图形 (person, 位于“演示”分支) 和参数 AdEffectiveness。
- Main 智能体类包含智能体群 consumers (5000 个 Consumer 类智能体的集合)。

【智能体的环境】

智能体 Main 为 consumers 群提供了环境。由于环境定义了智能体所需的空间、布局、网络和通信, 需要环境安排智能体演示, 模拟智能体交互时的“口碑效应”。

(24) 单击“工程”视图中的 Main, 打开其“属性”视图中的属性 (“属性”位于 AnyLogic 窗口的右半部)。

在 Main 属性的“空间和网络”区域, 可以调整 consumers 智能体群的环境设置。

【属性视图】

属性视图是元素属性的环境相关的视图。

修改元素的属性, 在图形化编辑器或“工程”视图中选中并单击该元素, 利用“属性”视图修改选中元素的属性。

“属性”视图由若干个区域构成。单击任意一个区域的标题, 可将该区域展开或关闭。

所选元素的名称和类型显示在属性视图的顶部, 如图 3-17 所示。

(25) 在 Main 图表中, 选择智能体群的非可编辑嵌入式动画图形, 打开“高级”属性区域, 选择“以这个位置为偏移量画智能体”复选框, 如图 3-18 所示。

如图 3-19 所示, 当模型运行时, 个体智能体将显示在动画图形定义的 500×500 像素的区域中。

至此, 完成了这个简单模型的创建。运行该模型并观察其行为。

(26) 在工具栏中, 单击  构建模型按钮创建该模型, 并检查所建模型是否存在错误。

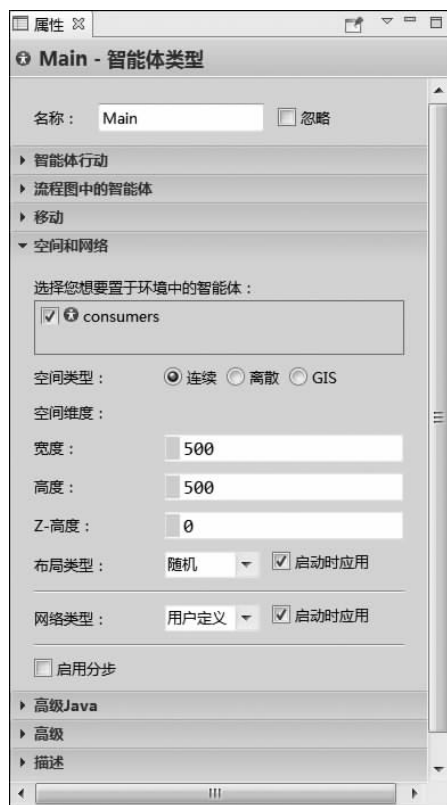


图 3-17 智能体属性视图

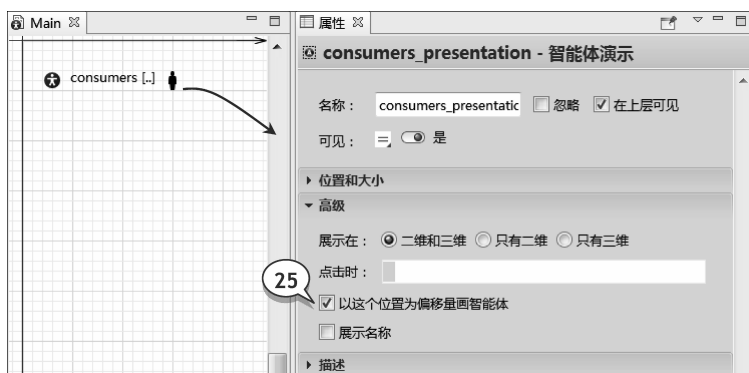


图 3-18 智能体演示设置

(27) 在  运行按钮处,单击其右侧的下三角按钮,在下拉列表框中选择 Market/Simulation,如图 3-20 所示。

由于可以同时打开几个模型,而每个模型可能包含若干仿真,因此必须选择正确的仿真。

开始运行模型后,演示窗口显示启动的仿真 Simulation。默认情况下,演示窗口显示

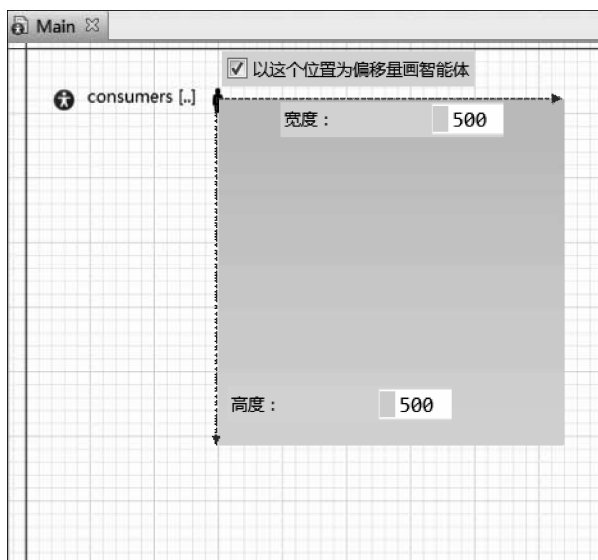


图 3-19 智能体动画图形显示区域

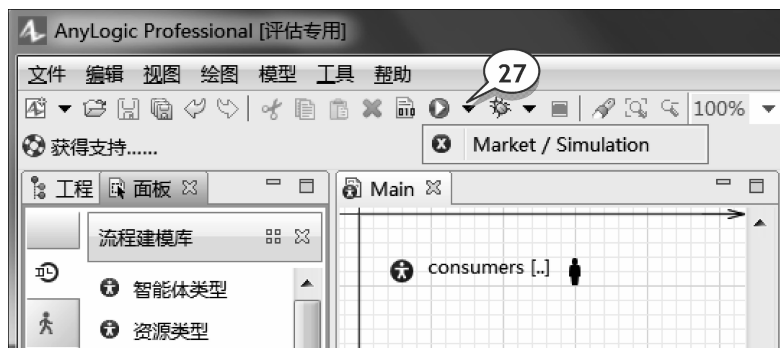


图 3-20 模型运行按钮

运行模型的名称和“运行”按钮。

(28) 单击“运行”按钮,运行模型,如图 3-21 所示。



图 3-21 启动模型

在模型的演示(演示创建的 Main 智能体)中,将显示组成 consumers 群的 5000 个智能体的动画。由于模型中没有创建智能体的行为,动画是静止的,如图 3-22 所示。

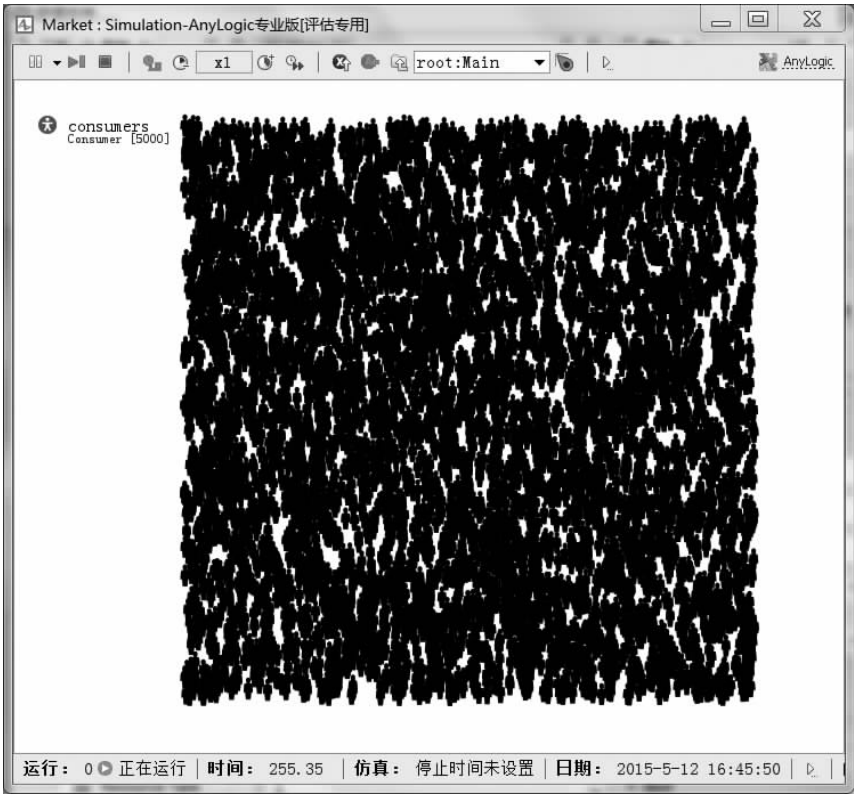


图 3-22 模型运行的动画演示

【模型窗口的状态栏】

- 为确保模型的运行,查看模型窗口底部的状态栏,如图 3-23 所示。



图 3-23 模型窗口底部的状态栏

- 状态栏显示模型的仿真状态(运行、暂停、空闲或完成)、当前模型时间、模型日期等。

用户可单击按钮自定义状态栏,从弹出的列表中选择所需选项。

利用 AnyLogic 演示窗口顶部的工具栏,可以控制模型的执行。

【控制模型的执行按钮】

: 从当前状态运行。

[模型未运行时可见]开始运行仿真或在仿真被暂停时恢复仿真运行。



▶: 单步。

执行一个模型事件,然后终止模型的执行。

⏸: 暂停。

[模型正在运行时可见]暂停仿真。任何时间都可以恢复一个被暂停的仿真。

■: 终止执行。

终止执行当前模型。

(29) 定义消费者的逻辑。继续开发模型,关闭演示窗口,如图 3-24 所示。



图 3-24 关闭演示窗口

3.3 定义消费者行为

继续开发本示例模型,定义消费者的特征和行为,定义行为的最佳方法是使用状态图。

【状态图】

- 状态图是描述事件驱动或时间驱动行为的最先进的概念。对于对象,其操作的事件和时间顺序非常普遍,使用状态变迁图——状态图,能够更好地描述其行为。
- 状态图包括状态和变迁。状态图的状态具有选择性,即对象在同一时间只能处于一个状态之中。变迁的执行可以导致状态的更改,激活一组新的变迁。状态图的状态可以是分层的——可能包含其他的状态和变迁。
- 一个智能体可以有若干状态图,描述智能体行为的各个独立的部分,如图 3-25 所示。

定义消费者的行为具有两个状态序列:

- 消费者处于 PotentialUser 状态时只是对购买该产品具有潜在的兴趣;
- 消费者处于 User 状态时已经购买了该产品。

(1) 在“工程”视图中,双击 Consumer 打开其图表。带有动画图形智能体的图形化图表及其参数显示在坐标轴原点。

【如何辨认所编辑的智能体的类型】

由于本示例模型中包含两类智能体,则在图形化编辑器中所编辑的智能体是哪种类型呢?

- AnyLogic 选择用户在图形化编辑器中已经打开智能体类的选项卡,并在工程树中强调其项目,如图 3-26 所示。

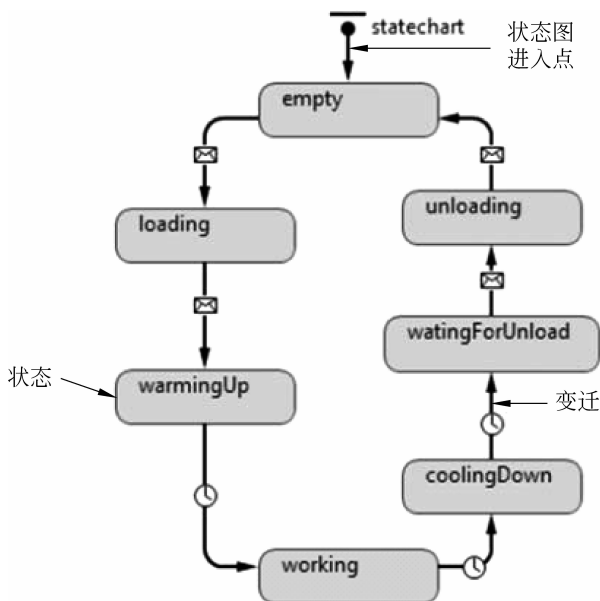


图 3-25 智能体的状态图

- 单击选项卡的名称,可在打开不同智能体类的图形化图表中导航,如例中的 Main 和 Consumer。

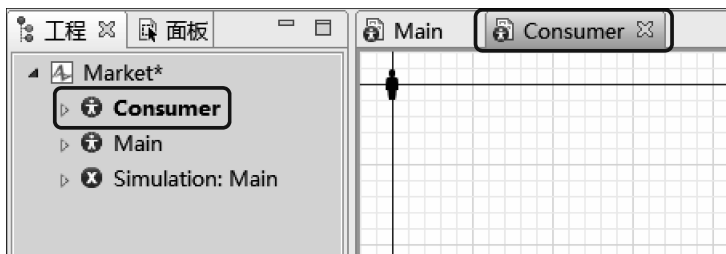


图 3-26 被选择智能体的强调显示

(2) 通过绘制两个状态来绘制一个状态图。打开“状态图”面板。

(3) 从“状态图”面板中将“状态图进入点”拖曳到 Consumer 图表中。通过添加一个“状态图进入点”开始绘制状态图。进入点定义了状态图控制流的开始和状态图的名称,如图 3-27 所示。

注意: 状态图进入点、初始状态指针和变迁外观类似,三者容易混淆。

AnyLogic 中的状态图进入节点被高亮为红色,表示进入节点不与任何状态连接,且当前状态图是无效的。

下面在消费者的状态图中添加第一个状态。

(4) 将“状态”从“状态图”面板中拖曳到图形化图表,并将其连接到状态图进入点,如图 3-28 所示。

注意: 确认在 Consumer 图表上绘制状态图,而不是在 Main 图表上绘制。

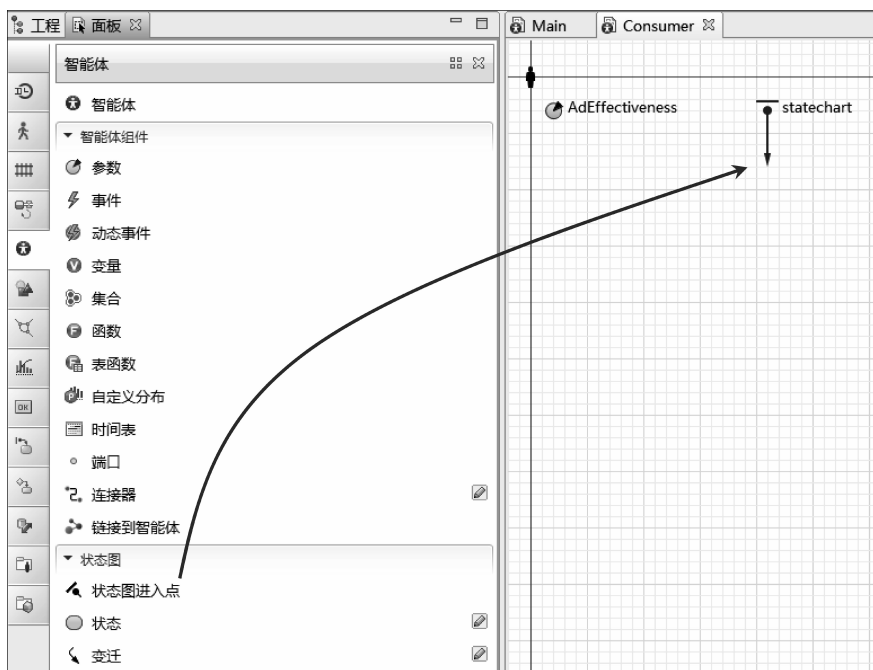


图 3-27 设置 Consumer 智能体状态图进入点

(5) 在图形化编辑器中选择状态,修改其属性,将其命名为 PotentialUser。

(6) 在“填充颜色”下拉列表框中选择 lavender,如图 3-29 所示。

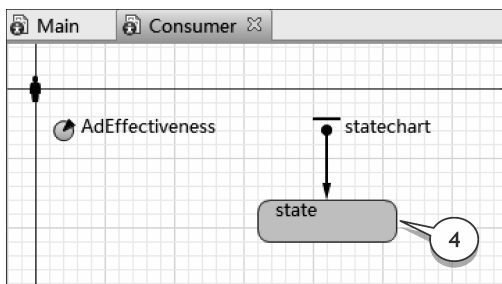


图 3-28 增加 Consumer 智能体状态



图 3-29 PotentialUser 状态的“属性”选项卡

(7) 在“进入行动”文本框中输入系列 Java 代码 `shapeBody.setFillColor(lavender)`, 如图 3-30 所示。

【代码完成助手】

可以使用代码完成助手完成代码的输入,以避免输入元素或函数的全称。若要打开

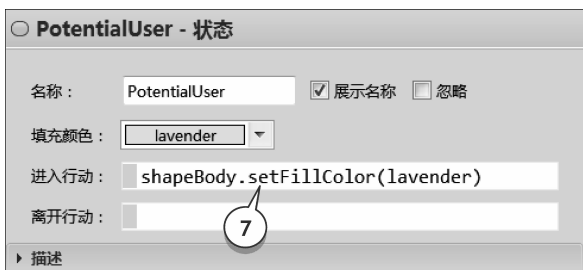


图 3-30 “进入行动”文本框

代码完成助手,需单击编辑文本框中的相应区域,按住 Ctrl+空格键。在弹出的对话框中列出了在给定的环境中可用的模型元素,如模型变量、参数或函数,如图 3-31 所示。

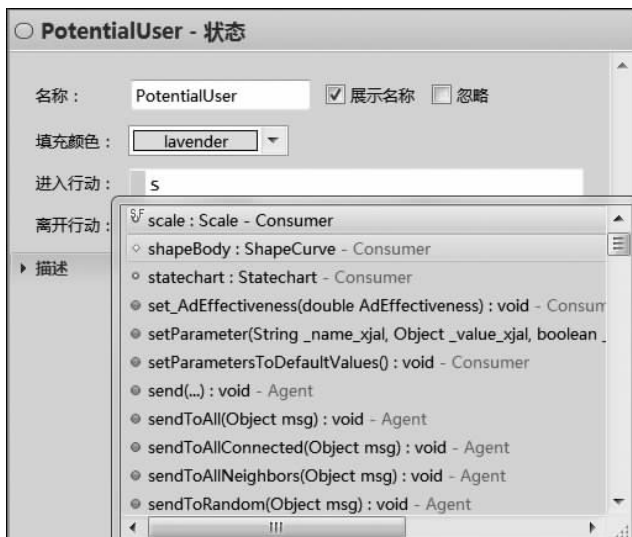


图 3-31 代码完成助手的使用

拖曳滚动条或输入元素的首字母,在列表中找到所需元素,按 Enter 键将元素的名称插入到编辑文本框中。

“进入行动”在消费者转换到另一个状态时执行。此代码通过更改消费者动画的颜色显示其状态的变化。

这里,shapeBody 是新智能体向导创建的消费者动画图形的名称,若展开工程树中消费者的演示分支,会看到 shapeBody 显示在 person 组中,如图 3-32 所示。

为访问元素的函数,需首先输入该元素的名称 shapeBody,再输入一个点“.”,利用代码完成助手列出元素函数或从列表中选择函数的名



图 3-32 增加消费者动画图形 shapeBody

称。setFillColor()是一个标准的图形函数,允许用户动态地更改图形的填充颜色,其只需一个参数——一个新的颜色。

(8) 在消费者的状态图中添加另一个状态,如图 3-33 所示。

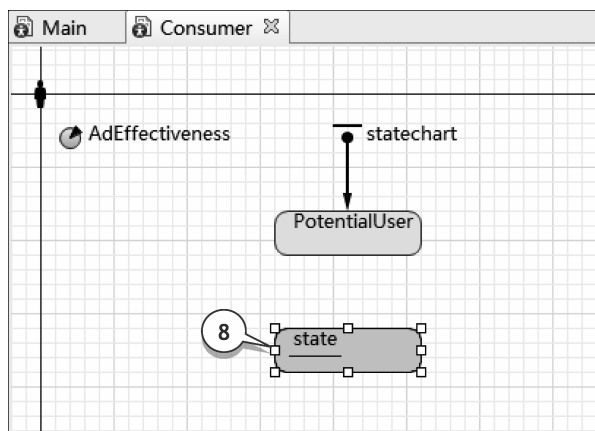


图 3-33 增加消费者智能体状态

(9) 按照以上操作,修改此状态的属性,如图 3-34 所示。

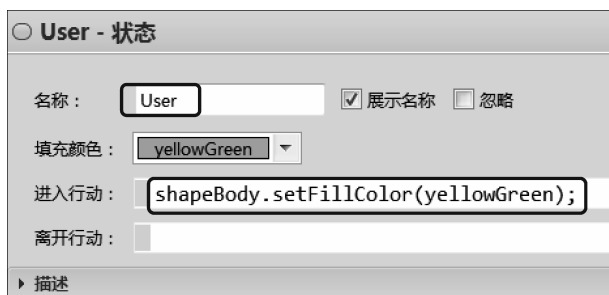


图 3-34 User 状态属性

(10) 从 PotentialUser 到 User 状态绘制一个变迁,模拟人们购买该产品并成为该产品的用户。该操作通过双击“状态图”面板中的变迁  元素(元素的面板图标应该更改为 ),单击 PotentialUser 再单击 User 完成操作,如图 3-35 所示。

注意: 确认变迁已经连接两个状态。若变迁没有连接两个状态,AnyLogic 将用红色高亮显示该变迁。

(11) 将该变迁命名为 Ad 表示“广告”。

(12) 选中“展示名称”复选框,在图形化图表中显示此变迁的名称。

(13) 从 PotentialUser 状态到 User 状态的变迁将模拟人们是如何在广告的影响下购买该产品的。在“触发于”下拉列表框中,选择“速率”选项;在“速率”文本框中,输入

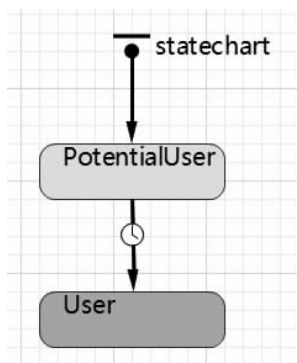


图 3-35 增加状态间的变迁

AdEffectiveness,在后面的下拉列表框中选择“每天”选项,如图 3-36 所示。

可以发现变迁上方的图标由⌚变成📄。这个符号显示了变迁的触发类型。

若要移动变迁的名称或图标,则选中该变迁,使用鼠标将相应的元素拖曳到一个新的位置,如图 3-37 所示。



图 3-36 “Ad-变迁”对话框

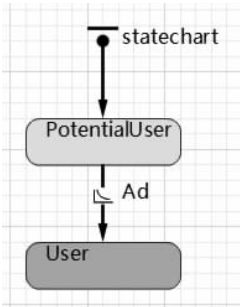


图 3-37 变迁的触发类型为“速率”的符号显示

【变迁的触发类型】

很多事件类型可以触发变迁。表 3-1 列出了变迁触发类型及与之对应的显示在变迁上方的图标,以帮助用户理解这些触发类型。

表 3-1 变迁触发类型及其描述

变迁触发	描 述
到时 ⌚	变迁发生在从状态图进入到变迁“源”状态的时刻开始,经历一个指定的时间间隔以后。到时的表达式可以是随机的或确定性的 主要用途如下: 延时: 在一个状态中停留指定的时间后离开 到时: 若其他等待的事件在指定的时间间隔内没有发生则更改状态
速率 📄	用于实现分散的状态随已知的平均时间变化。按照与到时触发变迁同样的方式执行,但其时间间隔服从以给定速率为参数的指数分布。例如,若速率为 0.2,则到时为 1/0.2=5 时间单元平均值
条件 ❓	变迁监视一个指定的布尔型条件,为“真”时执行。条件可以是任意的布尔型表达式,可以取决于整个模型中任意对象连续或离散的动态状态 注意,条件只在模型中某些事件发生时检查。为保证不会错过状态转换的时刻,建议用户在智能体内部添加一个循环事件,使其经常发生以不会错过变迁条件变成“真”的时刻
消息 ✉	对其他智能体的消息做出反应。消息能够模拟人与人之间的通信、对机器输入的指令等。用户可在变迁的属性中定义消息模板,且只有与此模板匹配的消息才能触发变迁
智能体到达 🚩	对智能体到达至其到达目的地做出反应 注意,变迁只有在该运动通过调用智能体的函数 moveTo()进行初始化时做出反应

在本示例模型中,变迁通过指定的速率触发。在这种情况下,当状态图执行到状态