

# 使用 StateFlow 进行混成自动机建模与仿真教程

陈仪香，许巾一

2020 年 3 月 20 日

Stateflow 是一个基于状态机和流程图对组合和顺序决策逻辑进行建模和仿真的环境。Stateflow 允许用户组合图形和表格表示，包括状态转换图、流程图、状态转换表和真值表，从而对系统如何对事件、基于时间的条件和外部输入信号做出反应进行建模。

下面是一个状态图的例子，它将空调系统中加热控制所需的逻辑建模为一个有限状态机：

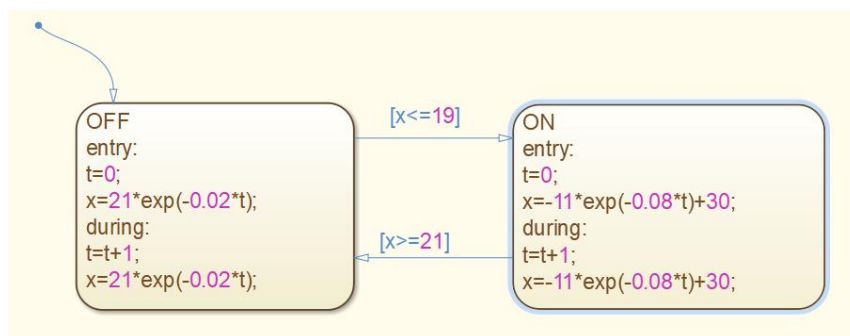


图 1 空调系统的 Stateflow chart

状态图在 Simulink 模型中作为块运行。Stateflow 块使用输入和输出信号与模型中的其他块交互。通过这些联系,Stateflow 和 Simulink 软件共享数据并响应在模型和图表之间传播的事件。例如， Stateflow Air-Conditioner-Chart 块与 Simulink TemControl 模型集成，如下所示。

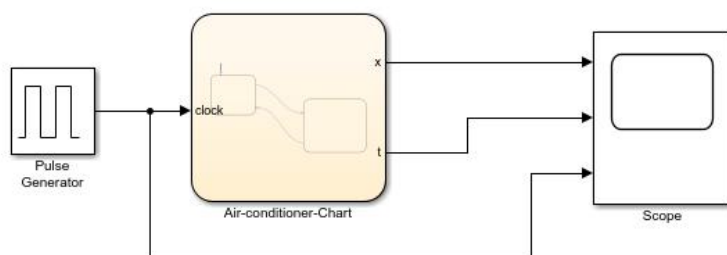


图 2 空调系统的 Stateflow chart 和 Simulink 模型集成

接下来，我们将以空调系统的 Stateflow chart 为例，介绍 matlab Stateflow 的使用和相关知识。该空调系统在温度小于等于 19 度时开启加温功能，在加温温度大于等于 21 度时关闭。

## 1.了解 Stateflow chart 的元素

我们可以从图 2 标题栏看到，这个 chart 被称为空调，是名为 TemControl 的 Simulink 模型的一部分。在构建这个 chart 前，我们要学习如何使用以下 Stateflow chart 的元素：

- **Exclusive (OR) states.** 表示相互排斥的操作模式的状态。任何两个互斥状态都不可能同时处于活动状态或执行状态。Exclusive (OR) states 用实矩形图形表示：



- **Transitions.** 将一种状态链接到另一种状态并指定流方向的图形对象。过渡由单向箭头表示：



- **State actions.** 基于 states 状态所执行的操作。

该空调系统 chart 包含两种 State action:

- **entry:** 当状态被输入(变为活动状态)时, 将执行输入操作, 是一次性执行, 如  $t=0$  是将变量  $t$  进行重新赋值, 而  $x=21*\exp(-0.02*t)$  是定义了变量函数  $x$  为自变量  $t$  的函数。
- **during:** 当一个状态处于活动状态且没有有效的状态转换可用时, 将对该状态执行操作, 这个操作是一直进行指导状态转移到其他状态。如  $t=t+1$  对变量  $t$  进行累加, 若  $t$  的初始值是 0 则它是一个时间计数器。再如:  $x=21*\exp(-0.02*t)$  是随自变量  $t$  的变化而连续执行。


- **Events.** 可以触发各种活动的对象, 比如唤醒一个 Stateflow chart。

该空调系统有一个边沿触发事件 clock, 在时钟信号 clock 的每一个上升的边沿唤醒名为 Air-Conditioning 的 Stateflow chart。

## 2. 新建一个 Stateflow chart (状态机图)

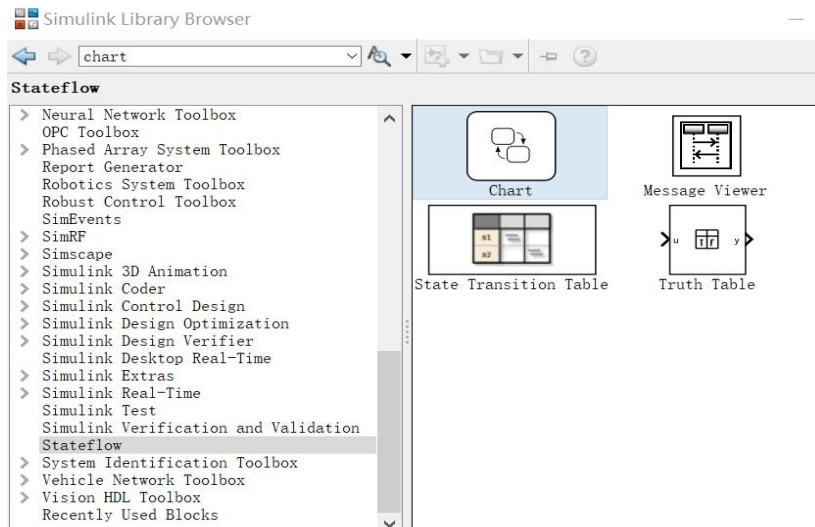
要构建我们的 Stateflow chart, 需要向已构建的 Simulink 模型中添加一个 Stateflow 块。

### 第一步: 建立 Stateflow 模块

- a) 打开或新建名为 TemControl 的 Simulink 模型;
- b) 点击 Simulink 模型工具栏中的 Library Browser 图标 ;
- c) 将 Stateflow chart 块添加到 Simulink 模型中:

在库浏览器的左滚动窗格中, 选择 Stateflow, 将第一个称为 Chart 的块拖放到模型中, 修改 Chart 名称为 test。

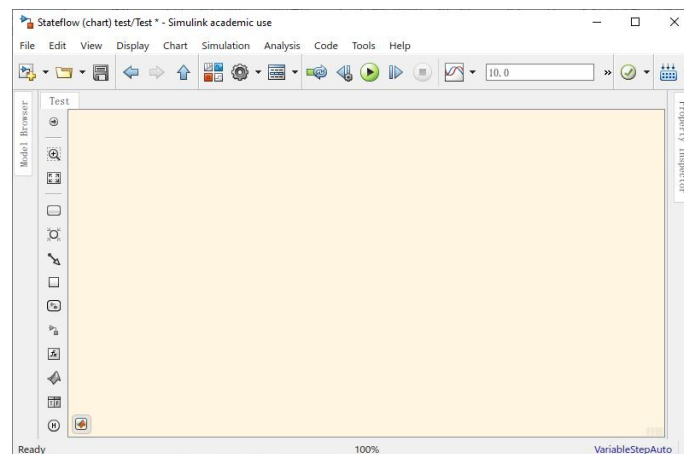
- d) 保存这个模块为 test.slx。



## 第二步：定义输入输出端口

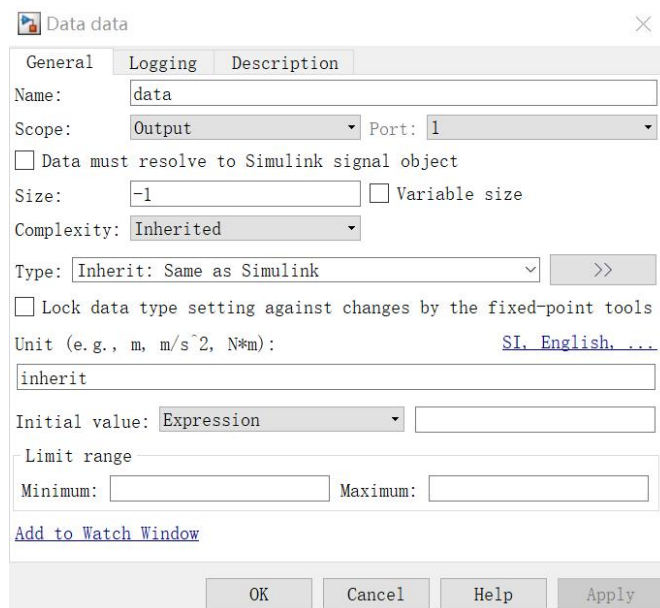
输入和输出是 Stateflow chart 中的数据元素，它们与父 Simulink 模型进行交互。要定义 Chart 的数据输入和输出端口，遵循以下步骤：

- a) 双击 Simulink 模型 TemControl 中的 Air-Conditioning 模块，打开 Stateflow chart;



- b) 添加输出数据端口：

在 editor 菜单中，选择 Chart > Add Inputs & Outputs > Data output From Simulink. 打开数据属性对话框，选择 General 选项卡，修改 Name 框中变量 data 名为 x，保存来自 Air-Conditioning 的温度输出值 x:

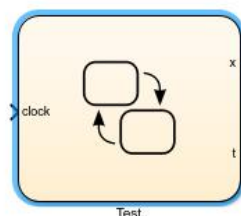


点击 OK 保存修改，这个输出数据端口已定义完毕。同样定义一个输出数据端口来保存来自 Air-Conditioning 的计时输出值 t。

c) 添加输入数据端口：

在 editor 菜单中，选择 Chart > Add Inputs & Outputs > Data Input From Simulink. 打开数据属性对话框, 选择 General 选项卡, 修改 Name 框中变量 data 改成 clock，点击 OK 保存修改，这个输入数据端口已定义完毕。

输入输出数据端口定义完成后，返回 Simulink 模型，会发现 Chart 图标发生了变化：

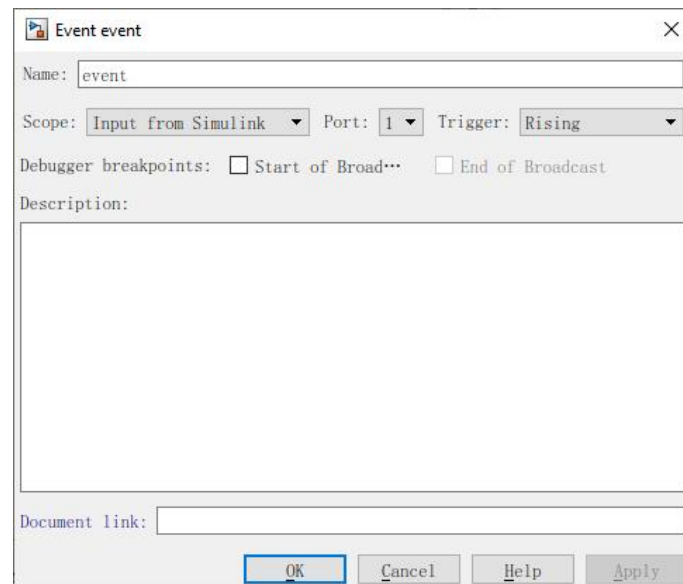


## 第二步\*: 为 Stateflow chart 添加触发

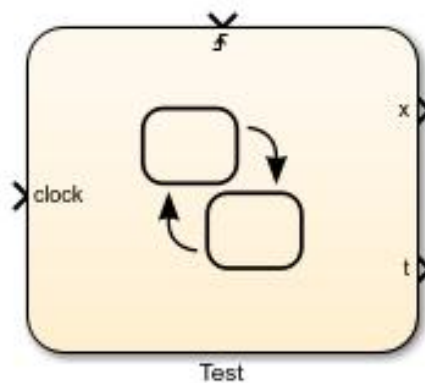
信号触发器最适合温度控制，因为它需要定期监视物理环境的温度。为了满足这个要求，我们将使用一个周期信号(时钟)来触发 test。信号源是一个方波信

号时钟，由 Simulink 模型中的信号生成器块提供，要利用该信号，我们需要设置一个边缘触发事件 **Events**，该事件将时钟上升沿唤醒 test。

- a) 双击 Simulink 模型中的 test 模块，打开 Stateflow chart;
- b) 在菜单栏中，选择 Chart > Add Inputs &Outputs > Event Input From Simulink 添加一个输入事件;
- c) 在弹出的事件属性对话框中，将 Name 框中 event 改成为 clock, 修改 Trigger 为 Rising，单击 OK，完成了事件触发设置。




- d) 退出至 test 模型界面，会发现 test 图标发生了变化:



注：这个界面有两个输入 clock 和箭头 $\uparrow$ ，clock 是输入数据端口，而箭头 $\uparrow$ 是事件触发端口，两者都实现了信号输入激活状态机。本教程使用输入数据端口。

### 第三步 为 Stateflow chart 定义状态和动作

a) 双击 Simulink 模型中 test 模块，打开 Stateflow chart;

b) 从左侧边栏拖拽两个 state  到工作区;

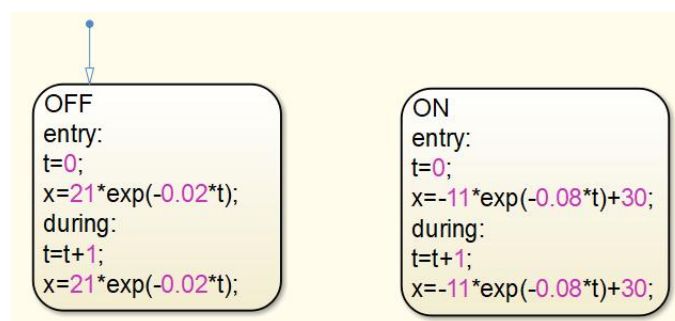
c) 单击工作区内的状态图标，点击“?”进行编辑:

将第一个 state 命名为 OFF，第二个命名为 ON；一般第一个状态为初始状态，使用符合 $\downarrow$ 标注，这个箭头是来自于编辑栏。

d) 根据需求在 state 中定义动作 action,状态内有有动作类型 entry 和 during, 其动语法格式如下:

entry:one or more actions;//动作执行一次

during:one or more actions;//动作执行多次直到状态转移到其他状态为止

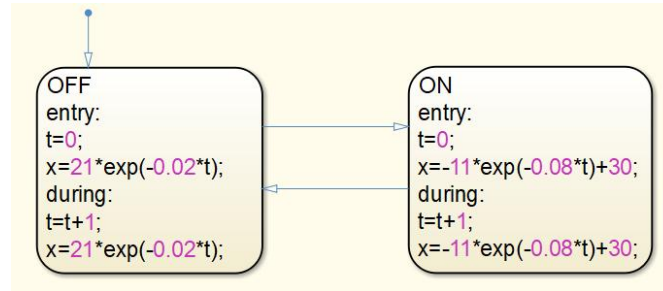


### 第四步 定义状态间转移条件

a) 双击 Simulink 模型 test 模块，打开 Stateflow chart;

b) 将鼠标移动到 OFF 的边缘，直到箭头形状变为十字准线。按住鼠标左键，拖动鼠标到 ON 的边缘，松开鼠标。此时会看到一条带空箭头的转移关系线从 OFF 指向 ON。

c) 同样，创建一条从 ON 指向 OFF 的转移关系;



d) 为转移关系添加条件：单击选中的转移关系，移动鼠标点击出现的“？”，状态转移标记的一般形式为：

触发事件（名）[迁移条件关系式]{条件动作}/迁移动作

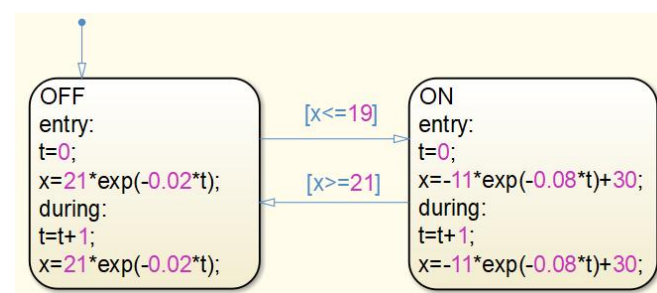
**触发事件（名）**：定义了迁移事件名字，如 off\_switch，on\_switch。但可以省略。

**迁移条件关系式**：一般是布尔表达式，写在方括号[]内。当关系式为真时迁移事件发生，状态迁移到下一个状态。如  $x \leq 19$ 。这个是不能省略的。

**条件动作**：是指在状态迁移时，一些动作就发生了，如  $t=0$ 。条件动作写在花括号{}内，或者写在状态中 entry 型动作。

**迁移动作**：当迁移状态已确定有效才执行的动作，如 LED\_OFF 是关闭 LED 动作。可以省略或者不写。

完成后，结果如下图所示，至此完成了状态机图的建立。

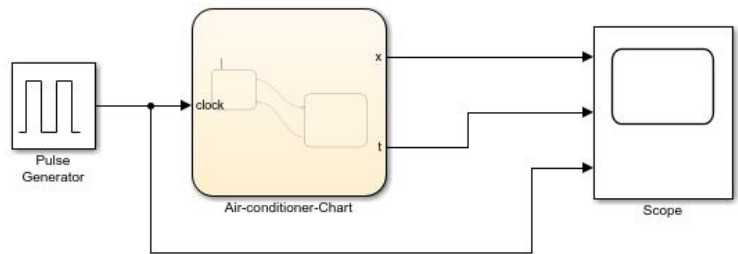


### 3. 完成 Simulink 模型

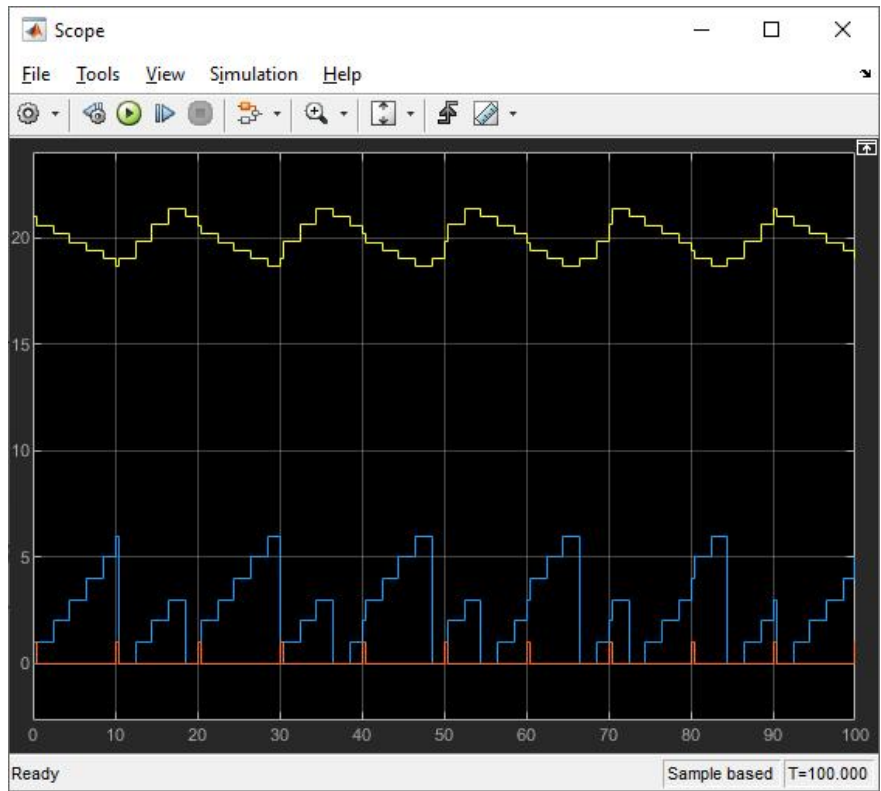
在完成 stateflow 的搭建后，依据需求添加合适的 Simulink 模块/组件并连接，进行编译仿真即可看到结果。在空调系统中，我们需要额外添加一个信号发生器作



为 clock 触发，一个示波器 Scope 用于显示结果。完成后的 Simulink 模型如下图所示。



对这个 Simulink 进行仿真，设置仿真时间  $T=100$ ，仿真图形如下图：



蓝颜色是房间温度变化曲线，橙色是时间变化曲线，而黄色是时钟变化曲线。温度变化是从 21 度开始的，此时为 OFF 状态，经过 6 个多单位时间温度降到 19 度，状态机触发状态转移条件  $x \leq 19$ ，状态从 OFF 状态转移到 ON 状态，空调开始加热房间温度从 19 度逐步上升 21 度，大约用了 4 个单位时间，同时触发状态转移条件  $x \geq 21$ ，状态机从 ON 状态转移到 OFF 状态。一直这样下去，