

1. 实验名称及目的

1.1 实验名称

Simulink模型自主生成C/C++代码实验（基于Embedded Coder）

1.2 实验目的

通过该例程对Simulink模型如何自动代码生成C/C++文件进行介绍。

MATLAB/Simulink的Embedded Coder模块可生成可读、紧凑且快速的C和C++代码，以便用于大规模生产中使用的嵌入式处理器。它扩展了MATLAB Coder和Simulink Coder

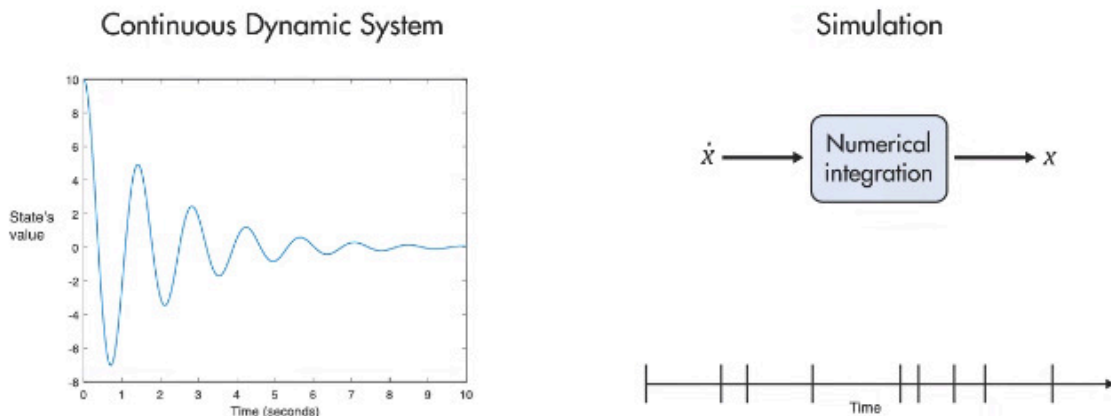
的功能，支持通过高级优化对生成的函数、文件和数据进行精确控制。这些优化可提高代码效率，并有助于与已有代码、数据类型和标定参数集成。可以集成第三方开发工具，以便为嵌入式系统或快速原型板上的全套部署构建可执行文件。

1.3 关键知识点

自主生成C/C++代码

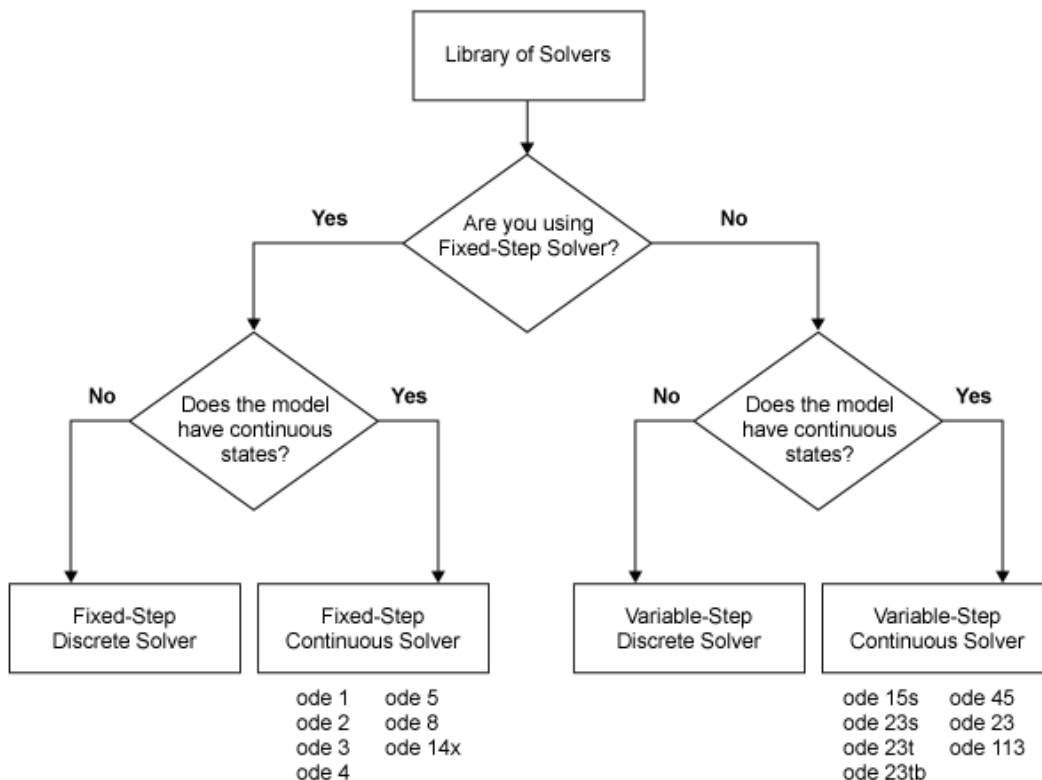
Simulink求解器

- 详细配置步骤见<Readme.pdf>



连续动态系统的状态值随时间连续需变化，而simulink通过数值积分得到每个时间步长的状态值来模拟这种变化，而这些都是通过**求解器**来实现的。

	Continuous solver	Discrete solver
Variable - step	For simulating and developing most applications	For simulating and developing controllers, filters...
Fixed - step	For hardware-in-the-loop simulations, code generation...	For deploying controllers, filters...



Simulink

提供的求解器可大致按两个属性分类①步长是否可变，②是否连续。在选择求解器时，需要先选择的时分类是定步长求解器，还是可变步长求解器。

步长分类

- **定步长求解器**：顾名思义，固定步长求解器从仿真开始到仿真结束使用相同的步长大小，来解算模型。用户可以指定步长大小，也可以让求解器选择步长大小。一般情况下，减小步长，可以提高结果的准确性，但是会增加工作量，系统仿真所需的时间。
- **可变步长求解器**：步长在不同采样点计算时，可能是变化的，步长具体增大还是减小，取决于模型的变化速度，当模型状态变化缓慢时，求解器将增加步长大小以避免执行不必要的步长。

可变步长会增加每个步长的计算时间，但是可以减少步长总数。因此，对于具有过零、快速变化的状态以及其他需要额外计算的事件的模型，保证指定的准确度的同时，较短时间结束仿真。

选择完步长类型后，还要选择离散或者连续性。

两种求解器的服务对象分别是模型中的连续或者离散模块。

- **连续求解器**：用数值积分方法，根据模型在上一个时间的状态和状态导数，来计算模型在当前时间的连续状态。连续求解器依赖单个连续模块来计算模型在每个时间步的离散状态值。

- **离散求解器**：解算纯离散模块组成的模型。只计算模型的下一个仿真时间。执行这种离散计算时，依赖于模型中的每个模块来更新其各个离散状态。

在Simulink生成嵌入式代码时，一般使用的求解器都是定步长求解器，因为在ECU硬件实里面，算法程序都是固定周期运行的。

Simulink求解器的工作分为3步：计算出当前状态的输出，更新当前的状态决定当前到下1步的仿真步长。其作用是驱动静态的模型进行动态系统仿真。它相当于模型内部的发动机，驱动着模型随着仿真而更新模型状态。

求解顺序

当 Simulink 运行仿真时，它将首先确定模块输出更新的顺序。这称为排序执行顺序。

代数系统不包含连续状态。在该系统中，所有的模块都是直接馈通。这意味着模块输出取决于同一时间步长的模块输入。

一些 Simulink

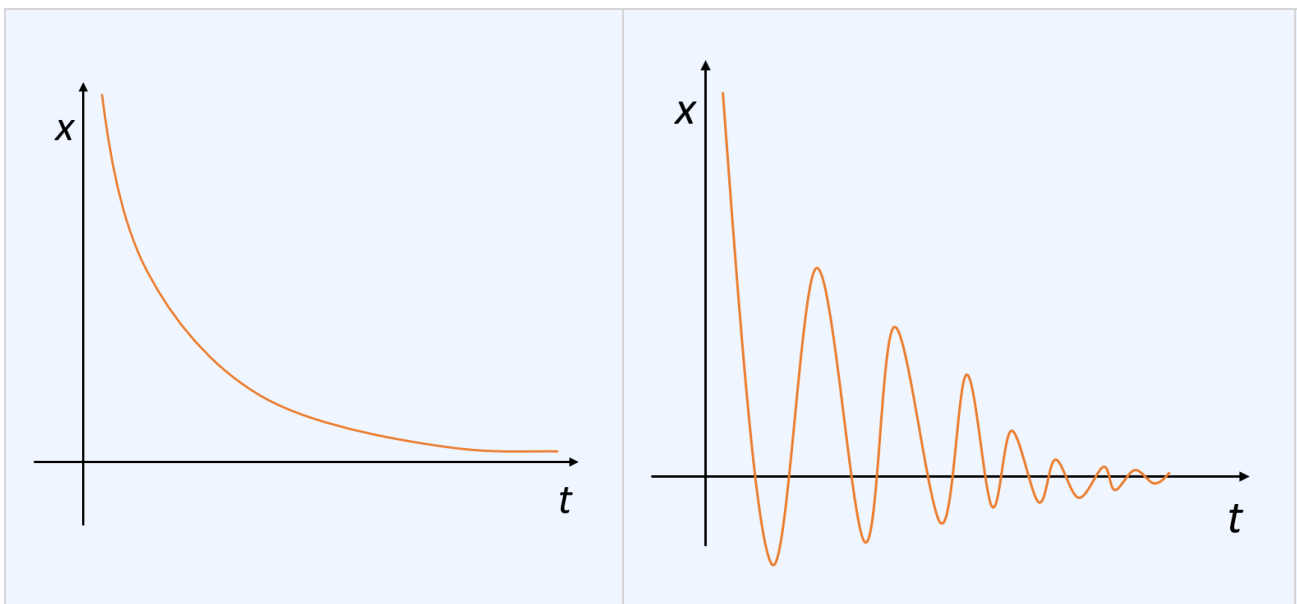
模块可以在不知道相同时间步长的输入值的情况下计算其输出。这是积分器模块的情况。它的输出是它的连续状态，并且它是通过对来自较早时间步长的输入进行积分来计算的（在模拟的第一时间步中，使用初始条件）。在每个时间步长结束时，在模块更新步骤中更新积分器的状态。

求解精度

积分器块通过在计算微分方程的解时设置可变步长求解器的步长来确保在给定误差容限内的模拟精度。例如，由于初始条件，质量-弹簧-阻尼器系统中质量的自然（非受迫）响应可计算为：

$$M \ddot{x} + D \cdot \dot{x} + Kx = 0$$

根据弹簧系数 K 或阻尼系数 d 的值，非受迫响应可以缓慢变化（过阻尼响应）或快速变化（振荡响应）。为了让 Simulink 准确计算这些响应，可变步长求解器将改变其步长以确保精度，同时保持良好的整体仿真速度。



缓慢变化的响应
(可变步长解算器使用较大的步长，
因为信号在每个时间步长不会发生显著变化)

快速变化的响应
(可变步长求解器需要小步长来精确求解此模拟)

嵌入式代码生成工具链

- 平台所需详细设置步骤见<Readme.pdf>
- 完整 workflow 参考[1]
- 更详细地了解 Embedded coder: [2.GenC++\ref](#)

2. 实验效果

通过 Simulink 编译 demo.slx 文件后，得到相关 C/C++ 文件。

3. 文件目录

例程目录: [\[安装目录\]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\0.ApiExps\2.UserDefinedC++\2.GenC++](#)

文件夹/ 文件名称	说明
..\Readme.pdf	自主生成 C/C++ 代码实验原理
Ref	Embedded coder 的使用指南及接口参考
demo.slx	平台提供的自定义生成 C/C++ 代码例子，用户可自行修改并编译，理解自动代码生成过程。

4. 运行环境

4.1 软件要求

Windows 10 及以上版本; RflySim 工具链; MATLAB 2017B 及以上。

①: 若使用 Pixhawk 6X 飞控，平台安装时的编译命令为: px4_fmuv6x_default，推荐 PX4 固件版本为: 1.12.3。其他配套飞控及编译命令请见: <https://rflysim.com/doc/zh/1/Hardware.html>

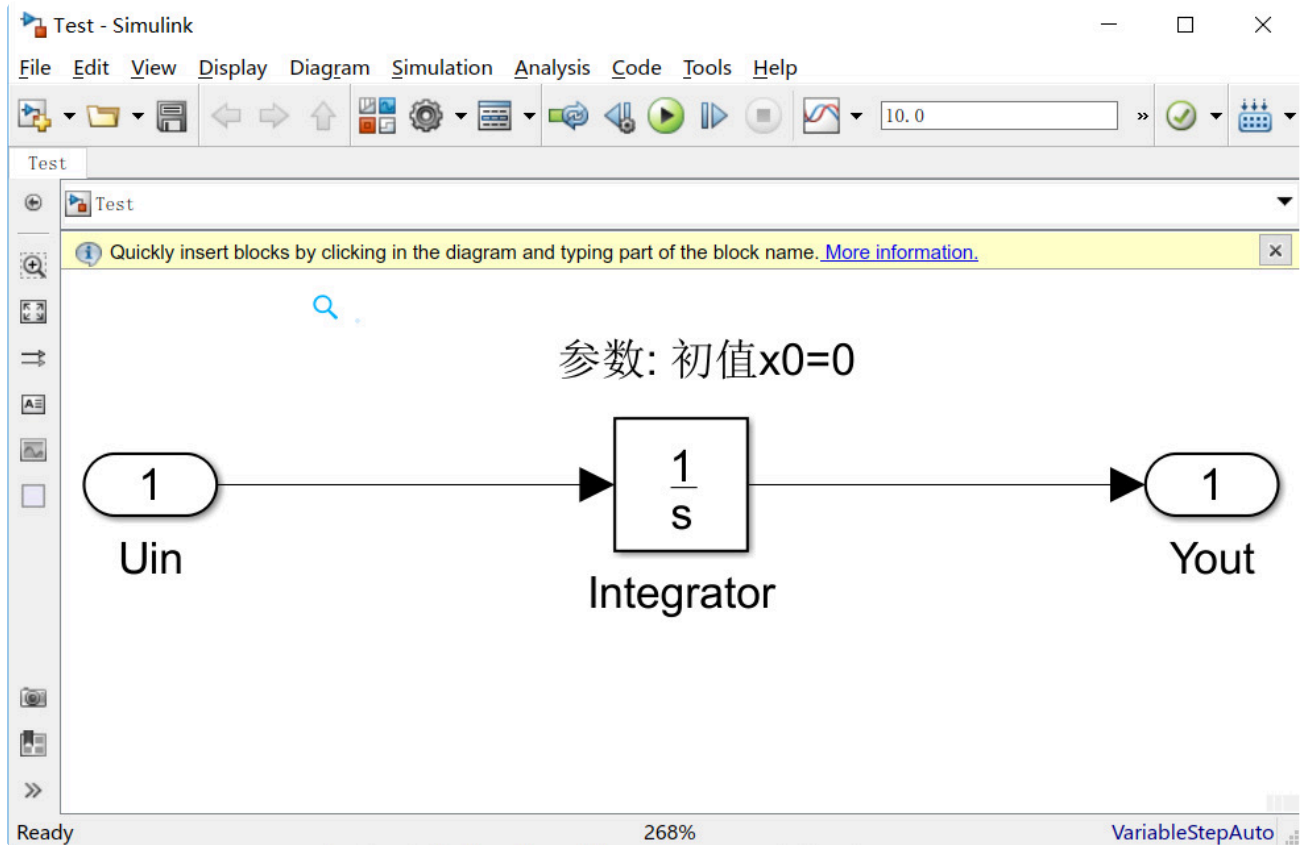
4.2 硬件要求

笔记本/台式电脑① 1台; \\台; \\台。

5. 实验步骤

Step1: 搭建Simulink模型

搭建如下图所示Simulink模型，输入命名为Uin，输出命名为Yout，积分的初值定义为X0，上述变量的名字对应了生成C++代码的变量名。



Step2: 设置数据类型与维度

双击Uin图标，进入参数设置页面。进入Signal Attributes页面，设置数据类型“Data Type”为“double”，设置数据维度“Portdimensions”为“1”，这样我们就定义了，代码生成后输入接口的数据格式。同理设置“Uout”输出接口。

ulink

Diagram Simulation Analysis Code Tools Help

Block Parameters: Uin

Import

Provide an input port for a subsystem or mode
For Triggered Subsystems, 'Latch input by del
produces the value of the subsystem input at
For Function-Call Subsystems, turning 'On' th
signals of function-call subsystem outputs' p
this subsystem from changing during its execu
The other parameters can be used to explicitl
attributes.

Main **Signal Attributes**

Output function call

Minimum: Maximum:

Data type: **double**

Lock output data type setting against chang

Unit (e.g., m, m/s², N*m):

inherit

Port dimensions (-1 for inherited):

1

Variable-size signal: **Inherit**

Sample time (-1 for inherited):

-1

Step3: 参数设置

双击积分模块，进入参数设置页面。设置一个带名字的参数“X0”。然后打开Simulink-菜单栏-FileModel-Property-ModelProperty页面。在Callbacks-InitFcn标签页加入初始化脚本“X0=0”，点击Simulink运行按钮，看能否正确运行。

Integrator

Continuous-time integration of the input signal.

Parameters

External reset: none

Initial condition source: internal

Initial condition: X0

Limit output

Wrap state

Show saturation port

Show state port

Absolute tolerance: auto

Ignore limit and reset when linearizing

Enable zero-crossing detection

State Name: (e.g., 'position')

' '

CodeGenExample - Simulink

File Edit View Display Diagram Simulation Analysis Code Tools

- New
- Open... Ctrl+O
- Open Recent
- Close
- Save Ctrl+S
- Save As...
- Simulink Project
- Export Model to
- Reports
- Model Properties
- Print
- Simulink Preferences
- Stateflow Preferences

1

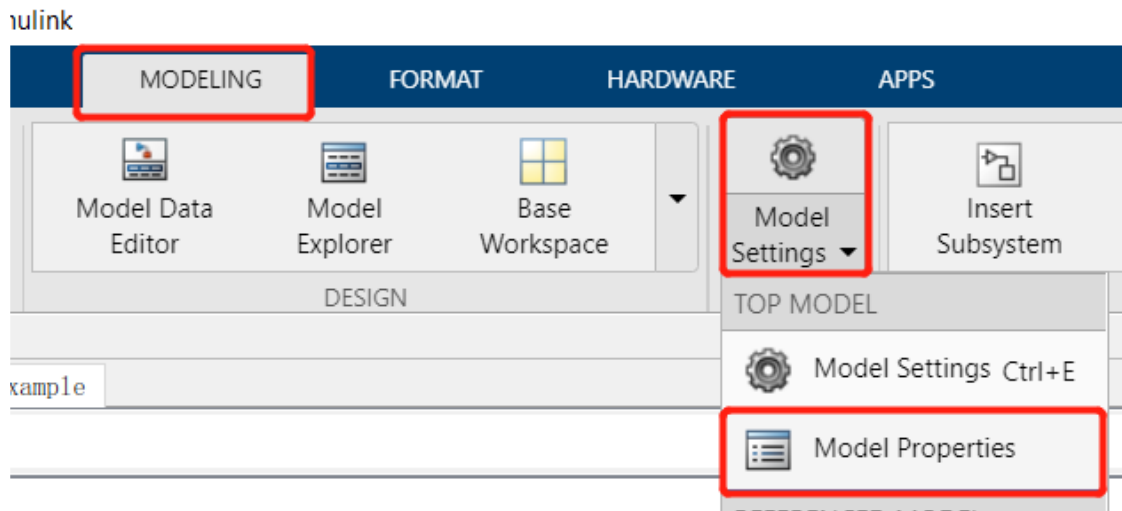
1/s

Model Properties

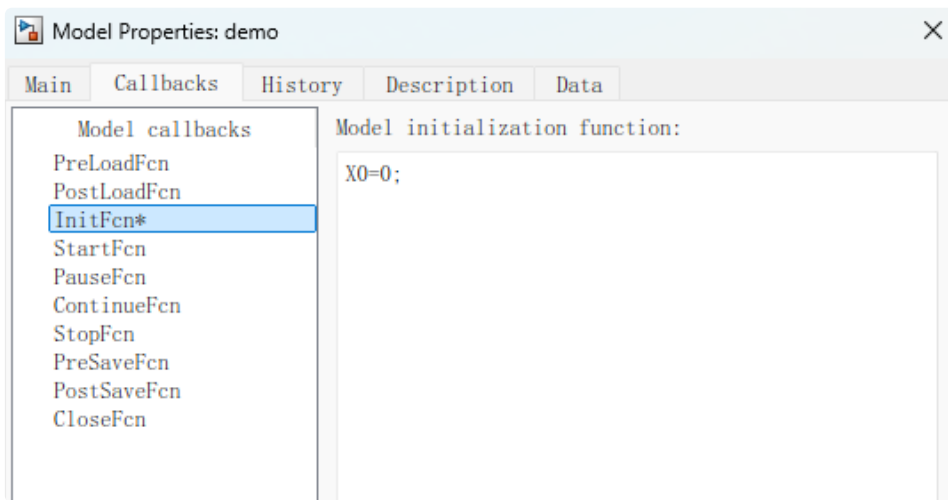
Link to Data Dictionary...

Chart Properties

State Machine Properties

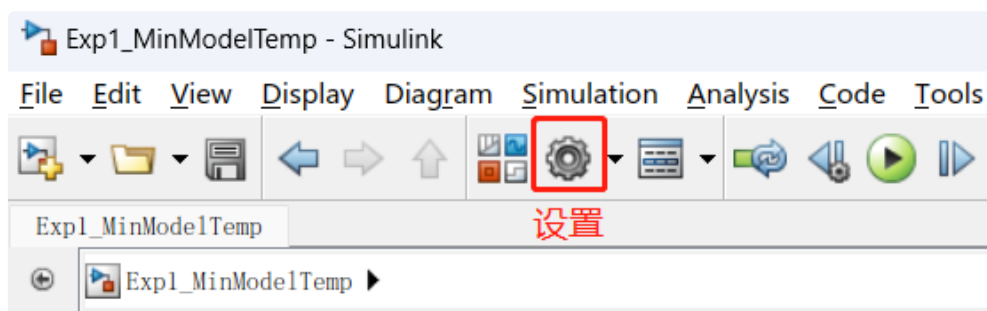


Simulink “设置” 按钮（左：MATLAB 2017b~2019b，右：MATLAB 2019b及更高版本）



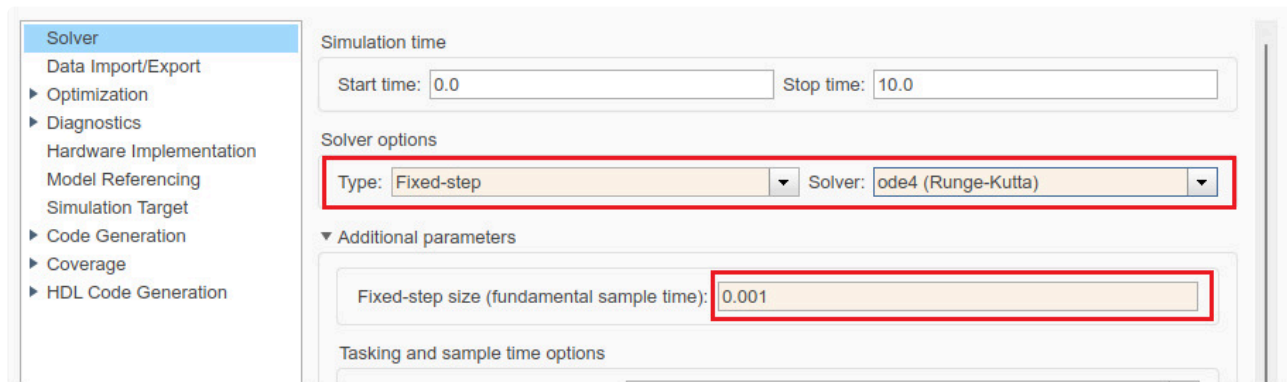
Step4: 设置求解器

打开Simulink “设置” 页面，设置仿真为定步（Fixed-step）长，四阶龙格库塔法（ode4 Runge-Kutta）求解器，步长为0.001s（也可以根据需求设置成其他）。



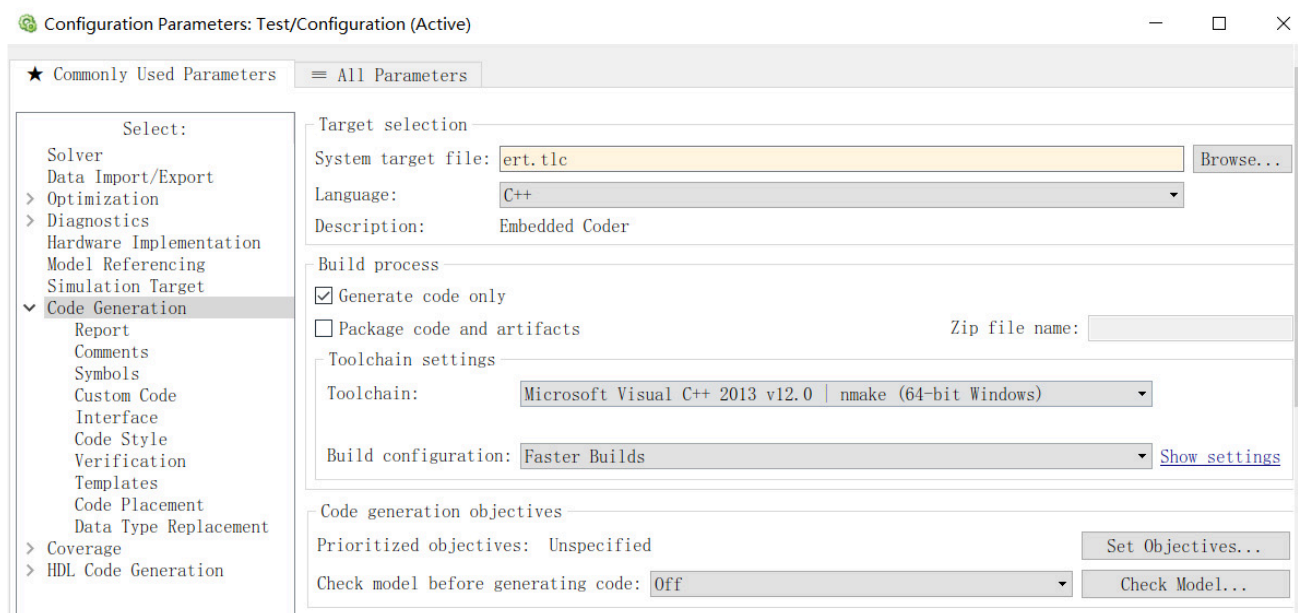


Simulink “设置” 按钮（左：MATLAB 2017b~2019b，右：MATLAB 2019b及更高版本）



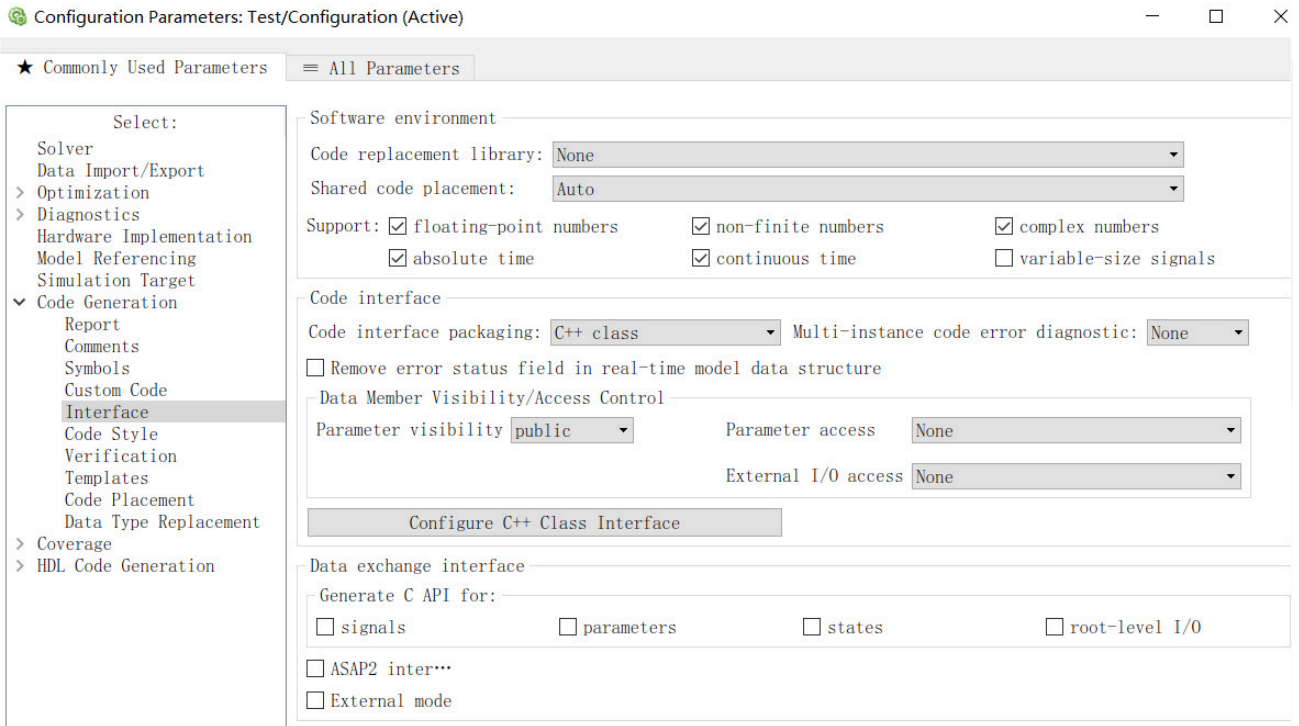
Step5: 代码生成方式

代码生成方式选择ert.tlc，可用于windows，Linux和各类嵌入式平台；语言选择C++，便于通过继承方式调用生成代码；工具选择Visual Studio C++。



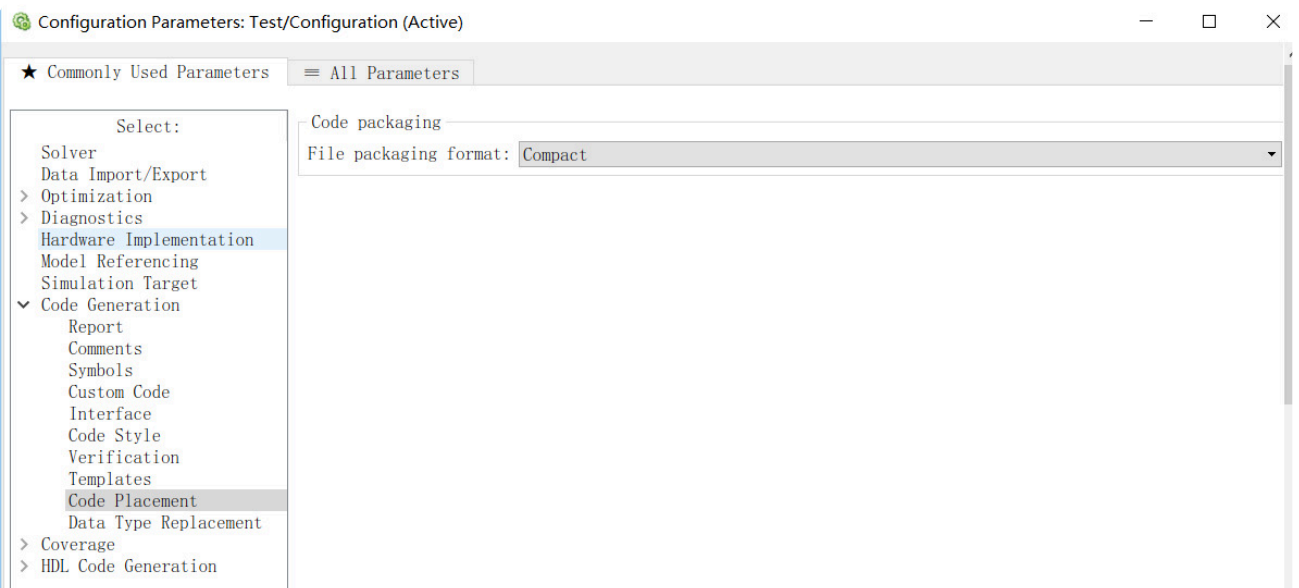
Step6: 接口设置

因为包含连续模块（积分模块）因此需要勾选continuous time，不然编译报错。此外将参数可见性Parameter visibility设为public，是的参数结构体为共有变量，便于访问。



Step7: 文件打包类型

在Code Placement页设置文件打包类型为compact，尽量避免生成多余文件，使得代码的可读性最强。

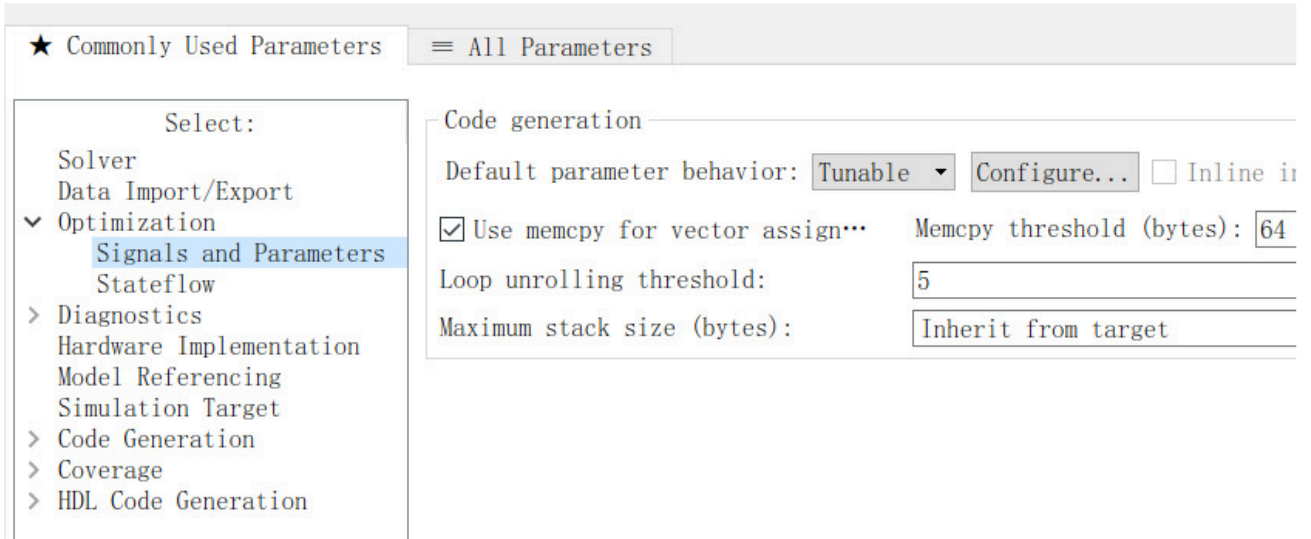


Step8: 默认参数行为

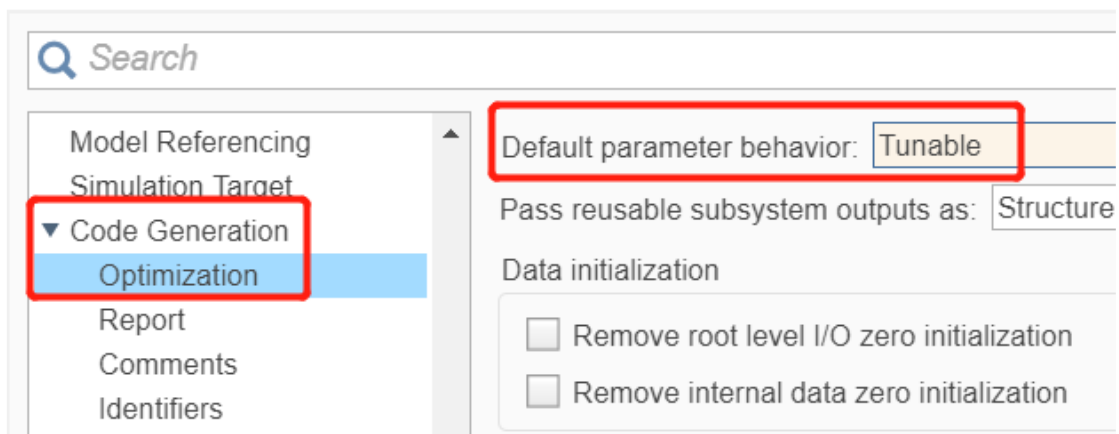
设置参数为Tunable是的我们可以运行时修改参数。注：

inline形式更省内存，但是不便于访问参数，不便于实现参数实时修改或者模型故障注入。

Configuration Parameters: Test/Configuration (Active)



Configuration Parameters: px4demo_ADC_example/Configuration (Active)

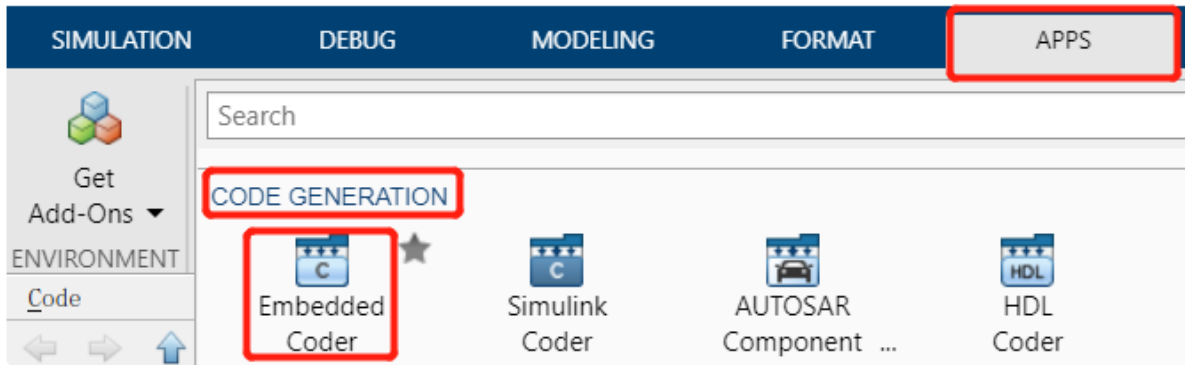


Step9: 编译

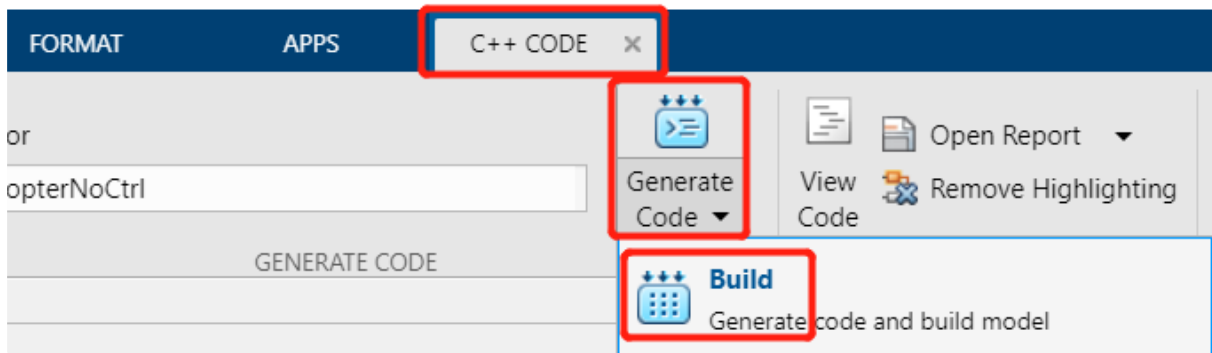
点击Simulink的编译按钮，即可生成C/C++代码，方法如下。对于MATLAB 2019a及之前版本，工具栏样式见下图，直接点击它的编译按钮“Build”即可。



对于对于2019b及之后版本，如右图所示，点击APPS - CODE GENERATION - Embedded Coder才能弹出代码生成工具栏，在其中如下图所示点击“C++CODE” - “Generate Code” - “Build”按钮就能编译生成代码。



k

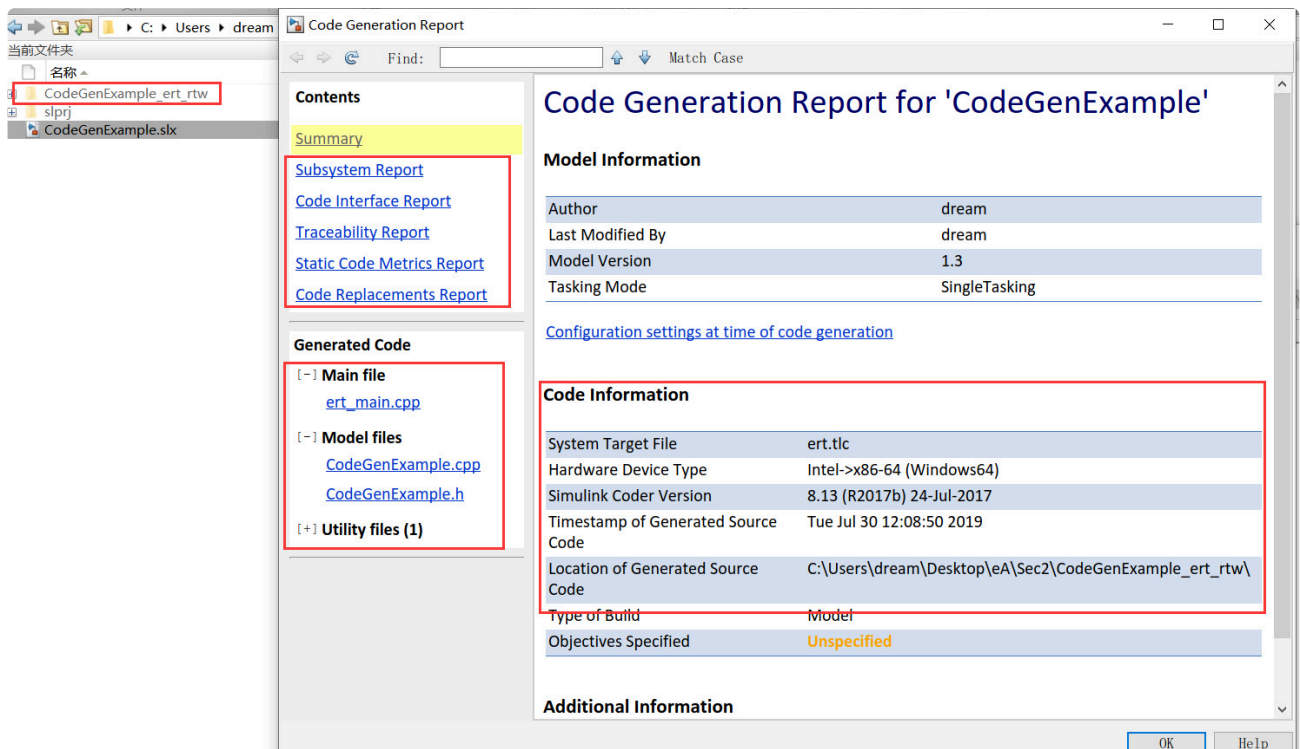


Step10: 查看生成代码

生成三个文件，分别是：“ert_main.cpp”

该文件包含一个调用生成代码的例子。“****.cpp” 和 “****.h”

这两个文件包含了刚才的Simulink项目生成的一个C++类。



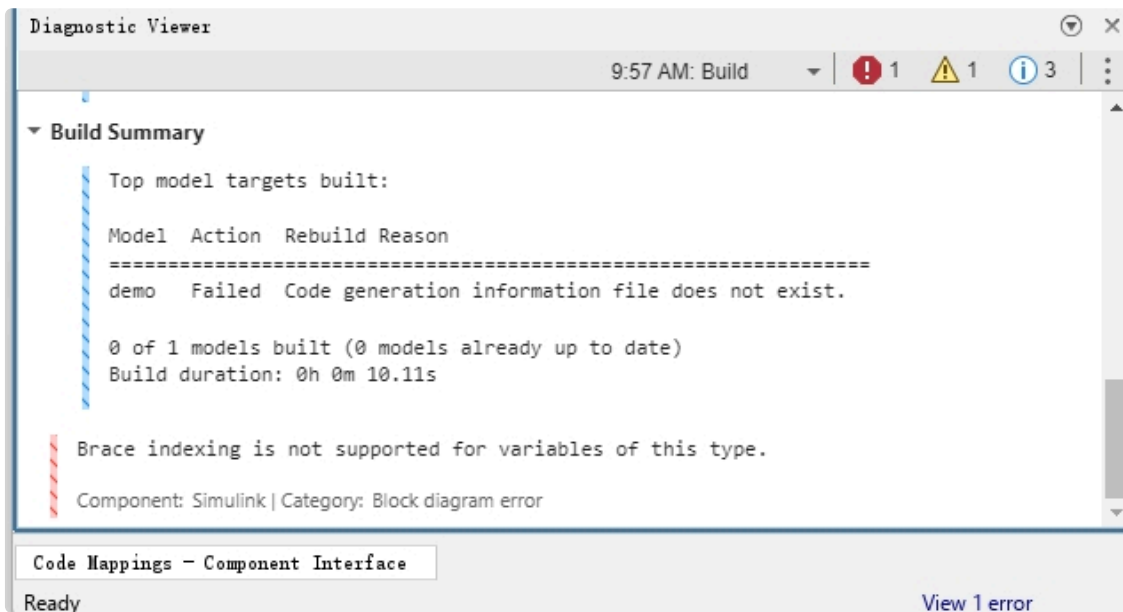
6. 参考资料

1. MATLAB官网Embedded

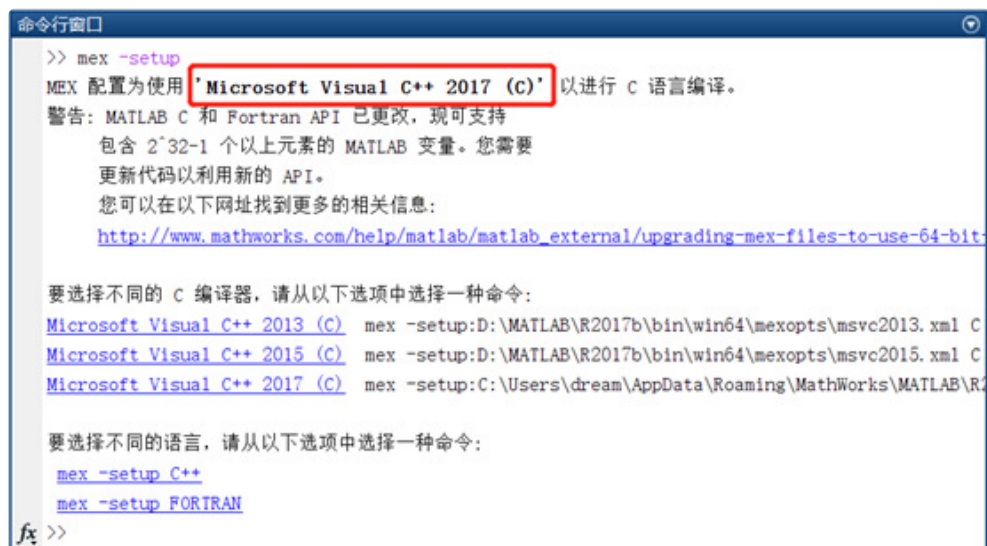
Coder简介: <https://ww2.mathworks.cn/products/embedded-coder.html>

7. 常见问题

Q1: 未正确安装visual studio c++编译环境并配置mex, 导致Simulink文件编译失败



A1: 首先将低于当前MATLAB版本的Visual Studio C++编译环境安装到VS默认安装目录, 然后在MATLAB的命令行窗口中输入指令“mex -setup”, 一般来说会自动识别并安装上支持的编译器, 命令行显示“MEX 配置使用 ‘Microsoft Visual C++ 2017’ 以进行编译”的字样说明安装正确。详细环境配置参考” [RflySim平台安装目录]\RflySimAPIs\4.RflySimModel\API.pdf “中的环境配置



Q2: 编译报错, 无法加载库文件



A2: 这可能是由于安装平台时PX4PSP工具箱未更新到最新版, 更新RflySim安装包后按照如下配置重新安装平台即可

