

多任务、并发执行及 OpenMP 技术在 TE1400 中的实现

作者: 狄海江
职务: 华北区 资深技术工程师
公司: BECKHOFF 中国
邮箱: h.di@beckhoff.com.cn
日期: 2024-06-28

摘要:

TE1400 功能升级到 2.x.xxxx.x 后增加了许多功能, 其中一个很重要的扩展就是支持单个 Simulink 模型的多任务、多核并发执行以及共享内存并发执行 (OpenMP) 技术。本文档详细介绍了实现上述三个功能的具体操作步骤, 对于 Simulink 中复杂模型的执行可有效地利用控制器多核优势提高效率。

附件:

序号	文件名	备注

历史版本:

2022-12	狄海江	TE1400 TwinCAT Target for Simulink(V2.3)使用教程 (详细版)
---------	-----	--

免责声明:

我们已对本文档描述的内容做测试。但是差错在所难免, 无法保证绝对正确并完全满足您的使用需求。本文档的内容可能随时更新, 如有改动, 恕不事先通知, 也欢迎您提出改进建议。

参考信息:

目 录

1. 软硬件版本	3
1.1. 倍福 Beckhoff.....	3
1.1.1. 控制器硬件.....	3
1.1.2. 控制软件.....	3
2. 准备工作	3
2.1. 需求背景	3
2.2. 开发电脑相关环境设置.....	3
3. Multitask 功能实现的操作步骤	3
3.1. Simulink 模型的开发及参数设置.....	3
3.2. TE1400 相关参数设置.....	6
4. 多核并发执行 Concurrent Execution.....	8
4.1. Simulink 模型的创建.....	8
4.2. 设置 TE1400 的相关参数.....	12
5. 支持使用 OpenMP 封装的代码通过 Job Task 并发执行	14
5.1. 创建基于 OpenMP 技术的 Simulink 模型.....	14
5.2. TE1400 参数设置.....	15
6. 总结	17

1. 软硬件版本

1.1. 倍福 Beckhoff

1.1.1. 控制器硬件

公司用 Dell 笔记本电脑 Latitude 15 5521。

1.1.2. 控制软件

TwinCAT 3.1 Build 4024.55 版本。

MATLAB 2022a。

TE1400 Beckhoff TwinCAT tools for Matlab and Simulink V2.8.2.0。

2. 准备工作

2.1. 需求背景

在使用 Simulink 开发控制模型时，如果模型很大，通常情况下会遇到不同部分的代码执行的周期不一样，我们通常的做法是将不同执行周期的代码分别建立在不同的 Simulink 模型中，然后分别封装，分配不同的任务周期执行，如果模型之间有数据交互，可以在各个模型中定义对应的输入输出接口，通过 Link 的方式实现数据交互。

我们可否在同一个 Simulink 模型中对不同代码分配不同任务周期并执行呢？例如，其中一部分代码的执行周期希望设定为 2ms，而另一部分代码则希望 3ms 刷新一次。

进一步，将不同任务调用的代码分配给不同的 CPU 核是否可行呢？

TE1400 软件包升级到 2.x 以上版本后上述功能的实现成为可能。

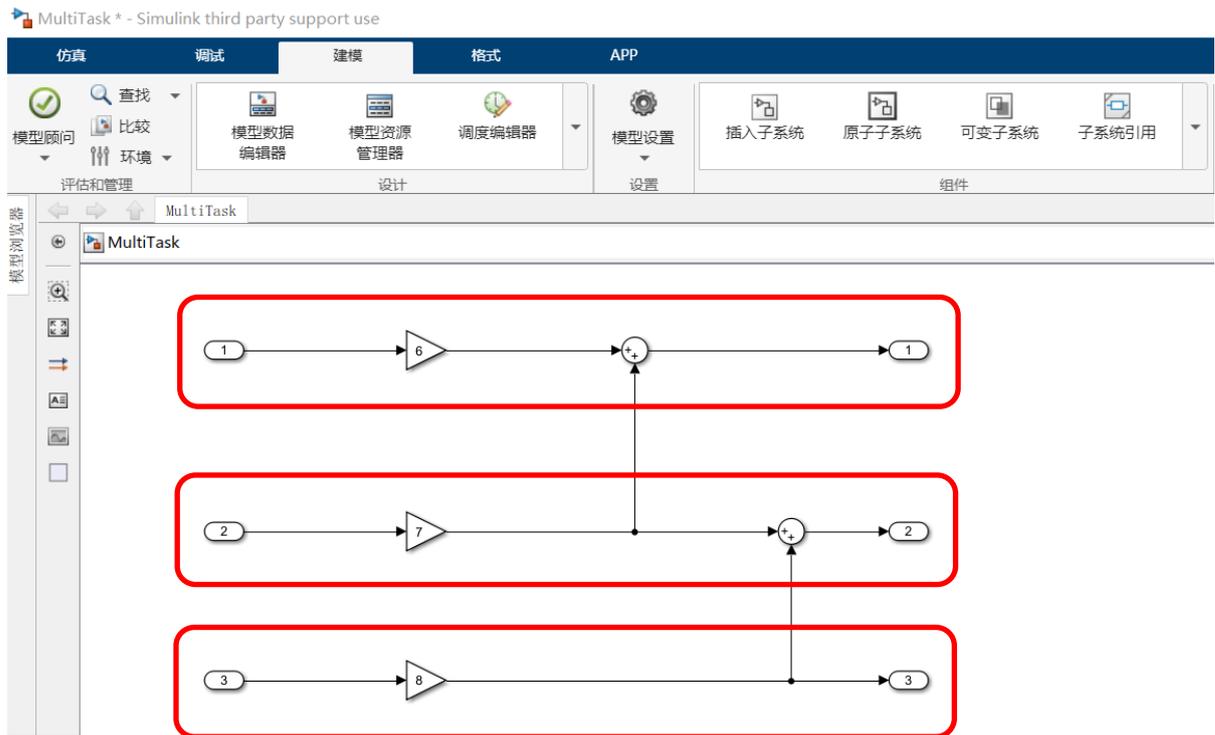
2.2. 开发电脑相关环境设置

本文档中的相关操作是在安装了 MATLAB 软件和 TwinCAT3 软件的开发电脑上进行的，其中相关的软件安装注意事项以及配套的环境设置请参考本人之前发表在虚拟学院上的手册《TE1400 TwinCAT Target for Simulink(V2.3)使用教程（详细版）》。

3. Multitask 功能实现的操作步骤

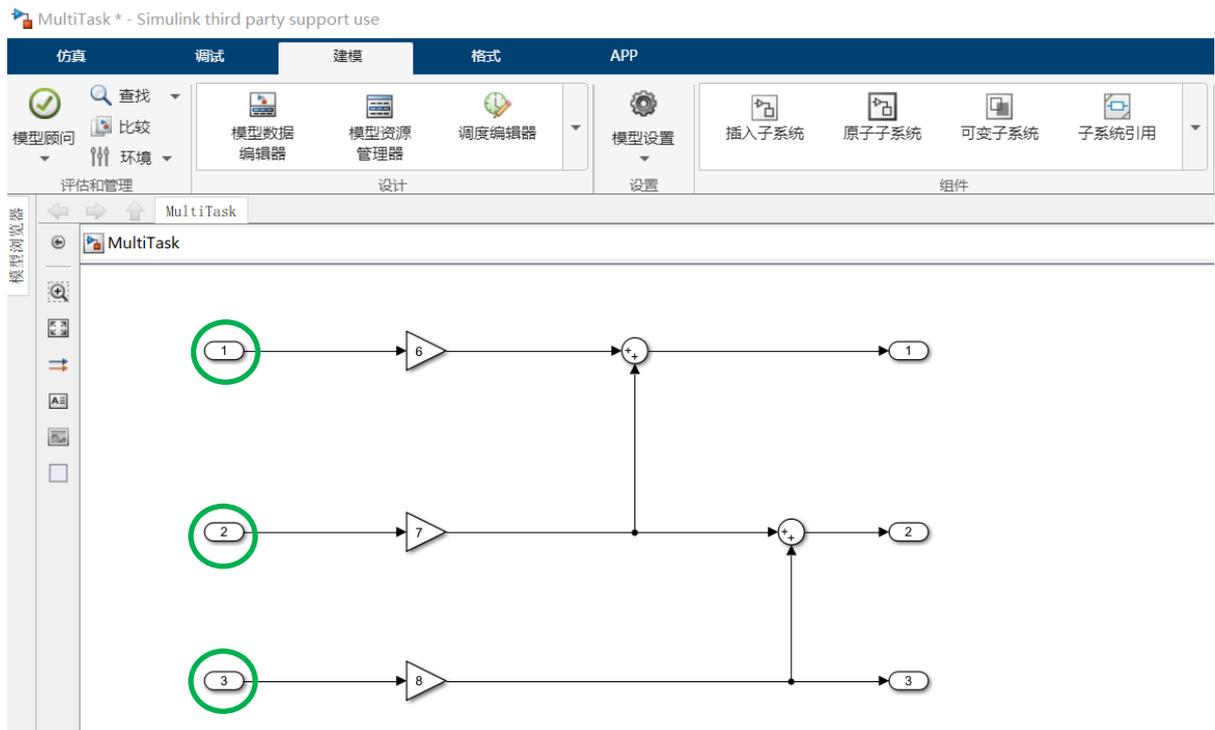
3.1. Simulink 模型的开发及参数设置

首先，在 Simulink 中创建一个工程，参考样例程序开发如下代码：



图一：创建一个 Simulink 模型

我们希望通过参数设置，将这个模型中的代码分成三部分，其中第一部分代码的刷新周期为 100ms，第二部分代码的刷新周期为 200ms，第三部分代码的刷新周期为 300ms。具体操作如下：鼠标左键分别双击下图中绿色圆圈框出的控件，在属性中设置采样周期。

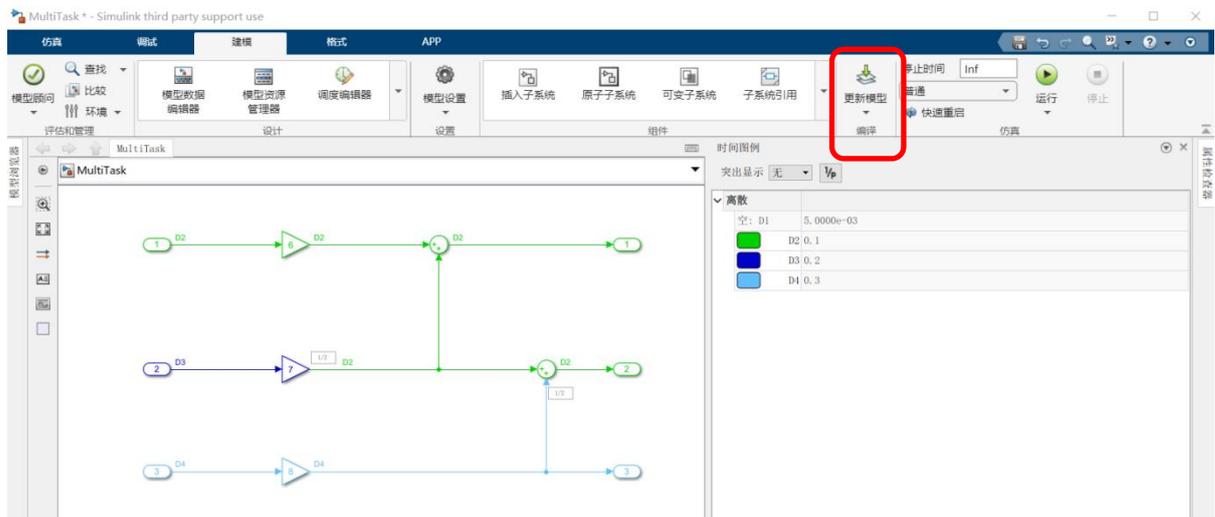


图二：分别设置采样周期



图三：采样周期设置

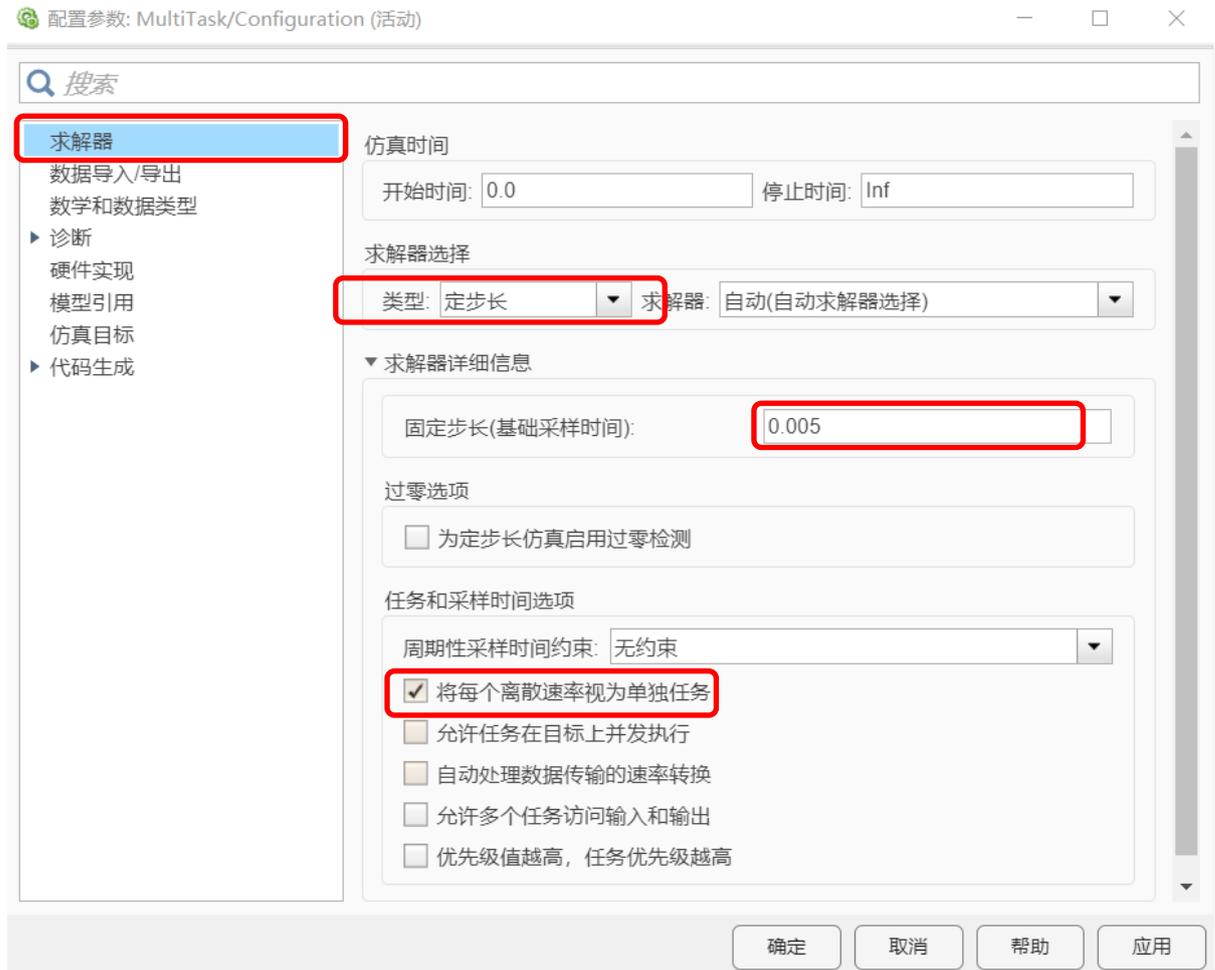
通过图二中三个输入信号源的采样周期设置，可以将 Simulink 中的代码分割成不同刷新周期的三部分，在 Simulink 模型空白处点击鼠标右键选择“采样时间显示”，勾选“全部”并选择“时间图例”即可如下图所示：



图四：分割后的时间图例显示

3.2. TE1400 相关参数设置

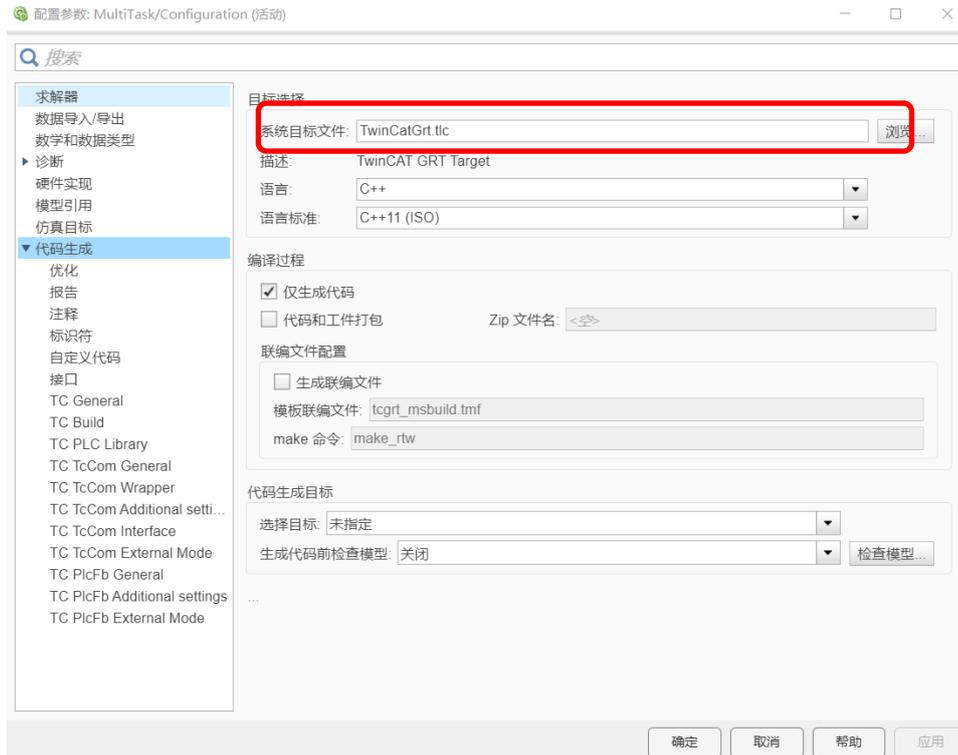
打开模型参数设置窗口，选择“求解器”。



图五：MultiTask 参数设置

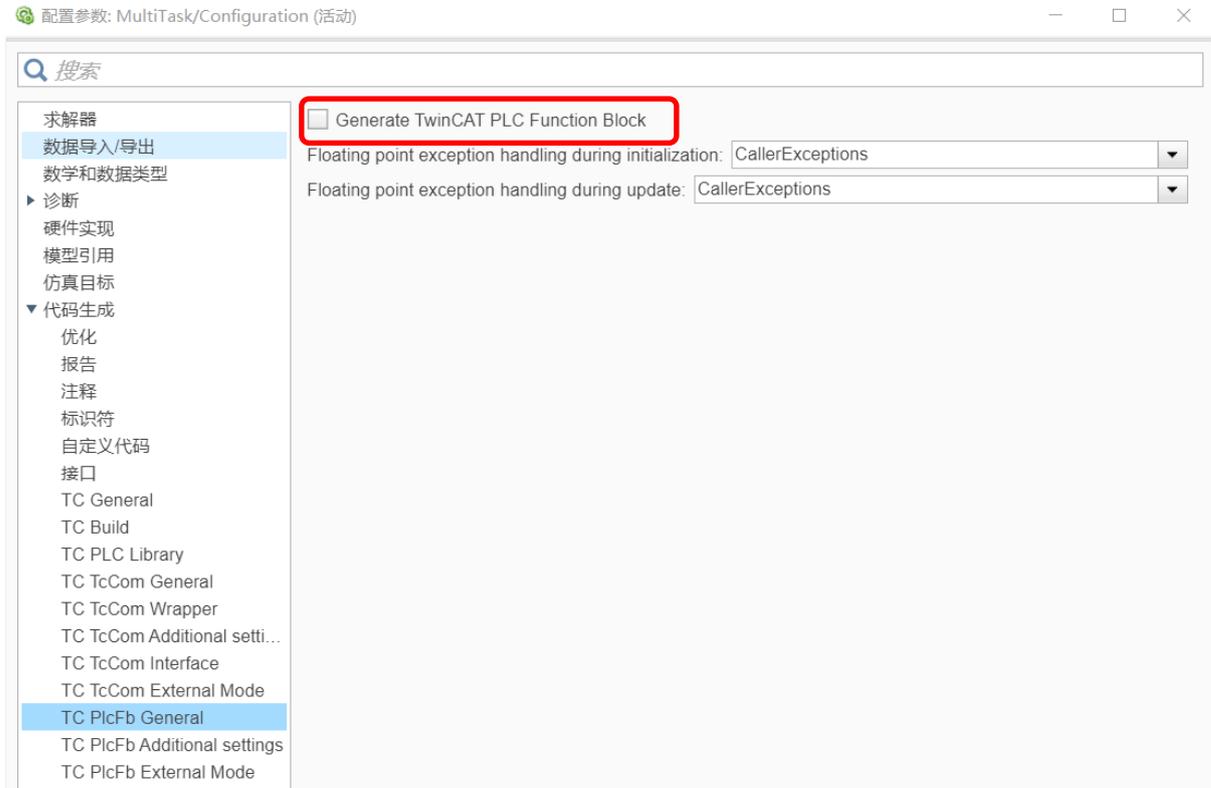
在这一步设置中“将每个离散速率视为单独任务”需要勾选，这一项就是支持 Multitask 功能的。

在“代码生成”项目中选择“TwinCATGrt.tlc”。



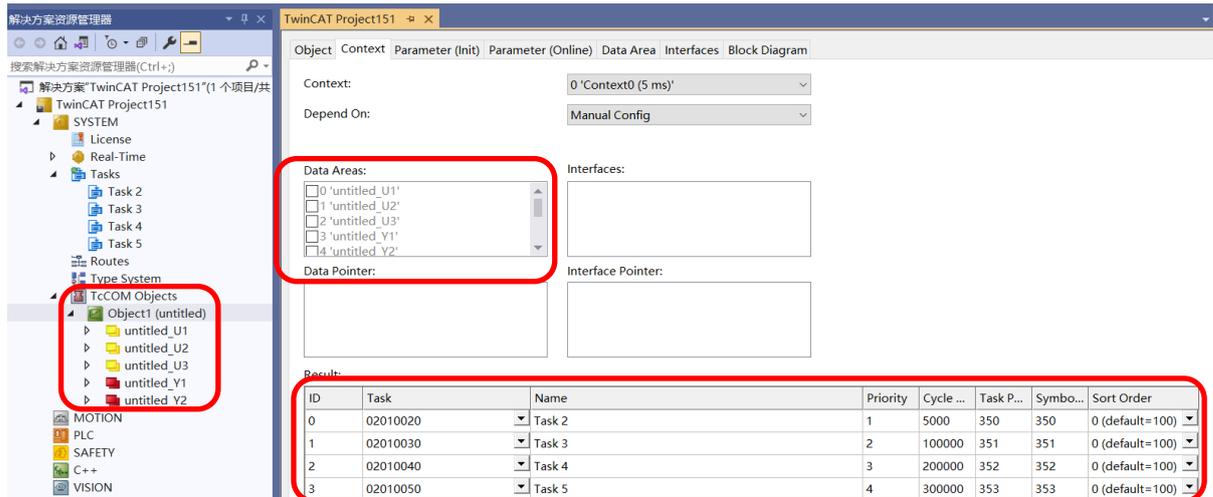
图六：tlc 目标封装方式选择

需要注意的是由于 Multitask 功能不支持生成 PLC 项目中使用的功能块，所以需要将下图中默认选项去除。



图七：去除勾选项

最后将 Simulink 模型封装为 TcCOM 组件，打开一个 TwinCAT 工程，将该组件导入到工程中，如下图所示：



图八：TwinCAT 中多任务设置

需要注意的是 Multitask 功能封装的模型，只支持多任务，不能支持多核，上图中创建的任务只能在一个 CPU 核上运行（如果分配到不同的 CPU，则激活时会报错）。假设我们希望在多核上运行该模型，则需要参考下面多核并发执行 Concurrent Execution 的相关操作。

通过设置输入信号的采样周期，可以将一个大型 Simulink 模型分割成若干小型 Simulink 模型，封装成 TcCOM 组件后，各个小型 Simulink 模型可分配给不同的任务，按照各自任务周期执行，这样就可以把一个复杂的系统模块化分割，即使各个模块任务周期不同，也可以在一个大的模型中通过 Multitask 的方式实现。MultiTask 方式中，多任务的执行是在一个 CPU 核上的，任务的执行顺序受到任务优先级的影响。如果了解具体任务执行的顺序以及细节，请参考 TE1400 用户手册第四章第七节相关内容。可参考：<https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te1400.html>?

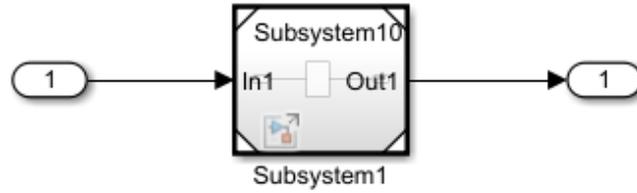
4. 多核并发执行 Concurrent Execution

在 TE1400 封装模型的过程中，并发多核执行的设置实际上包含了 Multitask 功能，也即多核并发执行肯定是创建了多任务的情况下实现的。

4.1. Simulink 模型的创建

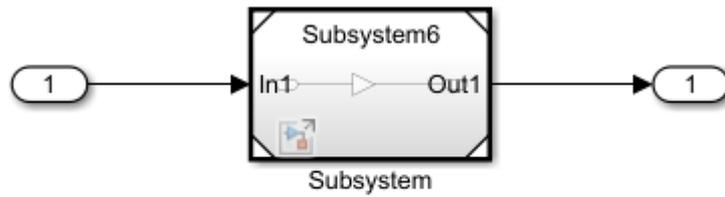
按照不同的采样周期封装两个不同的子系统，如下所示：

Subsystem0 ▶



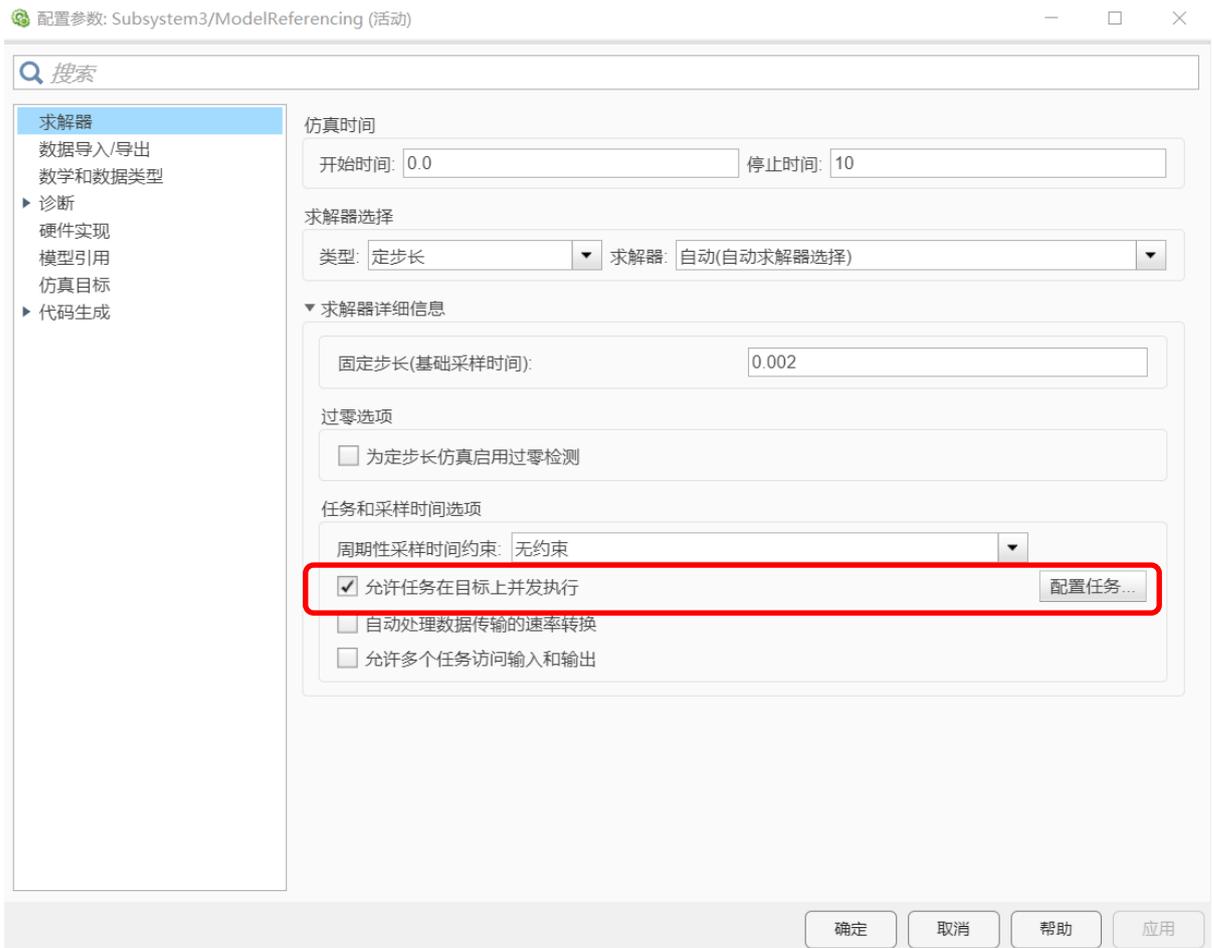
图九：设置采样周期为 0.001s 的子系统模型

Subsystem3 ▶

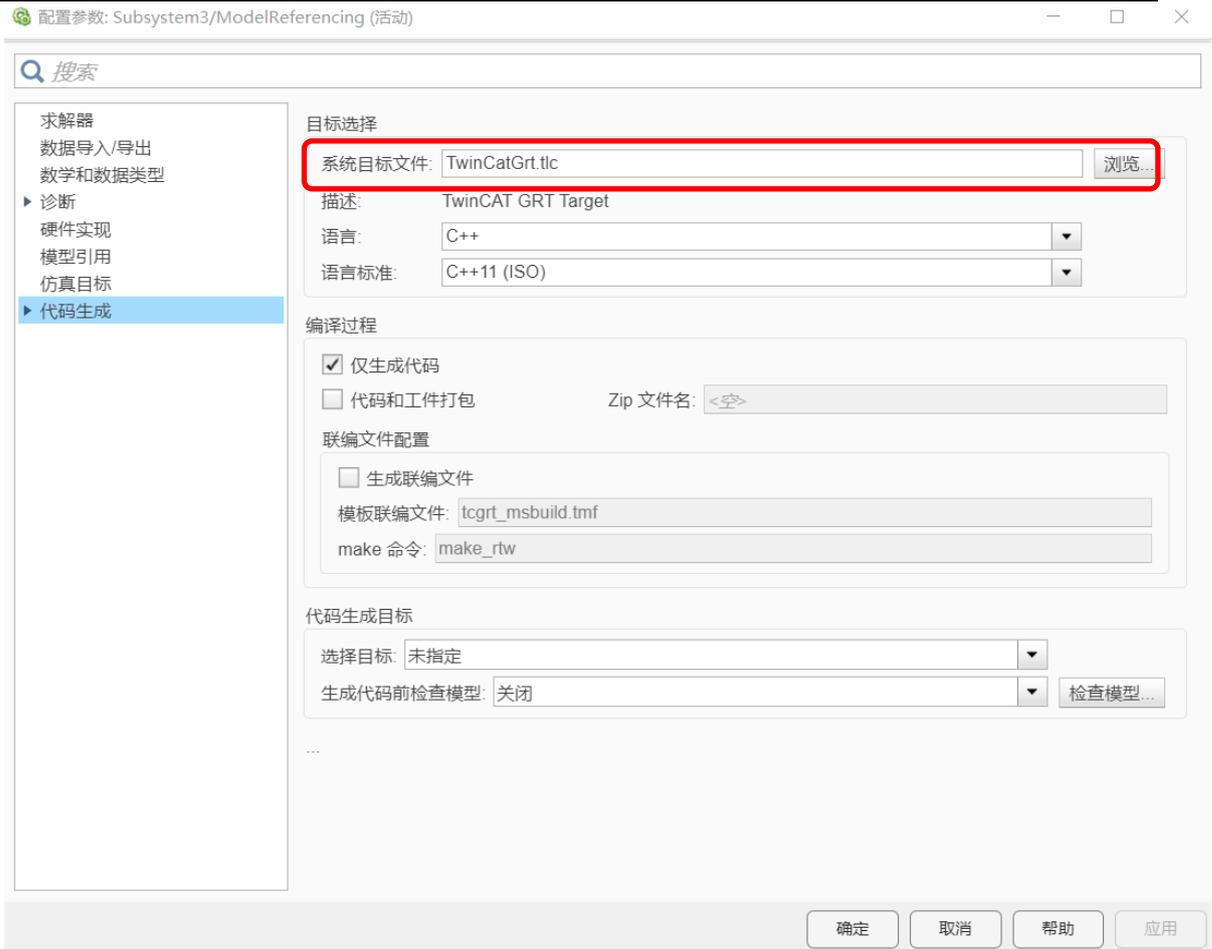


图十：设置采样周期为 0.002s 的子系统模型

以上两个模型的 TE1400 参数设置如下：

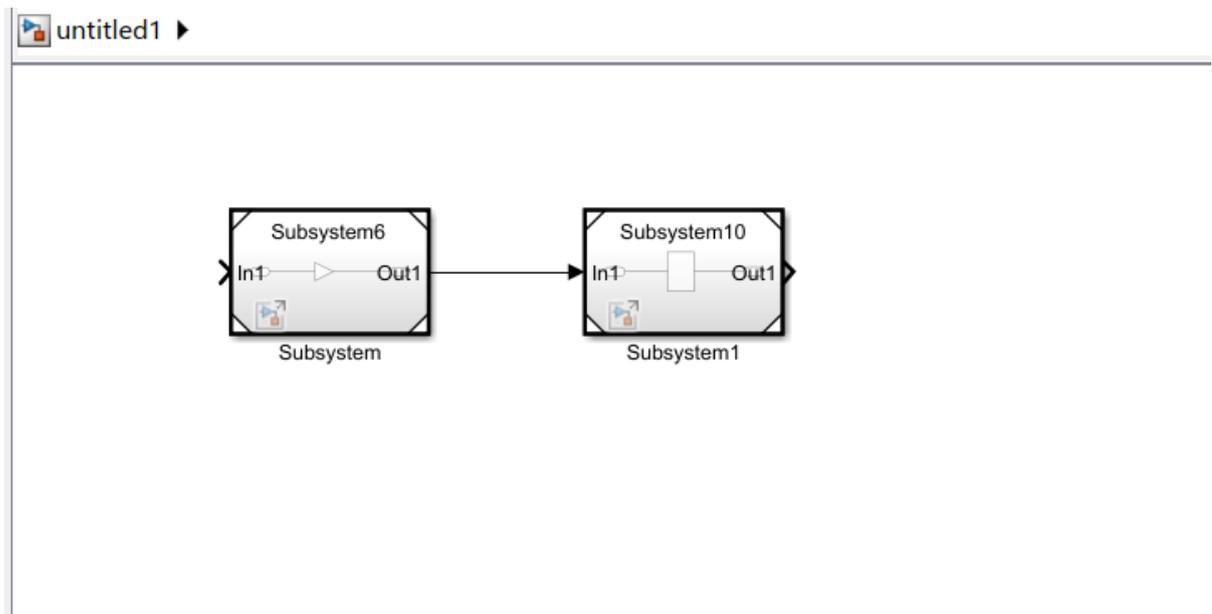


图十一：勾选允许任务在目标上并发执行选项



图十二：代码生成选择

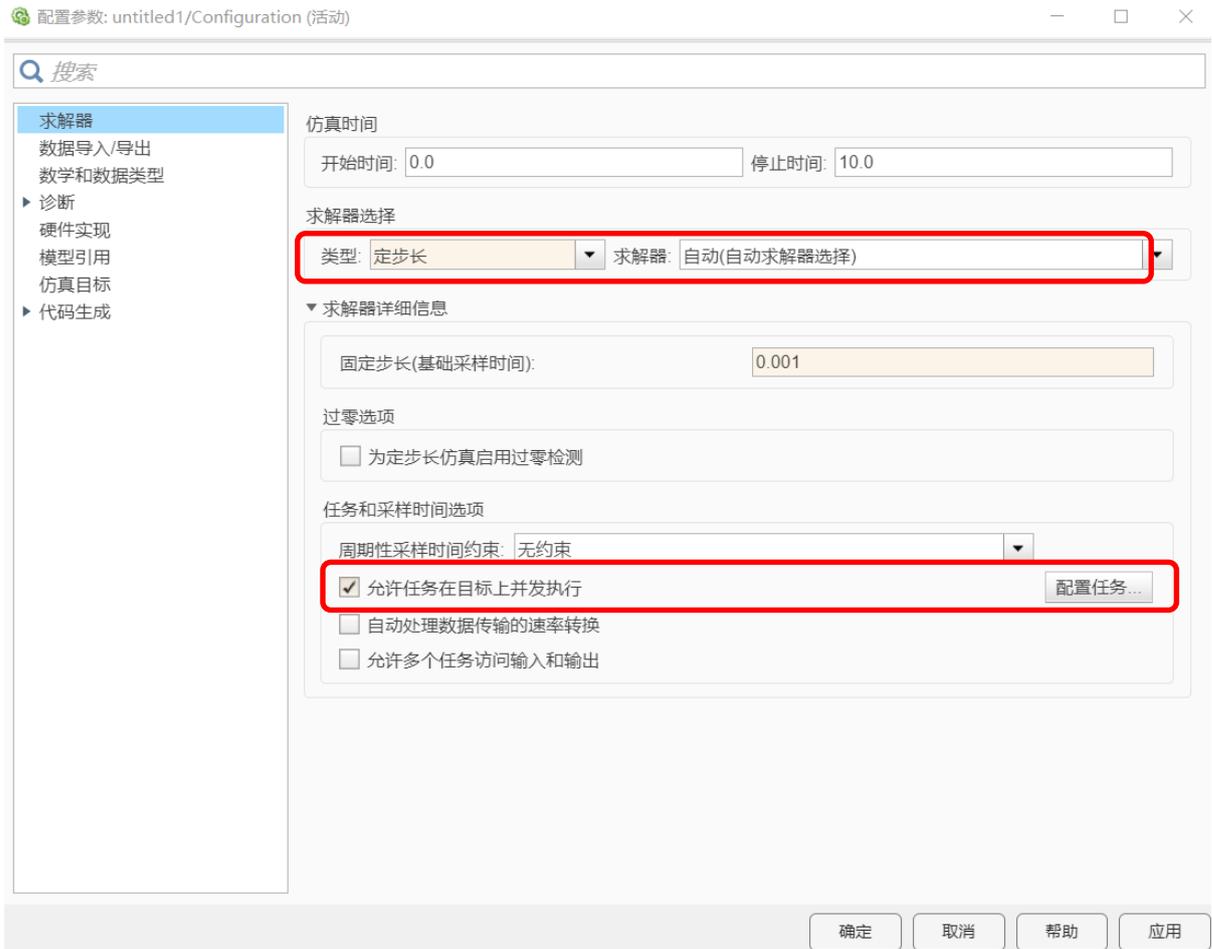
每一个子系统模型安装以上设置完成后，就可以将两个子系统拷贝到一个新的 Simulink 工程中。



图十三：创建新的 Simulink 模型

这样一个新的 Simulink 模型就开发完成了。

4.2. 设置 TE1400 的相关参数



配置参数: untitled1/Configuration (活动)

搜索

- 求解器
- 数据导入/导出
- 数学和数据类型
- ▶ 诊断
- 硬件实现
- 模型引用
- 仿真目标
- ▶ 代码生成

目标选择

系统目标文件:

描述: TwinCAT GRT Target

语言:

语言标准:

编译过程

仅生成代码

代码和工件打包 Zip 文件名:

联编文件配置

生成联编文件

模板联编文件:

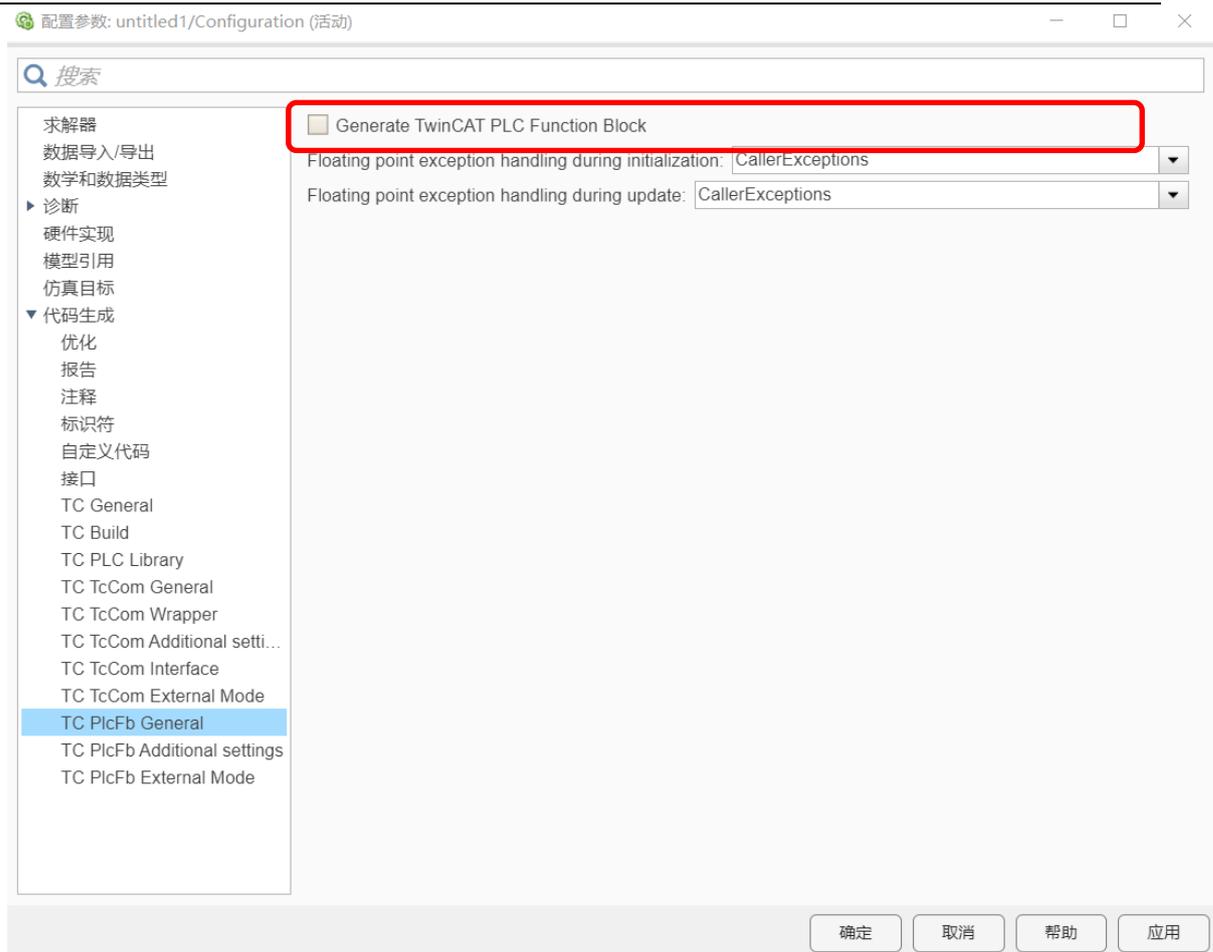
make 命令:

代码生成目标

选择目标:

生成代码前检查模型:

...



图十四：TE1400 相关参数

将 Simulink 部分代码封装为子模型，然后再在一个新的 Simulink 工程中调用。如果采用这种方式开发 Simulink 代码，需要注意，封装子模型时也需要对模型转换参数进行设置，这部分设置与 TE1400 封装 TcCOM 组件时的参数设置要一致，如上各图中所示的设置步骤，这一点比较关键。

在这个功能中关键的一个设置参数是要勾选“允许任务在目标上并发执行”，同时由于该功能不支持生成 PLC 功能块，所以要将默认的“Generate TwinCAT PLC Function Block”勾选项去掉。

多核并发执行的功能主要是依托倍福多核架构的控制器，TwinCAT3 软件平台本身也是支持多核架构的，即：可以将不同任务分配给不同的 CPU 核。通过不同的任务调用不同代码，并将不同的代码通过任务分配给不同的 CPU 核，这样就可以最大限度地利用多核架构控制器的性能优势。通过设置不同子系统的采样周期，可以将一个大型 Simulink 模型分成若干小的子系统，每一个子系统可以按照各自的采样周期分配任务，区别于上一节中 MultiTask 功能（多个任务只能在一个 CPU 上执行），多核并发执行功能可以将这些任务分配给不同的 CPU 核，这样就可以实现代码的并行执行。如果想了解具体任务执行的顺序以及细节，请参考 TE1400 用户手册第四章第七节相关内容。手册下载地址为: <https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te1400.html>?

5. 支持使用 OpenMP 封装的代码通过 Job Task 并发执行

支持 OpenMP 技术意味着：Simulink 模型封装为 TcCOM 组件后，分布在不同内核上的多个 JobTask 可以并行地执行 OpenMP 代码生成的代码片段。

5.1. 创建基于 OpenMP 技术的 Simulink 模型

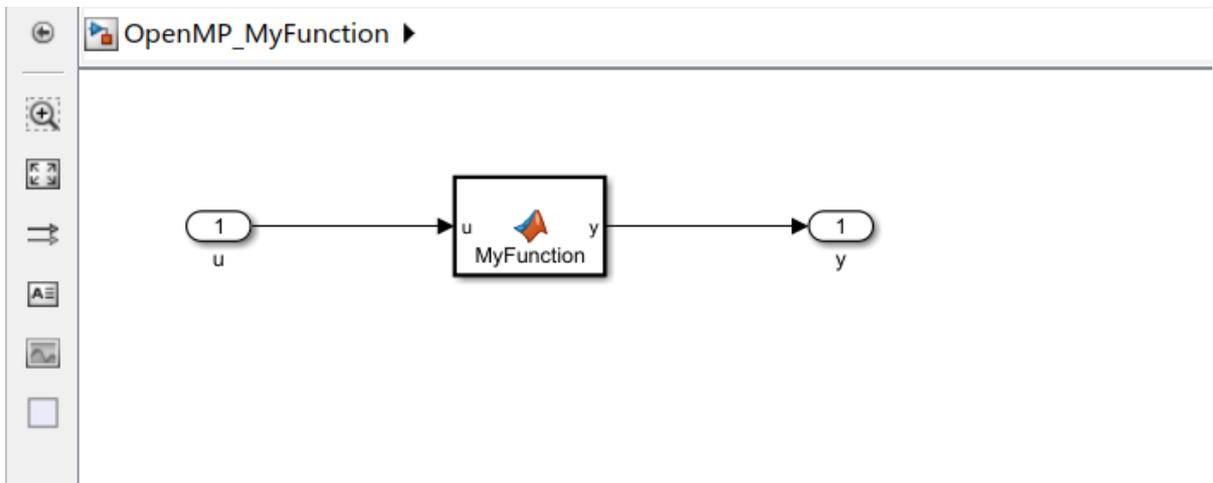
首先创建一个 m 函数文件，在这个 m 函数中，使用 Parfor 命令用于并行化 MATLAB 函数中

的 FOR 循环。在这种情况下，并行工作的数量限制为 4。

```
OpenMP_MyFunction ▶ MATLAB Function
1  function y = MyFunction(u) %#codegen
2
3  A = ones(20,50);
4  t = 42;
5
6  parfor (i = 1:10,4)
7      A(i,1) = A(i,1) + t;
8  end
9
10 y = A(1,4) + u;
11
```

图十五：使用 Parfor 指令并行化处理

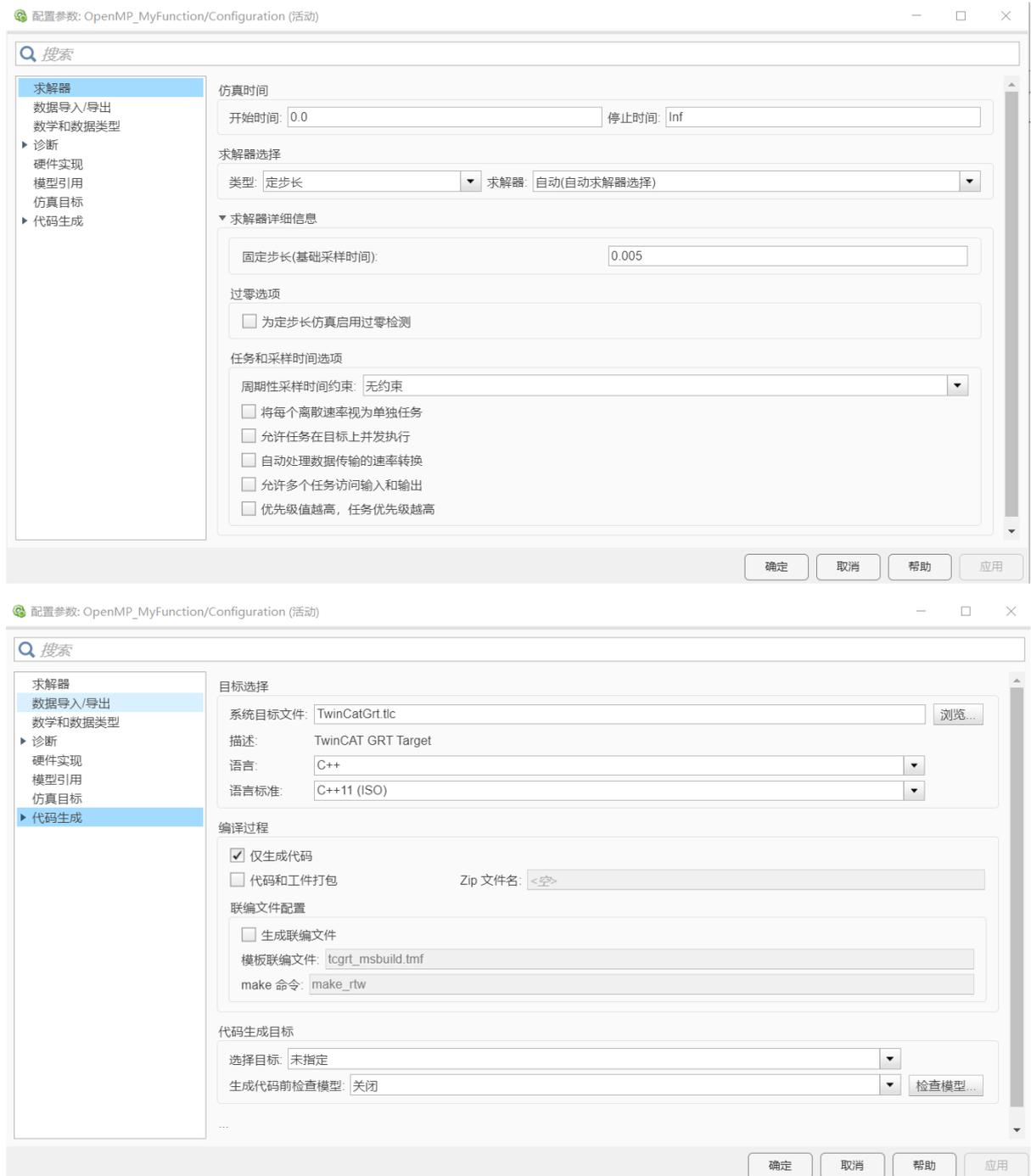
将上图中的 m 函数在 Simulink 模型中调用，如下所示：



图十六：Simulink 模型调用 MATLAB 函数

5.2. TE1400 参数设置

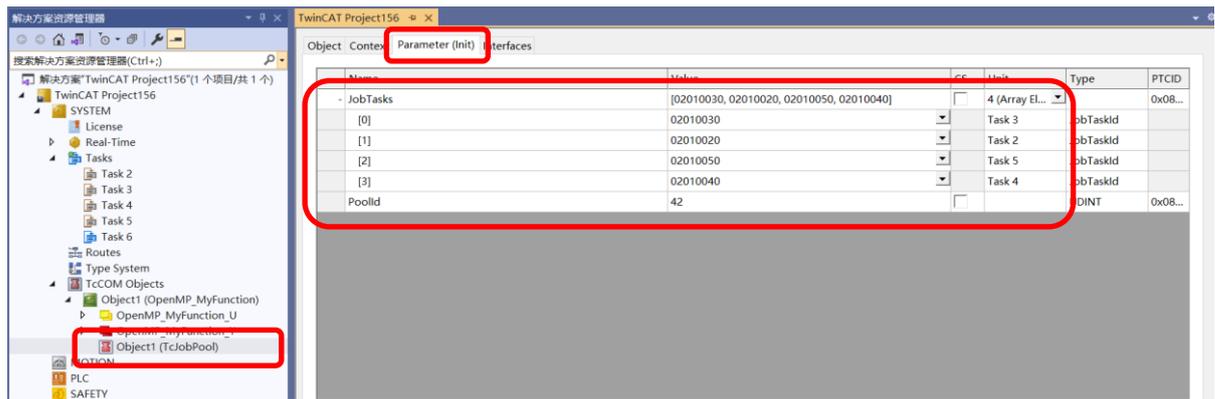
使用 TE1400 对该模型进行封装，其封装步骤需要做特殊参数设置。



图十七: TE1400 参数设置

其余参数按照默认参数设置即可。

正常封装为 TcCOM 组件后，在打开的 TwinCAT 工程中导入该 TcCOM 组件。



图十八：TcCOM 组件调用

在导入 TcCOM 组件后，手动添加一个 TcJobPool 任务，并在 Parameter 选项卡中选择 4(Array Elements)并将 Task2~Task5 四个 TwinCAT Job Task 分配给每一个项目，如图十八所示。最后，将 Job Task 任务分配给不同的 CPU 核，这样就完成了参数的配置。

Core	RT-Core	Base ...	Core Limit	Latency Warning
0	<input checked="" type="checkbox"/>	1 ms	80 %	(none)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 ms	80 %	(none)
2	<input checked="" type="checkbox"/>	1 ms	80 %	(none)
3	<input checked="" type="checkbox"/>	1 ms	80 %	(none)

Object	RT-Core	Base Time (ms)	Cycle Time (ms)	Cycle Ticks	Priority
Task 2	Core 0	1 ms	(none)	0	1
Task 3	Core 1	1 ms	(none)	0	2
Task 4	Core 2	1 ms	(none)	0	3
Task 5	Core 3	1 ms	(none)	0	4
Task 6	Core 4	1 ms	5 ms	5	5
I/O Idle Task	Default (4)	1 ms	1 ms	1	11

图十九：CPU 核分配

执行过程如下：Task6 在 Core 4 上执行，并循环驱动 OpenMP 对象。然后，作为 OpenMP 代码生成的代码片段可通过 JobPool 将任务外包给配置的 JobTask。当 JobTask 完成计算后，所有部分结果将再次捆绑，然后 Core4 上的 Task 6 将代码执行完成一个周期循环。

TcJobPool 是若干 TwinCAT Job Task 的集合，如果应用程序将一个任务(Task6)分配给 TcJobPool，则 TcJobTool 自动将这个任务分配给其池中的可用的 TwinCAT Job Task (Task2~Task5)。TwinCAT Job Task 是按需执行的任务。它是从应用程序调用的，不会循环执行。因此，我们可以从图十九中看到：从 Task2 到 Task5 的所有 Job Task 都没有循环周期。

6. 总结

使用 2.0 以上版本的 TE1400 进行代码的封装，增加了许多新的功能，尤其是对多任务、并发执行以及 OpenMP 技术的支持，使得 Simulink 模型的开发和使用更加便捷，结合倍福多核化硬件平台以及 TwinCAT3 强大的软件功能，倍福的解决方案将向客户展现强大的吸引力。

上海（中国区总部）

中国上海市静安区汶水路 299 弄 9号（市北智汇园）
电话：021-66312666

北京分公司

北京市西城区新街口北大街 3 号新街高和大厦 407 室
电话：010-82200036 邮箱：beijing@beckhoff.com.cn

广州分公司

广州市天河区珠江新城珠江东路32号利通广场1303室
电话：020-38010300/1/2 邮箱：guangzhou@beckhoff.com.cn

成都分公司

成都市锦江区东御街18号 百扬大厦2305 室
电话：028-86202581 邮箱：chengdu@beckhoff.com.cn



请用微信扫描二维码
通过公众号与技术支持交流

倍福官方网站：

<https://www.beckhoff.com.cn>

在线帮助系统：

https://infosys.beckhoff.com/index_en.htm

倍福虚拟学院：

<https://tr.beckhoff.com.cn/>

招贤纳士：job@beckhoff.com.cn

技术支持：support@beckhoff.com.cn

产品维修：service@beckhoff.com.cn

方案咨询：sales@beckhoff.com.cn