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)
2022-12	扒霄仁	TE1400 TWINCAT Target TOF SITTUINK(V2.5) 使用软性(计组版)

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.	软硬件制	反本	3
	1.1. 倍	音福 Beckhoff	3
	1.1.	1. 控制器硬件	3
	1.1.	2. 控制软件	3
2.	准备工作	乍	3
	2.1. 渭	鄂 求背景	3
	2.2. J	干发电脑相关环境设置	3
3.	Multitas	k 功能实现的操作步骤	3
	3.1. S	imulink 模型的开发及参数设置	3
	3.2. Т	E1400 相关参数设置	6
4.	多核并发	定执行 Concurrent Execution	8
	4.1. S	imulink 模型的创建	8
	4.2. 译	2置 TE1400 的相关参数1	2
5.	支持使用	目 OpenMP 封装的代码通过 Job Task 并发执行1	4
	5.1. 仓	创建基于 OpenMP 技术的 Simulink 模型1	4
	5.2. Т	E1400 参数设置1	5
6.	总结		7

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

模块参数: In1 × ×
- Inport
为子系统或模型提供输入端口。 对于触发子系统, '通过延迟外部信号锁存输入'生成在前一时间步的子 系统输入值。 对于函数调用子系统, 启用 '针对函数调用子系统输出的反馈信号锁存输 入'可防止此子系统的输入值在其执行过程中发生变化。 其他参数可用于显式指定输入信号属性。
主要 信号属性
□ 输出函数调用
最小值: 最大值:
数据类型: Inherit: auto ~ : >>
□ 锁定输出数据类型设置以防止被定点工具更改
单位(例如, m、m/s^2、N*m): <u>SI, English,</u>
inherit
端口维度(-1 表示继承):
-1
可变大小信号:继承
采样时间(-1 表示继承):
0.1
信号类型: 自动 🗸
④ 确定(0) 取消(C) 帮助(H) 应用(A)

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"。

6	配置参数:	MultiTask/Configuration	(活动)
---	-------	-------------------------	------

- 🗆 ×

水解器 仿真时间 数据导入/导出 开始时间: 0.0 停止时间: Inf 数学和数据类型 · 诊断 硬件实现 · 求解器选择 使型引用 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Q 搜索	
周期性采样时间约束: 无约束 ▼ ✓ 将每个离散速率视为单独任务 ○ 允许任务在目标上并发执行	 又 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 	仿真时间 开始时间: 0.0 停止时间: Inf 求解器选择 类型: 定步长 • 求解器: 自动(自动求解器选择) ● ▼求解器详细信息 固定步长(基础采样时间): 0.005 过零选项 为定步长仿真启用过零检测 任务和采样时间洗页
□ 日 40 XL 理 XX 描 1 2 M 1 3 L 2 2 Y 2 X M 1 2 M 1 3 L 2 2 Y 2 X M 1 2 M 1 3 L 2 2 Y 2 X M 1 2 M 1 3 L 2 2 M 1 2 M		周期性采样时间约束: 无约束 》将每个离散速率视为单独任务 分许任务在目标上并发执行 自动处理数据传输的速率转换 分许多个任务访问输入和输出 优先级值越高,任务优先级越高

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"。

Q . 搜索	
求解器 数据导入/导出 数学和数据类型 诊断 硬件实现 構型可用	日标选择 系统目标文件: TwinCatGrt.ttc 测览 描述: TwinCAT GRT Target 语言: C++
(広山山) 「「真目标 「 (山田) 生ま	语言标准: C++11 (ISO) •
报告 注释 标识符 自定义代码 接口 TC General TC Build TC PLC Library TC TcCom General TC TcCom Wrapper TC TcCom Wrapper TC TcCom Interface TC TcCom External Mode TC PIcFb General TC PIcFb General TC PIcFb Additional settings TC PIcFb External Mode	 ✓ 仅生成代码 〇 代码和工件打包 Zp 文件名: ○ 生成联编文件 ● 生成联编文件 ● 生成联编文件: ● 住成正, msbuild.tmf ● make_rtw CK码生成目标 法择目标 未指定 ● 全成代码前检查模型: 关闭 ● 检查模型

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。

🔞 配置参数: MultiTask/Configurati	on (活动) - □ ×
Q 搜索	
 ▲ 配置参数: Multil ask/Configuration ○ 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 优化 报告 注释 标识符 自定义代码 接口 TC General 	Generate TwinCAT PLC Function Block Floating point exception handling during initialization: CallerExceptions Floating point exception handling during update: CallerExceptions
TC Build TC PLC Library TC TcCom General TC TcCom Wrapper TC TcCom Additional setti TC TcCom Interface TC TcCom External Mode TC PIcFb General TC PIcFb Additional settings TC PIcFb External Mode	

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:



解决方案资源管理器 ▼ ↓ ×	TwinCAT Pro	oject151 ≄ ×							•
○ ○ 🏠 🚚 Šo - @ 🗡 🗕	Object Co	ontext Parameter (Init) Parame	eter (Oi	nline) Data Area Interfaces Block Diagram					
搜索解决方案资源管理器(Ctrl+;)									
🜄 解决方案"TwinCAT Project151"(1 个项目/共	Context:			0 'Context0 (5 ms)'					
TwinCAT Project151	Depend	On:		Manual Config ~					
				-					
D A Real-Time									
A Tasks	Data Are	as:		Interfaces:					
Task 2	0 'unt	itled U1'							
💼 Task 3	1 'unt	itled_U2'							
💼 Task 4	2 'unt	itled_U3'							
📑 Task 5	3 'unt	itled_Y1'	-						
🚠 Routes	Data Data		_	Interfere Delinter					
Type System	Data Pol	nter:	_	Interface Pointer:					
TcCOM Objects									
 Øbject1 (untitled) 									
Intitled_U1									
Intitled_U2									
Intitled_U3	Result:								
P untitled_Y1	In	Tack	Name	2	Driority	Cyclo	Tack D	Symbo	Sort Ordor
				-	ritonty	cycle	TOSK F	symbo	Soft Order
	0	02010020	lask	2	1	5000	350	350	0 (default=100)
SAFETY	1	02010030	Task	3	2	100000	351	351	0 (default=100) 💌
C++	2	02010040 💌	Task 4	4	3	200000	352	352	0 (default=100) 💌
VISION	3	02010050	Task	5	4	300000	353	353	0 (default=100) 💌

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。可参考: https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/texxxxtwincat-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:





以上两个模型的 TE1400 参数设置如下:



🚳 配置参数: Subsystem3/ModelReferencing (活动)	-		\times
Q. 搜索			
大好器 仿真时间 数据导入导出 分算时间 次修斯 硬件实现 硬件实现 模型引用 仿真目标 * 代码生成 * 求解器注册 ● 代码生成 * 求解器注册 ● 位用目: 10 * 求解器法择 ● 立时间: ※型: 定步长 ● 求解器法择 ※型: 定步长 ● 求解器法理 ※型: 定步长(基础采样时间): 0.002 过零选项 □ 为定步长仿真启用过零检测 日初处理数据传输的速率转换 ● 允许任务在目标上并发执行 ● 自动处理数据传输的速率转换 ○ 允许多个任务访问输入和输出	配置任约	· ▼	
确定 取消	帮助		用

图十一: 勾选允许任务在目标上并发执行选项



建家	
求解器	目标选择
数据导入/导出 数学和数据类型	系统目标文件: TwinCatGrt.tlc 浏览
诊断 硬件实现 模型引用 仿真目标	描述: TwinCAT GRT Target 语言: C++ 语言标准: C++11 (ISO)
代码生成	编译过程
	 □ 代码和工件打包 Zip 文件名: <空> 联编文件配置 □ 生成联编文件 模板联编文件: tcgrt_msbuild.tmf make 命令: make_rtw
	代码生成目标
	选择目标: 未指定 ▼ 生成代码前检查模型: 关闭 ▼

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





4.2. 设置 TE1400 的相关参数

🚱 配置参数: untitled1/Configurati	on (活动)					_	
Q 搜索							
 Q 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 	 仿真时间 开始时间: 0.0 求解器选择 类型: 定步长 ▼求解器详细信息 因定步长(基础采样时间): 	▼ 求解器:	停止时间 自动(自动求解器送 0.001	10.0			
	过零选项 为定步长仿真启用过零检 任务和采样时间选项 周期性采样时间约束:无约束 、允许任务在目标上并发执 自动处理数据传输的速率 允许多个任务访问输入和	测				▼ 配置任	务 …
				确定	取消	帮助	应用



🚳 配置参数: untitled1/Configura	ation (活动) - □ ×
Q 搜索	
 又 投索 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
	生成代码前检查模型: 关闭
	确定 取消 帮助 应用



🚳 配置参数: untitled1/Configuration (活动)

_ ⊓

Q 搜索							
求解器	Generate TwinCAT PLC Function Block						
数据导入/导出	Floating point exception handling during initialization: CallerExceptions						
数学和数据类型	Eloating point exception handling during undate: CallerExceptions						
▶ 诊断							
硬件实现							
模型引用							
仿真目标							
▼ 代码生成							
优化							
报告							
注释							
标识符							
目定义代码							
接口							
TC General							
TC TcCom General							
TC TcCom Additional actti							
TC TcCom Interface							
TC PIcEb Coporal							
TC PICEb Additional settings							
TC PICEb External Mode							
TO HE DEXCINAL MODE							
	确定 取消 帮助 应用						

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CUP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。

MATLAB Function ► A MATLAB Function

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



🚳 配置参数: OpenMP_MyFu	inction/Configuration (活动) — □ ×
Q 搜索	
求解器	仿真时间
数据导入/导出 数学和数据类型	开始时间: 0.0 停止时间: Inf
▶ 诊断 一 #供空型	求解睛选择
破計支助 模型引用 仿真目标 ▶ 代码生成	类型: 定步长 ▼ 求解器: 自动(自动求解器选择) ▼
	▼ 求解器详细信息
	固定步长(基础采样时间): 0.005
	过零选项
	□ 为定步长仿真启用过零检测
	任务和采样时间选项
	周期性采样时间约束: 无约束 🗸
	□ 将每个离散速率视为单独任务
	□ / /// · / · / · / · · · · · · · · · ·
	(福定) [取消] 一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一
Q 搜索	
求解器 数据导 λ /导屮	目标选择
数学和数据类型	系统目标文件: TwinCatGrt.tlc 浏览
▶ 诊断 理供家皿	描述: TwinCAT GRT Target
模型引用	语言: C++ ▼
仿真目标	は言标准: └++11 (ISU)
▶ 1℃的主龙	编译过程
	✔ 仅生成代码
	□ 代码和工件打包 Zip 文件名: <空>
	联编文件配置
	□ 生成联编文件
	模板联编文件: tcgrt_msbuild.tmf
	make 命令: make_rtw
	代码生成目标
	选择目标:未指定
	生成代码前检查模型: 关闭

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。



解决方案资源管理器 ▼ ×	TwinCAT Proje	ct156 + ×					
○ ○ ☆ ♬ 'o - ♂ / > -	Object Cont	ex Parameter (Init) I terfaces					
搜索解決方案资源管理器(Ctrl+;) ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・		<u> </u>					
🔄 解决方案"TwinCAT Project156"(1 个项目/共 1 个)	Mam	<u></u>	Malua	65	Unit Ty	pe	PTCID
 TwinCAT Project156 	- JobT	asks	[02010030, 02010020, 02010050, 02010040]	Г	4 (Array El 🔳	(0x08
A GYSTEM	[0]		02010030	-	Task 3	bTaskld	
License	11		02010020	•	Task 2	bTaskld	
A 🎦 Tasks	[2]		02010050	•	Task 5	bTaskId	
💼 Task 2	[3]		02010040	•	Task 4	bTaskld	
in Task 3	Pool	d	42			DINT (0x08
Tack 5			12	1			
Task 6							
Routes							
Type System							
TcCOM Objects							
 Øbject1 (OpenMP_MyFunction) 							
OpenMP_MyFunction_U							
Object1 (TcJobPool)							
III PLC							
SAFETY							

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 W	Latency Warning		
0	 Image: A start of the start of	1 ms 💌	80 %		•	(none)	none)		
1	 Image: A start of the start of	1 ms 💌	30 %			(none)	e) 💆		
2		1 ms 💌	30 %			(none)	ne) 💌		
3		1 ms 💌	30 %			(none)		<u>-</u>	-
Object		RT-Co	re	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	<u>-</u>	1 ms	(none)		0	4	
茸 Task 6		Core 4		1 ms	5 ms		5	5	
📑 I/O Idle	e Task	Defaul	t (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