

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.07.027

# PLCopen 运动模块参数传递方法的研究\*

罗林丹,包 健\*

(杭州电子科技大学 计算机学院,浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对 PLCopen 运动控制规范中的参数传递问题,对 PLCopen 运动控制规范中模块参数的类型、独立性和不连续性以及 IEC61131-3 标准编程规范等方面进行了研究,提出了可用于在符合 IEC61131-3 标准的开发平台上实现 PLCopen 运动控制规范的 IL 指令传参法和参数模板构造法;第一种方法采用 IL 指令及临时变量进行了参数传递,使用静态函数库实现了模块的功能,第二种方法采用参数模板在编译过程中动态生成参数定义及反馈,结合动态函数库实现了模块的功能。这两种方法不同于一般的基于 C 语言或其他高级语言的值传递或引用传递方法,可以兼容 IEC61131-3 标准的编程规范并减少对 PLC 资源的使用。对该两种方法进行了实验分析和对比。研究结果表明,该两种方法均可以实现 PLCopen 运动控制规范,并各有优势,可以满足多种应用需求。

**关键词:**运动控制模块;构件;IL 指令;参数模板

**中图分类号:**TH39;TP27

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-4551(2014)07-0945-06

## Study of PLCopen motion block's parameter passing

LUO Lin-dan, BAO Jian

(College of Computer, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of parameter passing in PLCopen motion control specification's implementation, the types, independence and discontinuity of parameters in PLCopen motion control specification and the IEC61131-3 standard programming norms were studied. Two methods called IL passing method and parameter template structure method were proposed. IL instructions were used by the first method to transfer parameters, and static function library was used to implement blocks. The parameter template was used by the second method to generate the definition and feedback of parameters dynamically, and dynamical function library was used to implement blocks. Different from traditional methods of passing value or reference based on C language or other senior language, the IEC61131-3 standard programming norms were supported and PLC available memory was reduced. Comparison and analysis were done and the results indicate that two methods can achieve PLCopen motion control specification, and each has advantages satisfy varied requirements.

**Key words:** motion control block; component; IL instructions; parameters template

## 0 引 言

目前,国内外大部分可编程控制器厂商实现的运动控制系统没有完全遵循 PLCopen 的运动控制规范,

具有一定的独立性(运动控制接口不尽相同),从而不相互兼容。在遵循 IEC61131-3 标准的编程语言平台上增加符合 PLCopen 的运动控制模块更加少见。针对运动控制构件实现的研究多集中于其实现框架<sup>[1-2]</sup>、运

收稿日期:2014-03-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272189);国家高技术研究发展计划“863 计划”资助项目(2013AA040301);浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50008)

作者简介:罗林丹(1989-),女,湖南浏阳人,主要从事图编程平台开发、嵌入式技术等方面的研究. E-mail:gnsyld@163.com.

通信联系人:包健,女,博士,教授,博士生导师. E-mail:baojian@hdu.edu.cn.

动控制功能扩展<sup>[3]</sup>、运动控制接口扩展使用<sup>[4]</sup>等方面,鲜有人进行构件参数传递方法的研究。PLCopen 运动控制规范中定义的模块参数非常丰富,这些参数统一了多样的运动控制接口,为 IEC61131-3 编程规范与专用运动控制硬件提供了连接纽带。但这些参数具有独立性和不连续性的特点,一般的基于 C 语言或其他高级语言的值传递或引用传递方法不兼容 IEC61131-3 标准的编程规范,而且会增加系统的内存消耗、降低系统性能。

针对这个问题,笔者研究 PLCopen 运动控制模块的特点,在符合 IEC61131-3 标准的开发平台上,提出可用于实现 PLCopen 运动控制规范的两类参数传递方法:IL 指令传参法和参数模板构造法。

## 1 运动控制构件概述

### 1.1 运动控制构件模型

运动控制构件采用统一的构件表达形式,该构件模型可表示为  $LDC < Name, ID, PI, RI, Property, Specification >$ ,其中:

(1)Name 为运动控制构件的名称,简要描述运动控制构件实现的功能;

(2)ID 为运动控制构件的标识符,在整个梯形图程序中是唯一的;

(3)PI 为运动控制构件所能够提供服务的接口集合,它包括梯形图构件的右侧串联接口、向下并联接口、输出数据接口和部分辅助数据接口;

(4)RI 为构件所需求服务的接口集合,它包括梯形图构件的左侧串联接口、向上并联接口、输入数据接口和部分辅助数据接口;

(5)Property 为运动控制构件内部所包含属性的集合,是运动控制构件的基本构成元素,包括位置、大小、指令参数、注释、状态值等信息;

(6)Specification 为功能说明,以具体的文字、公式或框架模板说明运动控制构件实现的方法及功能。

### 1.2 运动控制构件实现架构

运动控制构件对运动控制的具体实现方法进行封装,使运动控制模块的使用与其实现分离。PLCopen<sup>[5]</sup>技术委员会规范化定义了运动控制构件的封装形式和接口。运动控制构件的实现架构如图 1 所示。

运动控制构件与运动控制线程进行参数传递,引擎调度器调度运动控制线程执行运动控制算法输出对

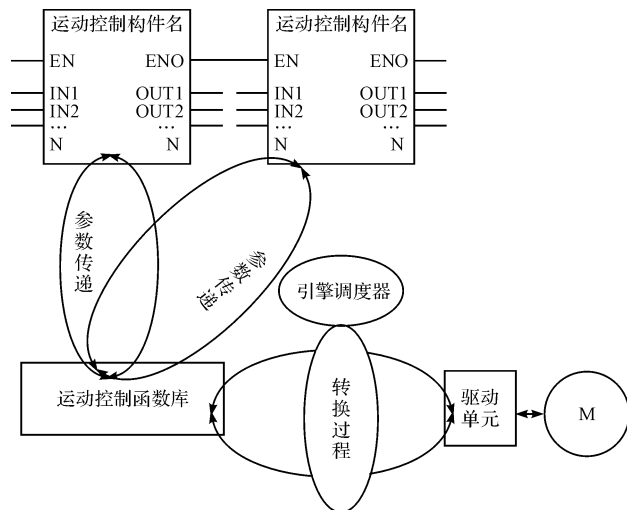


图 1 运动控制构件的实现架构

应的物理信号(脉冲信号或模拟信号等),驱动单元根据物理信号控制电机进行相应的运动。

为了在符合 IEC61131-3 标准的开发平台上实现运动控制规范,本研究采用了在梯形图程序中内嵌 C 语言<sup>[6]</sup>混合编译的方式。同时为了保证图编译系统的统一性、规范性和一致性,嵌入的 C 语言必须满足以下 3 个条件:①不能使用结构体,或是指针等全局变量;②只能使用控制器的共享内存单元;③嵌入的 C 语言函数间不能相互嵌套。编译系统将运动控制构件翻译成嵌入 C 语言函数模块的 IL 指令,FUNC Motion-Name(),进而实现运动控制功能。

PLCopen 运动控制规范中各模块的输入输出参数具有多样性和不连续的特点。而梯形图内嵌 C 语言的条件 1 和条件 2 使得参数传递过程不能使用传统的结构体和指针来实现。构件中多种不连续的参数如何进行传递成为 PLCopen 运动控制规范实现的一大难点。

## 2 运动控制构件传参方法

根据参数的传递方向,参数可分为输入参数和输出参数;根据参数的性质,参数可分为常量参数和变量参数。其中,输出参数作为运动控制算法的运算结果的返回,均为变量参数。根据变量的类型,变量参数又分为 3 种:布尔类型、字节类型以及结构体类型。本研究提出了两种方法来解决多样且不连续的参数进行传递的问题。

### 2.1 IL 指令传参法

本研究定义 IL 指令传参法为根据参数的类型和性质,采用不同的 IL 指令进行独立传参,与运动控制

算法分离实现的方法。IL 指令传参法将运动控制构件中的多种参数传递通过 IL 指令实现,运动控制算法通过内嵌 C 语言来实现。运动控制构件被编译成 3 部分代码,第一部分为输入参数传递代码,第二部分为嵌 C 模块代码,第三部分为输出参数传递代码,实现框架如图 2 所示。

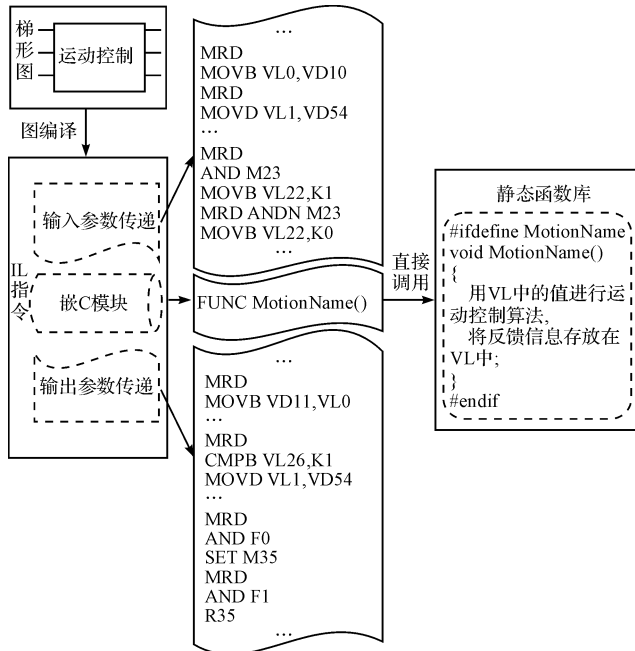


图2 IL指令传参法

编译运动控制构件时,本研究运用可编程控制器的 VL 区(临时变量区)缓冲输入/输出参数,调用静态函数库中的静态函数实现运动控制算法。静态函数库由结构和功能完整的可以被直接编译成功的静态函数组成,这些函数被调用时,输入/输出参数被 VL 区缓存的参数替代,运行在 VL 区提供的虚拟内存环境中,实现了运动控制构件的传参操作和算法执行的分离。参数的具体操作方法如下:

(1)布尔类型输入参数传递方法。若参数为变量类型,该方法添加 CMPB 指令将输入布尔参数与“1”进行比较操作,并使用 MOVB 指令将比较结果存放至从 VL 区(临时变量区)中预先申请的中间变量中。若参数为常量类型,则直接添加 MOVB 指令搬移该常量至指定的中间变量中。布尔类型输出参数传递方法:添加 CMPB 指令判断缓存在 VL 区中的函数输出,使用 SET 或 R 指令对实际输出进行操作。

(2)字节类型参数传递方法。若参数为输入参数,该方法添加 MOV 系列指令将字节、字、双字、浮点数等类型的输入参数搬移到预先申请的 VL 区中缓存,为调用函数 MotionName 的执行作准备。若参数为

输出参数,同样添加 MOV 系列指令,将缓存在 VL 区中的输出值根据其类型(字节、字、双字、浮点等)搬移到对应的实际输出变量中。

(3)结构体类型参数传递方法。结构体类型参数不区分其传递方向,将参数内的值作为该结构体的基址,根据成员的位置和大小,将共享内存中的基址进行相应的偏移,得到结构体中的各成员的地址。具体结构体类型传参如图 3 所示。

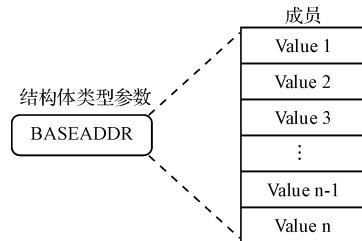


图3 结构体类型传参

IL 指令传参法的预编译流程如下:

步骤 1:检查运动控制构件中参数的合法性,如果参数不合法,返回错误类型。

步骤 2:根据输入参数的类型,生成缓冲输入参数到临时变量区(VL 区)的 IL 指令。

步骤 3:生成内嵌 C 语言模块对应的 IL 指令,这里称作 FUNC MotionName() 指令,它将直接调用静态库函数中的 MotionName 函数完成运动控制算法。

步骤 4:根据输出参数的类型,生成将输出值从临时变量区(VL 区)取出的对应 IL 指令。

### 3.2 参数模板构造法

本研究定义参数模板构造法为根据参数的类型和性质,通过不同的参数模板,动态构造输入/输出参数和返回参数的方法。为了更好地描述这种方法,定义 3 个约定。

约定 1:以运动控制构件内的参数名称的简写形式作为函数中参数的变量名。

约定 2:动态函数库中的函数直接使用约定 1 中简化的变量名,实现运动控制构件的功能。

约定 3:定义信息反馈参数为运动控制算法执行后,反馈的执行结果或执行状态。

参数模板构造法即为根据输入、输出参数变量的实际类型并使用约定 1 中的参数的变量名,对动态函数库中函数的参数进行局部定义,在编译过程中生成相应的初始化代码,完成运动控制构件参数传递的方法。

对于结构体类型参数,如图 3 所示,该方法将参数

内的值作为该结构体的基址进行传递。

动态函数库中的函数需要被动态构造,本研究设计了一种统一的函数模板,作为构造依据保存在 XML 文件中,格式如表 1 所示。其中每个函数的函数体均需要符合约定 1 和约定 2。

表 1 动态函数库中的函数构造模板

```

<MotionControl>
  <Object>
    <FuncName>MotionName</FuncName>
    <FuncPara> ... </FuncPara>
    <FuncExplain>... </FuncExplain>
    <FuncCode><![CDATA[
      : //函数体
    ]]></FuncCode>
  </Object>
  <Object>
    :
  </Object>
</MotionControl>

```

编译运动控制构件时,不同于 IL 指令传参法,一个构件被编译成 3 个部分,这种方法只需要将其翻译成一条嵌 C 的 IL 指令, FUNC MotionName()。实现方式如图 4 所示。

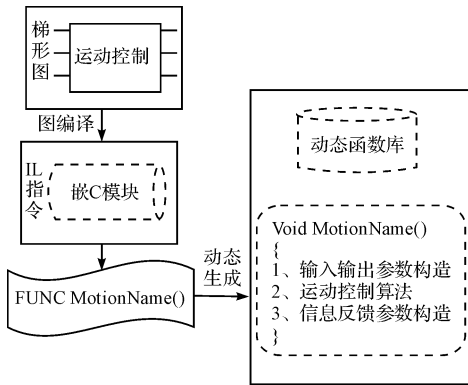


图 4 参数模板构造法

动态函数库中的运动控制函数体都是不完整的,不能直接编译成功。在动态生成运动控制函数的过程中,系统根据函数构造模板,生成相关参数的定义和初始化填充到函数体的头部,生成信息反馈代码填充到函数体地尾部,并将它们组合成可编译成功的完整函数。

参数模板构造法的预编译流程如下:

步骤 1:检查运动控制构件中参数的合法性,如果参数不合法,则返回错误类型。

步骤 2:将运动控制构件编译成 IL 指令中的嵌 C 指令, FUNC MotionName()。

步骤 3:根据参数构造模板,动态生成输入参数和

输出参数的定义和初始化,并填充到函数 MotionName 的头部。

步骤 4:生成信息反馈参数,填充到函数 MotionName 的尾部。

步骤 5:将步骤 3 和步骤 4 中的代码与动态函数库中对应函数的函数体进行组合,生成可以编译成功的完整的函数,实现运动控制功能。

### 3.3 两种方法的分析和对比

根据前两节分别对两种方法实现的阐述,本研究从生成 IL 指令的复杂程度和可读性方面,对两种方法进行分析和对比,结果如表 2 所示。

表 2 两种实现方法的简单对比

实现方式	特点	生成的 IL 指令
IL 指令传参法	IL 传参,复用静态函数	复杂,可读性差
参数模板构造法	动态构造参数,动态生成函数	简洁,可读性好

IL 传参法还存在一个局限性:临时变量区 VL 区的大小必须大于运动控制模块的参数。

对两种方法的时空复杂度及适用系统进行分析比较,其结果如表 3 所示。

表 3 两种实现方法的深入对比

实现方式	存储空间	响应时间	适用系统
IL 指令传参法	消耗的存储空间少	响应时间长	存储空间小,性能一般的系统
参数模板构造法	消耗的存储空间多	响应时间短	存储空间大,性能较高的系统

综上所述,这两种实现方法各有优劣,研究者可根据系统的实际需求,选择适当的参数传递方法。

## 4 传参方法应用举例

本研究将参数模板构造法应用于符合 IEC61131-3 标准的 CASS 控制器算法生成平台<sup>[7-9]</sup>,实现了 PLCopen 运动控制规范中 part1 和 part2 的运动控制功能模块,可以实现多通道电机的基本控制和复杂控制、凸轮和齿轮的相关控制等。

以一个 MC\_MoveAbsolute 模块为例,编程界面如图 5 所示。笔者分别用 IL 指令传参法和参数模板构造法将该运动控制模块,翻译成的最终代码如下:通过 IL 指令传参法将运动控制模块翻译生成的 IL 指令及其静态函数库中的 MC\_MOVEABSOLUTE 函数如表 4 所示。通过参数模板构造法将运动控制模块翻译成的 IL 指令及其根据参数模板自动生成的参数传递代码如表 5 所示。

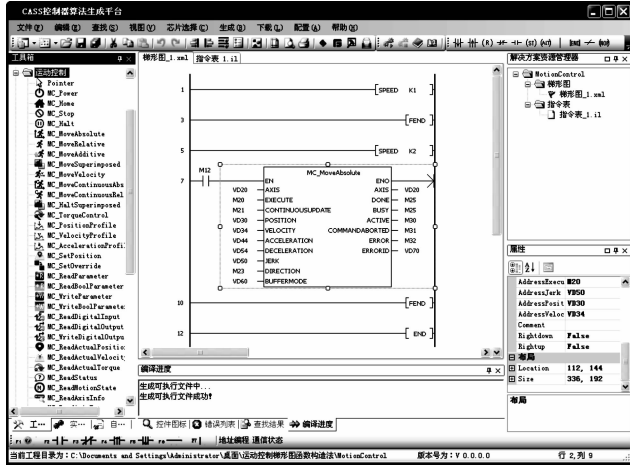


图5 CASS 控制器算法生成平台

表4 IL 指令传参法生成的 IL 指令和嵌 C 函数

MOVB	VLO, VD20
MRD	
MOVD	VL1, VD30
...	
AND	M20
MOVB	VL33, K1
MRD	
ANDN	M20
MOVB	VL33, K0
MRD	
ANDP	M20
...	
FUNC	MC_MOVEABSOLUTE()
...	
MOVW	VD70, VL24
...	
CMPB	VL26, K1
MRD	
AND	F0
SET	M25
MRD	
AND	F1
...	

```

#ifdef MC_MOVEABSOLUTE
void MC_MOVEABSOLUTE()
{
    ...
}
#endif

```

表5 参数模板构造法生成的 IL 指令和嵌 C 函数

```

LD MI2
FUNC MC_MOVEABSOLUTE()
void MC_MOVEABSOLUTE()
{
    int FuncNum = 1;
    char Axis_1 = (BYTE) VD20;
    bool EXECUTE = M20;
    bool ContinuousUpdate = M21;
    int Position = (DWORD) VD30;
    int Velocity = (DWORD) VD34;
    ...
    bool CommandAborted = M31;
    bool Error = M32;
    Short Error ID = (WORD) VD70;
    :
    M20 = Execute;
    M21 = ContinuousUpdate;
    (BYTE) VD20 = Axis_0;
    ...
    M32 = Error;
    (WORD) VD70 = Error ID;
}

```

IL 指令传参法使用控制器中 33 个字节的临时变量空间,参数模板构造法使用了函数调用的临时堆栈空间。前者生成的可执行文件大小为 6 KB,后者最终生成的可执行文件为 8 KB。参数模板构造法的执行效率比 IL 指令传参法快 0.02 ms。

### 5 结束语

本研究针对如何在符合 IEC61131-3 标准的编程平台上对运动控制功能模块中多类不连续参数进行传递的问题提出了两种方法:IL 指令传参法和参数模板构造法,不仅可以用于实现运动控制功能,对其他复杂功能模块的开发也具有很大的参考价值。

该研究内容对于 PLCopen 运动控制规范的推广以及可编程控制器的发展具有一定的意义。

### 参考文献 (References) :

[1] 张丕鑫. 基于 PLCopen 的运动控制功能模块研究与实现 [D]. 大连:大连理工大学机械工程学院,2011.

[2] 金丽娟,严义. 基于 IEC61131-3 的运动控制模块设计 [J]. 机电工程,2013,30(6):759-763.

[3] KIM I, KIM T, SUNG M. An Open-Source Development Environment for Industrial Automation With EtherCAT and PLCopen Motion Control[C]. Emerging Technologies & Factory Automation,2013.

- [4] OVE C S, ZOITL A, MEHOFER F, et al. Advanced Use of PLCopen Motion Control Library for Autonomous Servo Drives in IEC 61499 Based Automation and Control Systems [J]. *E&Ielektrotechnik und Informationstechnik*, 2006, 123 (5):191-196.
- [5] PLCopen Technical Committee 2: Motion Control. [OL]. Available: <http://www.plcopen.org>.
- [6] 黄小强. PLC 梯形图中内嵌 C 语言编程的实现[J]. 机电工程, 2012, 29(4):421-424.
- [7] 王 婷. 基于构件重构技术的 PLC 算法生成平台的研究与实现[D]. 杭州: 杭州电子科技大学计算机学院, 2009.
- [8] 邬惠峰, 严 义. 嵌入式虚拟仪器构件动态重构方法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(8):1837-1844.
- [9] YAN Yi, ZHANG Hang-ping. Compiling Ladder Diagram into Instruction List to Comply with IEC 61 131-3[J]. *Computers in Industry*, 2010, 61(5):448-462.

[编辑: 李 辉]

**本文引用格式:**

罗林丹, 包 健. PLCopen 运动模块参数传递方法的研究[J]. 机电工程, 2014, 31(7):945-950.

LUO Lin-dan, BAO Jian. Study of PLCopen motion block's parameter passing[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(7):945-950.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 944 页)

防跳回路也是多种多样, 各有特点, 在实际应用中很容易形成寄生回路, 造成缺陷。这需要现场工程技术人员参照回路设计图纸, 结合现场实际, 处理好它们之间的配合问题。

**参考文献(References):**

- [1] 兀鹏越, 董志成, 陈 琨, 等. 高压断路器防跳回路的应用及问题探讨[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(10):106-109.
- [2] 张良栋, 黄向民. 西门子高压开关二次回路的改进[J]. 继电器, 2002, 30(7):64-65.
- [3] 胡秀英, 戈红霞, 吴忠福. 断路器防跳回路接线改进. 青海电力, 2012, 31(2):58-65.
- [4] 徐春新. 防跳继电器触点卡滞导致断路器反复跳跃的问题分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12):115-117.
- [5] 余耀权. 一起 220 kV 线路故障引起开关“跳跃”的原因分析[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8):99-101.
- [6] 南京南瑞继保电气有限公司. ZL\_DYBH301. 1108 RCS-9000 系列 C 型保护测控装置技术和使用说明书[Z]. 南京: 南京南瑞继保电气有限公司, 2013.
- [7] 陈晓彬. 高压开关防跳回路异常分析及测试方法的改进[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7):112-115.
- [8] 彭 业, 马军, 欧阳力. 保护控制回路与三菱断路器操作机构的配合[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(4):95-100.
- [9] 王 严. 开关电气防跳回路分析与探讨[J]. 继电器, 2003, 31(1):72-73.
- [10] 陈 刚, 卢松城, 纪青春. 220 kV 断路器防跳回路中异常问题分析及处理[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23):185-187.

[编辑: 李 辉]