

# 基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统设计

李可成

(广西工业职业技术学院 智能制造学院, 南宁 530001)

**摘要:** 为了确保 PC 端主机所生成指令程序满足 PLC 控制原则, 使 PLC 编程器的逻辑编译能力得到保障, 提高指令编码准确性, 设计基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统; 根据软 PLC 定义标准, 确定系统结构的组成形式, 再通过分析工作执行机制的方式, 完成对嵌入式软 PLC 系统的技术基础研究; 在分布式体系中, 同时开发 I/O 驱动程序与 PLC 执行程序, 并联合下级 PLC 编程器设备, 确定 CODESYS 工程组件的实时运行状态, 完成分布式控制系统的 I/O 组件设计; 按照实时内核的进入与退出模式, 定义分时映像区取值范围, 借助数据库主机中存储的控制指令执行程序, 求解指令逻辑栈表达式, 实现对软 PLC 驱动模式的规范, 完成基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统设计; 实验结果表明: 实验所选 10 条指令程序的 PC 端输出结果均满足 PLC 控制原则, 在保障 PLC 编程器逻辑编译能力方面具有突出作用价值, 且能够有效提高指令编码准确性。

**关键词:** 嵌入式布局; 软 PLC; 分布式控制系统; I/O 驱动程序; 实时内核; 分时映像区

## Design of Distributed Control System Based on Embedded Soft PLC

LI Kecheng

(Intelligent Manufacturing College, Guangxi Institute of Industry Technology, Nanning 530001, China)

**Abstract:** In order to ensure that the instruction program generated by host computer at PC side meets PLC control principle, ensure the logic compilation ability of PLC programmer, and improve the accuracy of instruction coding, a distributed control system based on embedded soft PLC is designed. According to the definition standard of soft PLC, the composition form of the system structure is determined, and then the technical basic research of the embedded soft PLC system is completed by analyzing the work execution mechanism. In the distributed system, the I/O driver and PLC execution program are developed at the same time, and the real-time operation state of the CODESYS engineering components is determined in conjunction with the lower level PLC programmer equipment to complete the I/O component design of the distributed control system. The range of the time-sharing image area is defined by the entry and exit modes of the real-time kernel. With the help of the control instruction execution program stored in the database host, the instruction logic stack expression is solved, the specification of the soft PLC drive mode is realized, and the distributed control system design based on the embedded soft PLC is completed. The experimental results show that the PC output results of the 10 instruction programs selected in this experiment all meet the PLC control principle, have the outstanding value in ensuring the logic compilation ability of the PLC programmer, and it can effectively improve the accuracy of instruction coding.

**Keywords:** embedded layout; soft PLC; distributed control system; I/O driver; real-time kernel; time-sharing image area

## 0 引言

嵌入式系统是一种专用型计算机处理系统, 以计算机技术作为构建基础, 在软硬件方面具有独立可裁剪的能力, 对程序可靠性、程序功能等因素具有严格要求。SOC 片上系统是嵌入式系统的重要组成形式, 可以将包括 CPU 元件在内的多种外设控制器设备集成在几个独立芯片结构之上, 故而 SOC 嵌入式系统的体积相对较小、功耗成本相对较低, 能够适应多种不同的互联网应用环境<sup>[1]</sup>。PLC 作为设备和装置的核心控制器设备, 能够借助 I/O 组件安装在机架结构之上, 并可以按照智能化编程原则, 改写系统主机内的

原有程序编码原则, 从而使得下级设备部件的无缝连通能力大幅提升。由于 PLC 控制体系的运行需要多个应用部件的共同配合, 所以在更换另一种硬件设备时, 也需要重新编写相关软件执行程序<sup>[2]</sup>。

软 PLC 在保留传统 PLC 应用功能的基础上, 采用面向现场总线网络的体系设计结构, 全面开放了高速串口、通信接口等以太网连接通路, 通过多语言编程的处理方式, 修改原有执行程序的编译形式, 从而将多个数据开放通路同时转接至 TCP/IP 网络之中<sup>[3]</sup>。然而对于 PC 端主机而言, 若所生成指令程序不能满足 PLC 控制原则, 则会使 PLC 编程器的逻辑编译能力大幅下降, 从而造成网络体系

收稿日期: 2023-09-22; 修回日期: 2023-11-08。

基金项目: 2020 年度广西高校中青年骨干教师科研能力提升项目(2020KY39014)。

作者简介: 李可成(1980-), 男, 广西南宁人, 大学本科, 工程师, 主要从事电气自动化控制技术方向的研究。

引用格式: 李可成. 基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(8): 110-115.

出现混乱运行状态。文献 [4] 设计了基于工控业务仿真的高交互可编程逻辑控制器蜜罐系统，设置了过程仿真循环与服务仿真循环闭环体系，又在 Matlab/Simulink 应用软件的作用下，完善了主机端元件与执行端元件之间的协同工作模式。然而在指令程序较为复杂的情况下，该系统并不能确保程序样本的编码形式完全符合 PLC 控制原则，因此，其对于编程器元件逻辑编译能力的保障作用也就无法达到实际需求标准。为此，设计了基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统。

### 1 嵌入式软 PLC 系统技术基础

嵌入式软 PLC 应用技术可以在更改系统结构布局形式的同时，完善基础工作执行机制，本章节将针对上述内容展开研究。

#### 1.1 软 PLC 定义

嵌入式软 PLC 系统的实现需要嵌入式系统组件、软 PLC 系统组件的共同配合，简单来说，就是利用软 PLC 技术控制嵌入式系统平台，再利用软件编程为 PLC 逻辑结构提供基础运算环境，最后将处理后的软件程序完整封装进嵌入式系统执行平台，以用于对下级应用元件进行控制<sup>[5]</sup>。由于嵌入式软 PLC 系统包含嵌入式系统、软 PLC 系统的全部运行特点，所以定义其模式特征时应注意如下几方面内容：

1) 开放式控制平台与相关软件控制程序必须遵循相同的编码原则，在软 PLC 控制端口闭合的情况下，嵌入式端口也应随之进入闭合状态，且两个端口之间的数据信息样本不可以出现误传、反传行为，即控制程序运行指令只能由一个端口指向另一个端口，且这种指向性指令传输行为运行模式不具备可逆性。

2) 当软 PLC 控制程序植入嵌入式系统后，PLC 逻辑结构的运行模式会发生变化，当前情况下，分布式主机对于控制执行指令的编码速率较快，软 PLC 控制端口内的数据信息样本被快速消耗，故而整个 PLC 控制系统的运行速度也相对较快<sup>[6]</sup>。

3) 在多类型软件程序同时存在的情况下，嵌入式系统主机运行速率始终比软 PLC 系统主机运行速率更快，当控制指令累积量达到数据库主机最大编码条件时，两类系统运行速率同时下降，直至已累计指令样本被 PLC 编码软件完全消耗。

#### 1.2 系统结构组成

嵌入式软 PLC 分布式控制系统由硬件、软件两部分共同组成。硬件部分是系统的应用基础，主要包括 I/O 组件、CPU 设备、PLC 内核、软移植内核等多种应用设备；软件部分是控制功能实现的关键，可以按照相关硬件设备的运行状态，制定必要的控制任务执行指令<sup>[7]</sup>。分布式控制系统基本布局如图 1 所示。

I/O 组件是嵌入式软 PLC 分布式控制系统硬件的核心，负责分析 PLC 软件程序，并可以根据控制指令约束条件，

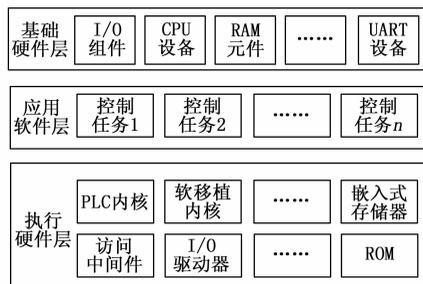


图 1 嵌入式软 PLC 分布式控制系统结构组成图

完成数据样本的处理。嵌入式存储器设备直接控制下级 ROM 结构，其内核组件上集合了多个外设接口，能够满足软 PLC 系统多种不同的控制需求，由于访问中间件、I/O 驱动器设备、ROM 结构之间保持稳定的并列连接关系，所以 PLC 内核、软移植内核、嵌入式存储器单元的任何指令行为都不会对下级设备结构的应用能力造成影响<sup>[8]</sup>。随着嵌入式软 PLC 系统所承担控制指令任务量的增大，应用软件层内控制任务的定义量也会不断增大，直至指令运行量达到系统数据库主机的最大存储条件。

#### 1.3 工作执行机制

简单来说，分布式控制系统工作执行机制就是将嵌入式系统输出的指令程序改写成符合软 PLC 系统运行需求的编码形式，但由于软 PLC 定义标准会随着控制指令累积量的增大而改变，所以初始化控制系统时，要求代码执行文件样本、控制程序编辑序列必须使用相同的定义模板。控制系统开发环境与运行环境是两个完全独立的执行体系，前者通过配置嵌入式硬件设备的方式，确定 PLC 控制网络内编译文本的设置规则，再联合待编辑的控制程序，生成完整的代码执行文件，以供系统控制主机的直接调取与利用；后者可以在初始化控制系统的同时，实施对 PLC 程序的编码，并可以根据程序代码扫描文件中样本序列的定义规则，判断输出代码文件与系统控制需求之间的匹配性关系<sup>[9-10]</sup>。系统开发环境与运行环境之间工作执行机制的对应标准如图 2 所示。

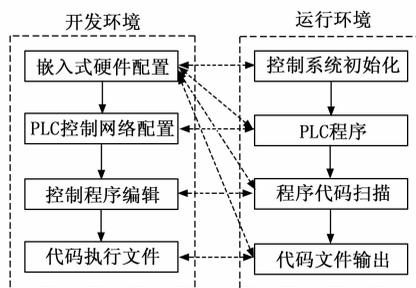


图 2 分布式控制系统执行机制详解图

由于一个嵌入式硬件设备所输出的控制指令需要供给多个运行程序选择，所以开发环境与运行环境之间的对应关系并不满足单一性原则。

## 2 控制系统 I/O 组件设计

基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统的设计, 需借助 I/O 组件完成对 PLC 程序的编写及 CODESYS 工程的设置, 但由于分布式运行体系不仅模式相对较为复杂, 所以为实现对组件设备间连接关系的判断, 还要考虑 I/O 驱动程序的开发与编译原则。

### 2.1 分布式运行体系

分布式运行体系是指主机对象与服务器对象分别对应的系统运行模式, 一般来说, 嵌入式硬件应用平台中的主机对象与服务器对象只能保持一一对应关系, 即随着 PLC 控制程序输出量的增大, 对应映射关系的存在组别数量也会不断增大<sup>[11]</sup>。在软 PLC 控制系统中, 分布式运行体系布局形式如图 3 所示。

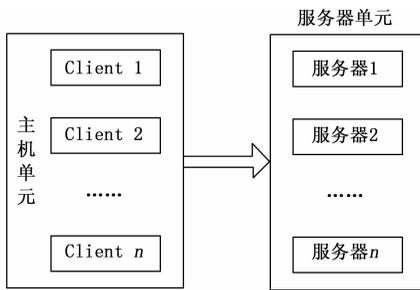


图 3 软 PLC 系统分布式运行体系的基础架构

可以将已编码、未编码的指令程序区分开来, 其中已编码的程序指令直接反馈至服务器单元, 以供其对嵌入式系统运行模式进行准确辨别; 未编码程序指令则会在主机单元中进行二次加工, 当前实时编码格式满足 PLC 控制标准后, 这些程序指令则可以经由反馈信道, 传输至服务器单元。假设 Client 主机输出的指令文件为“1”, 在分布式运行体系作用下, 服务器主机所接收到的指令文件也为“1”。若将此模式应用到基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统中, 就可以认为 PC 端主机所生成指令程序的编码形式, 与 PLC 编程器所接收到的指令程序编码形式保持一致, 且无论 I/O 组件运行模式是否发生改变, 这种分布式编码对应关系都不会发生变化<sup>[12]</sup>。

### 2.2 I/O 驱动开发

I/O 驱动开发就是调动软 PLC 分布式控制系统在嵌入式运行体系内的作用能力, 在控制程序定义标准不同的情况下, I/O 组件的驱动性越强, 就表示待执行控制程序的累积量越大, 当前情况下, 驱动条件对于控制程序的适应能力较弱<sup>[13-14]</sup>。设  $\alpha, \delta$  表示两个随机选取的 PLC 控制向量, 且  $\alpha \neq \delta$  的不等式取值条件恒成立,  $q_\alpha$  表示基于向量  $\alpha$  的 I/O 组件驱动指标,  $q_\delta$  表示基于向量  $\delta$  的 I/O 组件驱动指标, 其求解表达式为:

$$q_\alpha = \frac{\omega_\alpha^2 - \alpha |E_\alpha|}{2\chi_\alpha} \quad (1)$$

$$q_\delta = \frac{\delta |E_\delta| - \sqrt{\omega_\delta}}{\chi_\delta \times \bar{E}^2} \quad (2)$$

式中,  $\omega_\alpha$  表示向量  $\alpha$  方向性驱动系数,  $E_\alpha$  表示向量  $\alpha$  嵌入式系统中的控制指令驱动特征,  $\chi_\alpha$  表示向量  $\alpha$  逻辑控制系数;  $\omega_\delta$  表示向量  $\delta$  方向性驱动系数,  $E_\delta$  表示向量  $\delta$  嵌入式系统中的控制指令驱动特征,  $\chi_\delta$  表示向量  $\delta$  逻辑控制系数,  $\bar{E}$  表示系数  $E_\alpha$  与  $E_\delta$  的平均值。

基于 I/O 组件驱动指标值, 推导软 PLC 分布式控制系统的 I/O 驱动程序开发表达式为:

$$Q_{\omega} = \beta \cdot \frac{(q_\alpha)^2 + (q_\delta)^2}{\sqrt{|\alpha^2 - \delta^2|}} \quad (3)$$

式中,  $\beta$  表示 PLC 控制程序规划系数, 且系数  $\beta$  取值恒大于自然数 1。

在基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统中, 驱动系数与驱动向量的变化趋势保持一致, 但当其取值超过额定限度标准后, 这种取值规则不成立。

通过以上步骤完成 I/O 驱动开发过程, 提高软 PLC 分布式控制系统的调动能力。

### 2.3 PLC 程序编写

PLC 程序编写是解决 PC 端主机所生成指令程序编码格式不统一的必要方法, 可以按照 I/O 驱动开发原则, 确定软 PLC 控制系统指令程序的初始传输位置与目标传输位置<sup>[15-16]</sup>。对于嵌入式系统组件而言, 软 PLC 分布式控制系统执行指令会随着运行时间的延长而不断累积, 故而 PLC 程序编写文本定义标准并不唯一, 而是会随着执行指令累积量的增大而不断改变。设  $\varphi$  表示 PLC 控制指令初始传输位置定义条件,  $\varphi'$  表示控制指令目标传输位置定义条件, I/O 驱动开发原则要求,  $\varphi' > \varphi$  的不等式条件恒成立,  $\epsilon$  表示控制指令编译系数, 在上述物理量的支持下, 联立式 (3), 可将 PLC 程序编写表达式定义为:

$$R = \sum_{\epsilon=1}^{+\infty} \sqrt{\frac{1}{Q_{\omega} \varphi} \left| \frac{r_{\varphi'} - r_{\varphi}}{\varphi \cdot \vec{r}} \right|^2} \quad (4)$$

式中,  $r_\varphi$  表示针对定义条件  $\varphi$  的控制程序编码指标,  $r_{\varphi'}$  表示针对定义条件  $\varphi'$  的控制程序编码指标,  $\vec{r}$  表示指标  $r_\varphi$ 、指标  $r_{\varphi'}$  中值位置处的译码向量, 由于  $r_\varphi$  与  $r_{\varphi'}$  的取值均大于零, 所以  $\vec{r}$  向量取值也恒大于零,  $\varphi$  表示标准译码系数。  $\varphi$  系数大于零表示 PLC 控制程序传输方向为正, 而  $\varphi$  系数小于零则表示 PLC 控制程序传输方向为负。根据式 (4) 完成 PLC 程序的编写, 解决了控制系统中 PC 端主机所生成指令程序编码格式不统一的问题。

### 2.4 CODESYS 工程设置

设置软 PLC 分布式控制系统 CODESYS 工程之前, 需要确认编译好的 PLC 控制程序描述文件安装是否正确, 在嵌入式系统运行模式中, 只有正确的 PLC 程序描述文件能够得到 CODESYS 工程的认证, 而错误的 PLC 程序描述文件则会被系统数据库主机直接存储<sup>[17]</sup>。CODESYS 工程可以在系统控制指令中添加一个独立赋值任务, 当任务优先

级审核标准为“1”时,控制指令直接被 PLC 编程器执行,当任务优先级审核标准为“0”时,控制指令经过 I/O 组件的再次开发,直至其审核标准等于“1”(基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统作为计算机应用系统的一种,所以其在处理控制指令时遵循二进制原则)<sup>[18]</sup>。

基于 PLC 程序编写原则的 CODESYS 工程设置条件满足式 (5):

$$Y = \lambda P - p'R \cdot \left| \frac{\dot{y}_u}{\dot{y}_i} \right|_{u \neq i} \quad (5)$$

其中:  $P$  表示 PLC 程序的优先级判别系数,  $p'$  表示系数  $P$  的补充说明条件,  $\lambda$  表示 CODESYS 工程栈中的标准审核值,  $u, i$  表示两个不相等且不为零的算法执行系数,  $\dot{y}_u$  表示  $u$  系数条件下的控制指令赋值参量,  $\dot{y}_i$  表示  $i$  系数条件下的控制指令赋值参量。在 CODESYS 工程栈结构中, PLC 控制程序描述文件的正确性虽然会影响执行指令输出结果,但却不会对栈元件运行能力造成影响,提高控制系统的运行能力。

### 3 软 PLC 驱动模式

在 I/O 组件结构的作用下,控制实时内核的进入与退出作用,再通过规划分时映像区的方式,推导控制指令逻辑栈表达式,从而实现基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统的设计。

#### 3.1 实时内核的进入与退出

实时内核进入与退出是两个完全相反的执行流程,前者意在将嵌入式软 PLC 控制程序植入分布式执行主机,而后者则可以将已植入控制程序再次移出分布式执行主机,从而释放系统缓存压力,使得 PLC 编程器运行速率加快,PC 端主机输出的指令文件能够得到加密与编辑处理<sup>[19]</sup>。实时内核是一个实体编程结构,可以更改 PLC 程序指令信息的编码形式,但为了保证嵌入式软 PLC 分布式控制系统的执行一致性,内核进入与退出过程所遵循的编码原则完全一致。

实时内核进入编码原则为:

$$A = \left( \frac{Y^3 - s_{\min}}{2\kappa_{\min}} \right)^2 + \left( \frac{Y - s_{\max}}{\kappa_{\max}} \right)^2 \quad (6)$$

式中,  $s_{\min}$  表示软 PLC 控制程序植入特征最小值,  $s_{\max}$  表示软 PLC 控制程序植入特征最大值,  $\kappa_{\min}$  表示分布式植入系数最小值,  $\kappa_{\max}$  表示分布式植入系数最大值。

实时内核退出编码原则为:

$$A' = \frac{\sum_{t=1}^{+\infty} f_t \cdot (\dot{d})G^\mu}{Y} \Bigg|_{\mu \neq 0} \quad (7)$$

其中:  $t$  表示系统缓存参量的最小取值,  $f_t$  表示控制协议移出指令的执行步长值,  $\dot{d}$  表示软 PLC 控制程序移出特征,  $G$  表示 PC 端主机输出指令文件的编程表达式,  $\mu$  表示编码协议作用系数。基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统实时内核结构为空的可能性极小,所以进入与退出编码原则表达式的取值基本不可能为零<sup>[20]</sup>。

#### 3.2 分时映像区

分时映像区是由目标代码和编程协议组成的程序指令目标存储空间,在基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统中,分时映像区覆盖范围越大,表示控制系统数据库主机的存储空间越大,当前情况下,软 PLC 执行程序的存储速率较快,嵌入式应用系统所需承担的执行指令文件也就相对较多<sup>[21-22]</sup>。若将嵌入式软 PLC 分布式控制系统看作非可变频存储环境,则可认为随着软 PLC 控制指令累积量的增大,分时映像区组织会呈现出不断扩张的变化态势,故而在求解映像区表达式时,还要求实时内核进入与退出编码原则之间不可以出现相互违背定义形式。设  $\nu$  表示嵌入式软 PLC 分布式控制系统中的分时标记系数,  $l$  表示基于系数  $\nu$  的软 PLC 控制指令编程向量,  $o$  表示控制指令映像反应系数,  $j$  表示基于系数  $o$  的控制指令编程指征,  $j_{+\infty}$  表示映像反应系数无穷大时的控制指令编程指征,  $\bar{j}$  表示嵌入式控制系统的执行指令编程指征,  $\bar{j}$  表示系数  $j_o$ 、系数  $j_{+\infty}$ 、系数  $\bar{j}$  的平均值,联立上述物理量,可将分时映像区求解表达式定义为:

$$H = (A \times A') \frac{\bar{j}}{l_\nu} \int_{o=1}^{+\infty} \bar{j} (j_{+\infty} - j_o)^2 \quad (8)$$

式 (8) 取值为零,表示分时映像区覆盖空间极小,并不代表嵌入式软 PLC 分布式控制系统中不存在分时映像区空间。

#### 3.3 控制指令逻辑栈

控制指令逻辑栈也叫作 PLC 分布式控制程序的执行协议栈。在嵌入式系统执行环境中,栈文本是具有逻辑约束作用的程序指令,但单一的栈文本并不能决定分布式主机对软 PLC 执行程序的作用能力,故而控制指令逻辑栈的运行还需要 I/O 组件及相关硬件主机的共同配合<sup>[23-24]</sup>。

嵌入式软 PLC 分布式控制系统控制指令逻辑栈作用表达式推导结果满足式 (9):

$$Z = \vec{b} \cdot \times \left| \frac{H[\bar{\omega}(x_c - x_v)^2]}{B \cdot \sqrt{\theta - 1}} \right| \quad (9)$$

式中,  $\vec{b}$  表示嵌入式系统环境中软 PLC 控制指令的执行向量,  $\bar{\omega}$  表示分布执行系数,  $c, v$  表示两个不相等的逻辑行为编码特征,  $x_c$  表示基于特征值  $c$  的控制指令逻辑编码条件,  $x_v$  表示基于特征值  $v$  的控制指令逻辑编码条件,  $\theta$  表示基向量参数,  $B$  表示软 PLC 控制指令的单位累积量。在 I/O 组件等相关硬件应用结构的作用下,条件软 PLC 驱动模式的作用形态,一方面保证逻辑栈文本的顺利执行,另一方面完成对基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统的设计。

## 4 实验分析

#### 4.1 实验步骤

为了验证设计的基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统的有效性,首先,通过式 (1) 和式 (2) 计算得到的 I/O 组件驱动指标值,在 Windows 主机中输入所设计的基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统的 PLC 程序编写表达式,记录 PC 端主机所生成指令程序的编码形式,使其满足式 (5)

的 CODESYS 工程设置条件, 将其与给定的编码原则进行对比, 总结出实验组控制指令的编码原则; 然后, 将各项显示参数归零, 断开 PLC 编程器的所有连线, 将 PC 端主机还原至初始连接状态; 其次, 根据 I/O 驱动开发原则, 在 Windows 主机中输入文献 [4] 系统的 PLC 程序编写表达式, 记录 PC 端主机所生成指令程序的编码形式, 判断其是否满足 CODESYS 工程设置条件, 总结出对照组控制指令的编码原则; 最后, 对比实验组、对照组编码原则, 总结实验规律。

在 PLC 编程器连接回路中, 所有应用开关的连接状态均保持一致, 所以 PC 端主机所生成指令是影响控制程序编码原则的唯一条件。

### 4.2 设备调试

利用 SoftPLC-C650PLC 软件监测 PLC 编程器的运行情况, 当相关配置栏显示情况如图 4 所示时, 闭合控制开关, 进行实验。



图 4 SoftPLC-C650PLC 软件配置

为避免错误识别行为的出现, SoftPLC-C650PLC 软件每次只查看一条指令程序的编码情况。

### 4.3 实验结果

本次实验选取 10 条 PC 端主机指令程序, 及其在 PLC 控制原则下的编码结果, 指令程序编码原则如表 1 所示。

表 1 指令程序编码原则

编号	生成指令	编码结果
1	X0011	-LD0011
2	X0012	-LD0012
3	X0013	-LD0013
4	X0014	-LD0014
5	X0015	-LD0015
6	Y3301	+ORBOOD1
7	Y3302	+ORBOOD2
8	Y3303	+ORBOOD3
9	Y3304	+ORBOOD4
10	Y3305	+ORBOOD5

在实验组、对照组控制系统作用下, 所选定 10 条指令的编码结果分别如图 5 和图 6 所示。



图 5 实验组控制系统指令编码

分析图 5 可知, 在实验组控制系统作用下, PC 端主机所生成指令程序的编码结果与表 1 给定标准完全一致, 即实验组控制系统的编码能力与 PLC 控制原则相符合。



图 6 对照组控制系统指令编码

分析图 6 可知, 当 PC 端主机所生成指令程序为 X0011、X0013、X0014、Y3301、Y3303 时, 对照组控制系统所输出程序的编码结果与表 1 给定标准完全一致; 当 PC 端主机所生成指令程序为 X0012、Y3304、Y3305 时, 对照组控制系统所输出程序虽然能够显示出编码结果, 但其编码形式却与给定 PLC 控制原则不符合; 当 PC 端主机所生成指令程序为 X0015、Y3302 时, 对照组控制系统所输出程序不能显示出编码结果, 即对于所选定 10 条指令, 因为设计系统通过式 (4) 对控制系统进行 PLC 程序编写, 使 PC 端主机所生成指令程序编码格式相统一。而对照组控制系统只能保证 5 条指令的编码结果与 PLC 控制原则相符合。

在此基础上, 对实验组、对照组控制系统指令编码准确性进行统计, 具体实验结果如图 7 所示。

根据图 7 可知, 整个实验过程中, 实验组、对照组控制系统指令编码准确性均保持相对稳定的数值状态。当测试时间为 100 min 时, 实验组、对照组控制系统平均指令编码准确性分别为 91.6% 和 80.5%。由此可知, 实验组控制系统平均指令编码准确性明显大于对照组控制系统平均指令编码准确性, 因为实验组设计了 I/O 驱动开发过程, 提

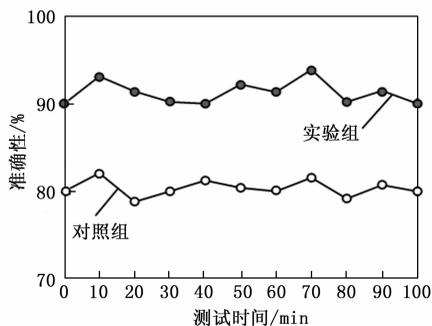


图 7 实验组、对照组控制系统指令编码准确性

高了软 PLC 分布式控制系统的调度能力, 有效提高指令编码准确性。

综上所述, 在基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统的作用下, PC 端主机所生成的 10 条指令程序均满足 PLC 控制原则, 对于保障 PLC 编程器的逻辑编译能力可以起到一定的促进性影响作用, 且能够有效提高指令编码准确性。

## 5 结束语

本文设计了基于嵌入式软 PLC 分布式控制系统, 能够根据软 PLC 定义标准, 确定 PC 端主机的工作执行机制, 再按照分布式运行框架, 分析 I/O 驱动组件的开发能力, 又联合 PLC 应用程序, 判断 CODESYS 工程的运行现状是否符合设计需求。由于实时内核的进入与退出是两个完全不同的指令执行流程, 所以分时映像区结构的取值条件将直接影响控制指令逻辑栈的表达形式。在实际应用方面, 该系统可以使 PC 端主机所生成指令程序满足 PLC 控制原则, 符合保障 PLC 编程器逻辑编译能力的实际应用需求, 并能够有效提高指令编码准确性。

## 参考文献:

[1] 吕卓, 郭志民, 陈岑, 等. 面向智能电网嵌入式设备的网络威胁动态评估方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2022, 48 (2): 324-330.

[2] 邢红星, 魏叶华, 乐懿. 硬件成本缩减的异构分布式嵌入式系统调度算法 [J]. 计算机工程与科学, 2021, 43 (2): 258-265.

[3] 马应林, 康明涛, 张会杰, 等. 基于 EPICS 的粒子加速器辐射安全连锁 PLC 系统设计 [J]. 核电子学与探测技术, 2021, 41 (5): 815-820.

[4] 赵国新, 丁若凡, 游建舟, 等. 基于工控业务仿真的高交互可编程逻辑控制器蜜罐系统设计实现 [J]. 计算机应用, 2020, 40 (9): 2650-2656.

[5] 刘群, 汪啸, 贺博. 基于 IOC 与 PLC 的双光束线真空安全连锁控制系统设计 [J]. 真空科学与技术学报, 2021, 41 (6): 524-527.

[6] 刘家龙, 肖海霞, 余军, 等. 基于 WinCC 和 PLC 的静水压力试验台架电气控制系统设计 [J]. 机床与液压, 2020, 48 (19): 137-142.

[7] 彭梁锋, 崔岗卫, 朱祥. 基于 FANUC 数控系统的拖拽式交

换台 NC-PLC 交互式控制的实现 [J]. 机械设计, 2021, 38 (S1): 198-201.

[8] 刘向辰, 张海燕, 陈磊, 等. 基于改进型模糊自整定 PI 控制的无刷直流电机 PLC 调速系统 [J]. 电机与控制应用, 2020, 47 (6): 12-16.

[9] 赵光同, 曹亮, 周琪, 等. 具有未建模动态的互联大系统事件触发自适应模糊控制 [J]. 自动化学报, 2021, 47 (8): 1932-1942.

[10] 李炜, 魏凯锋, 李亚洁, 等. DoS 攻击下 CPS 双重安全控制与通讯的协同设计 [J]. 兰州理工大学学报, 2020, 46 (6): 85-97.

[11] 左高, 张超, 陈毓春, 等. 基于区间直觉模糊群决策的分布式光伏运维综合评估 [J]. 中国电力, 2021, 54 (8): 154-163.

[12] 庞宁, 黄安子, 李颖杰, 等. 基于云平台的分布式资源智能监控结构体系研究 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2022, 43 (2): 120-126.

[13] 余劲, 黄皓, 诸渝, 等. DBox: 宏内核下各种设备驱动程序的高性能安全盒 [J]. 计算机学报, 2020, 43 (4): 724-739.

[14] 安仲奇, 张云尧, 邢晶, 等. 基于用户级融合 I/O 的 Key-Value 存储系统优化技术研究 [J]. 计算机研究与发展, 2020, 57 (3): 649-659.

[15] 李学良, 赵千川, 杨文, 等. PLC 指令表程序的一种语法分析方法及其在代码静态测试上的应用 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2021, 61 (10): 1159-1165.

[16] 彭梁锋, 崔岗卫, 朱祥. 基于 FANUC 数控系统的拖拽式交换台 NC-PLC 交互式控制的实现 [J]. 机械设计, 2021, 38 (S1): 198-201.

[17] 卫星光, 房方, 刘玉升. 基于自适应观测器的燃气轮机控制系统传感器故障容错控制 [J]. 中国电机工程学报, 2021, 41 (19): 6658-6670.

[18] 王震宇, 孙伟, 蒋栋. 基于虚拟电压注入的闭环磁链观测器的感应电机无速度传感器矢量控制系统 [J]. 电工技术学报, 2022, 37 (2): 332-343.

[19] 蓝志豪, 王建国, 冀慧君, 等. VxWorks 下内核映像十可下载模块的发控软件设计研究 [J]. 火力与指挥控制, 2022, 47 (4): 110-112, 119.

[20] 袁俊杰, 朱鹏程. 基于 ARM 和 FPGA 的软体机器人的 CAN 总线运动控制器的设计 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20 (20): 8261-8267.

[21] 汤家有, 彭言辉, 魏建辉. 基于电流反馈控制的天然气喷射阀高低压分时驱动电路的设计和试验 [J]. 内燃机工程, 2020, 41 (4): 87-92.

[22] 黄昕昱, 徐千鸣, 拓超群, 等. 具有故障限流功能的线间直流潮流控制器及其控制方法 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45 (23): 132-140.

[23] 李恒辉, 郭交, 韩文霆, 等. 栈式稀疏自编码网络的多时相全极化 SAR 散射特征降维 [J]. 遥感学报, 2020, 24 (11): 1379-1391.

[24] 黄宇涛, 普运伟, 吴海潇, 等. 基于栈式自编码机和模糊函数主脊的雷达辐射源信号识别 [J]. 电波科学学报, 2020, 35 (5): 689-698.