

梯形图设计软件的重构技术

王 婷

(杭州电子科技大学 智能与软件技术研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要:为解决梯形图(LD)设计过程中大量复用片段引起的设计繁琐等问题,提出了将重构技术应用于梯形图设计软件中的相关理论研究和实现。该理论包含梯形图构件模型和构件重构模型,着重探讨了构件组装方式和构件间结构关系,最终实现了梯形图程序设计的动态可重构。实验结果表明,该设计软件可有效地提高梯形图设计效率,优化内存利用率,并且具有广泛的通用性和适应性。

关键词:梯形图;重构;复合构件;设计效率

中图分类号:TP311

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)05-0102-05

Refactoring technique in ladder diagram design software

WANG Ting

(Institute of Intelligent and Software Technology, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problem of complicated design caused by reusable program segments through the process of ladder diagram (LD) design, refactoring technique was applied to ladder diagram design software related theory and implement. It was involved that LD component model and component refactoring model, and the composition approach and structural relationship of components were mainly discussed. Finally, reconfigurable LD program design was implemented. The experiment result shows that the design software can effectively improve the efficiency of LD design, optimize the utilization of memory, and show widely generality and adaptability.

Key words: ladder diagram (LD); refactoring; composite component; design efficiency

0 引 言

随着嵌入式系统的发展以及构件化软件设计方法不断完善,构件技术逐渐成为嵌入式软件开发研究的主流。国外已经提出的嵌入式构件模型有:飞利浦公司应用于消费电子的 Koala 构件模型^[1],ABB 等公司应用于现场设备技术的 PECOS 构件模型^[2],Arcticus 系统公司应用于建筑设备的 Rubus 构件模型^[3],Malardalen 大学的 Ivica Crnkovic 等人应用于汽车电子领域的 SaveComp 构件模型^[4]等。国内相关的研究有科泰世纪公司的 ez-COM 模型^[5],科银京成公司的 DeltaCORBA 模型^[6],应用于智能家电控制的嵌入式软件源码构件模型^[7]等。上述模型大多面向特定领域,在工业逻辑控制编程方面 Ljungkrantz Oscar 等人提出了复用构件^[8],但尚未涉及梯形图软件重构方面的研究。

梯形图程序通常存在大量复用片段,设计过程周期较长,而程序长时不易编辑和修改。采用重构技术将复用部分封装成一个独立的功能块,不仅能简化程序,保证程序正确性,也能为后续设计带来便利。

本研究首先从分析梯形图元素特点出发,建立梯形图构件模型,包括构件的形式化、图形化描述和分类;在此基础上定义构件间连接关系,由于图形元素的布局具有一定规范,构件之间通过接口状态和构件位置建立其结构关系;然后进一步介绍构件重构模型;最后结合 3 层电梯程序,给出重构方法与传统方法在效率上的比较。

1 梯形图构件模型

构件模型以形式化方式描述了构件的结构、语义

和非功能特性,是分析和评价构件行为和性能的依据^[9-10]。嵌入式构件模型的研究方向主要有面向特定应用的嵌入式构件模型和剪裁通用构件模型得到的嵌入式构件模型两种,本研究提出一种面向 PLC 领域的梯形图构件模型。

1.1 梯形图构件的形式化描述

定义 1 梯形图构件接口类型

梯形图构件的接口根据其用途可定义为两类:逻辑关系接口和数据接口。逻辑关系接口包括串联接口和并联接口两种,数据接口包括输入数据接口、输出数据接口和辅助数据接口 3 种。

采用统一的构件表达形式,梯形图构件可表示为 LDC <Name, ID, PI, RI, Property, Specification >, 其中:

- (1) Name 为构件的名称,简要描述构件实现的功能;
- (2) ID 为构件的标识符,在整个梯形图程序中是唯一的;
- (3) PI 为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 为构件内部所包含属性的集合,是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构件实现的方法及功能。

功能块构件的图形化表示如图 1 所示。

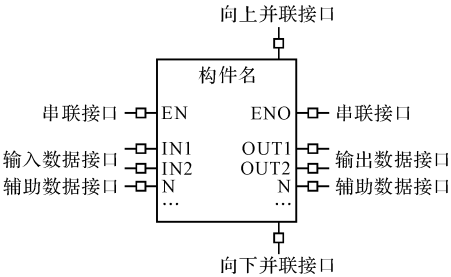


图 1 功能块构件的图形化表示

1.2 构件分类

梯形图构件按其粒度大小可分为原子构件和复合构件^[11] (Composite Component, CC) 两类。

原子构件是粒度最小的构件。面向对象中的基类就是其典型代表。梯形图构件中触点构件、线圈构件、横线构件、竖线构件及简单功能块构件都是原子构件。

复合构件由一组紧密协作的成员构件及其关系组成,它是大粒度的复用单元,其成员构件既可以是原子构件,又可以是复合构件。除了接口信息之外,复合构件还包括内部成员构件的组成、成员构件的实例化、成员构件之间的连接以及外部接口到内部成员构件接口的映射等内部结构信息。复合构件的优势在于最小化所包含构件组的接口数量。按照组装时对构件的了解程度和复用方式可分为黑盒组装、白盒组装和灰盒组装^[12]。

本研究所描述的梯形图构件,采用的是灰盒组装技术,通过调整构件的组装机制而不是修改构件来满足应用系统组装的需求,既实现了构件组装的灵活性,又不至于过于复杂。设计人员只需懂得如何设计梯形图,并了解各构件实现的功能及相应参数的作用,便可对其进行配置或修改,满足灵活多变的需求。

2 梯形图构件重构方法

2.1 梯形图构件组装

现有构件组装方法通常采用消息传递机制^[13],可分为两类:直接消息传递和间接消息传递。其中直接消息传递发送对象必须知道接收对象的特性,直接调用接收对象。EJB、COM 和 UML2.0 组装时都采用直接消息传递,这些构件通常是对象,如图 2(a) 所示。间接消息传递时,构件间通过连接器连接传递消息。ADLs、Koala 和 PECOS 组装时都采用间接消息传递,这些构件通常是结构单元,如图 2(b) 所示。

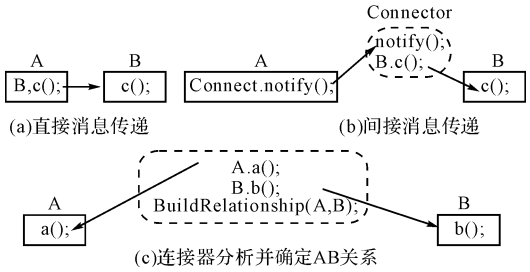


图 2 构件组装方式

在梯形图构件重构过程中,构件间不直接传递消息,它们只与连接器相关。是否形成连接关系由连接器分析决定,连接器主要分析逻辑关系接口状态和构件位置,如图 2(c) 所示。连接器在获得构件 A 和 B 的位置、大小、逻辑关系接口状态等信息后,经分析构件结构关系得出是否存在连接,若存在则建立连接。梯形图设计器左上角坐标为(0,0),其中 X 值向右递增,Y 值向下递增。逻辑关系接口状态包括 TRUE 和 FALSE 两种,TRUE 表示可以提供或需要能量流,FALSE 表示中断能量流。梯形图构件的串联接口状

态始终为 TRUE, 并接口状态在设计梯形图时设定。

2.2 梯形图构件结构关系

连接器分析得出的梯形图构件间连接关系主要有串联关系和并联关系两种。下面给出建立这两种关系的形式化描述。其中 $LocationX(LDC)$ 表示构件位置的 X 值, $LocationY(LDC)$ 表示构件位置的 Y 值, $Height(LDC)$ 表示构件的长度, $Width(LDC)$ 表示构件的宽度。

定义 2 梯形图构件串联关系

对于处于同一行的两个梯形图构件 LDC_1 、 LDC_2 , 假设 $LocationX(LDC_1) < LocationX(LDC_2)$, 如果满足以下两个条件之一, 则称这两个梯形图构件形成串联关系:

(1) $LocationX(LDC_1) + Width(LDC_1) = LocationX(LDC_2)$, 即两个构件通过串联接口直接连接;

(2) 有 n 个横线构件 ($Row_1, Row_2, \dots, Row_n$) 与这两个构件处于同一行, 且

$LocationX(LDC_1) + Width(LDC_1) = LocationX(Row_1)$,
 $LocationX(Row_1) + Width(Row_1) = LocationX(Row_2)$,

$\dots$,

$LocationX(Row_n) + Width(Row_n) = LocationX(LDC_2)$,

即两个构件之间由 n 个横线构件连接。

定义 3 梯形图构件并联关系

对于处于同一列的两个梯形图构件 LDC_1 、 LDC_2 , 假设 $LocationY(LDC_1) < LocationY(LDC_2)$, 如果满足以下两个条件之一, 则称这两个梯形图构件形成并联关系:

(1) LDC_1 的向下并联接口状态为 TRUE, LDC_2 的向上并联接口状态为 TRUE, 且 $LocationY(LDC_1) + Height(LDC_1) = LocationY(LDC_2)$, 即两个构件通过并联接口直接连接;

(2) 有 n 个竖线构件 ($Col_1, Col_2, \dots, Col_n$) 与这两个构件处于同一列, LDC_1 的向下并联接口状态为 TRUE, LDC_2 的向上并联接口状态为 TRUE, 竖线构件的向上和向下并联接口状态均为 TRUE, 且

$LocationY(LDC_1) + Height(LDC_1) = LocationY(Col_1)$,
 $LocationY(Col_1) + Height(Col_1) = LocationY(Col_2)$,

$\dots$,

$LocationY(Col_n) + Height(Col_n) = LocationY(LDC_2)$,

即两个构件之间由 n 个竖线构件连接。

梯形图构件之间形成上述两种连接关系后, 组合形成梯形图程序, 以实现某个特定功能。数据连接分为专用输入/输出参数连接和一般数据连接两种, 如图 3

所示, 带箭头的连线为专用输入/输出参数连接。专用输入和输出参数 EN/ENO 用来控制梯形图构件的执行, 如果 EN 求值为 FALSE, 不执行该构件且输出参数 ENO 也被置为 FALSE, 如果 EN 求值为 TRUE, 将该构件的数据传送到下一个与之连接的构件。

图 3 中, LDC_1 和 LDC_2 、 LDC_3 和 LDC_4 形成串联关系, LDC_4 和 CC_3 形成并联关系, LDC_1 和 LDC_2 组装成复合构件 CC_1 , LDC_3 、 LDC_4 和 CC_3 组装成复合构件 CC_2 , 其中复合构件 CC_3 作为一个粒度更大的构件被重用。

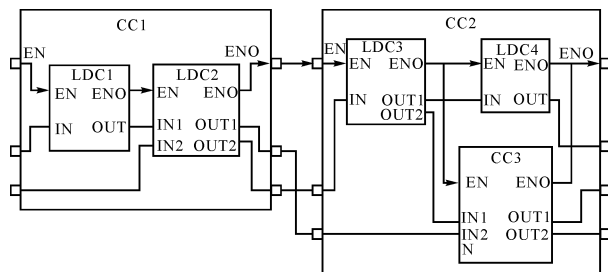


图 3 构件重构结构关系图

2.3 构件重构模型

构件重构模型由以下 3 部分组成: 用户界面模块、构件库和外部代码生成器, 如图 4 所示。

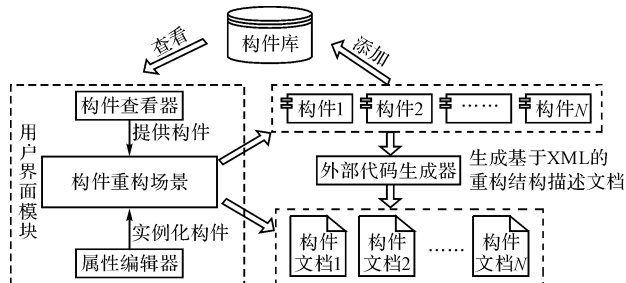


图 4 梯形图构件重构模型

用户界面模块包括构件重构场景、构件查看器、属性编辑器等。用户界面模块是一个提供可视化操作的图形界面, 主要实现构件浏览、选择、配置、部署等多方面功能。构件查看器用来查看和选择构件库中已有构件, 提供的信息主要有构件名称、逻辑关系接口、数据接口、功能说明、分类等。属性编辑器与当前选中的构件绑定, 是配置并实例化构件的场所。

构件重构场景是构件的容器, 负责配置和部署构件, 管理实例化的构件组, 提供拖放、选中、移动、缩放、剪切、复制、粘贴、删除构件等功能。重构场景支持构件图形化方法的表示, 包括所有的构件实例及它们之间的连接关系, 并分析这些实例类型和串并联关系, 最终形成梯形图构件结构关系。通过重构场景设计完成后的构件可添加到构件库。

外部代码生成器生成基于 XML 的构件重构描述说明, 描述构件重构配置的基本信息, 同时可将这些信

息重新反馈到构件重构场景,用来查看或修改复合构件的具体设计方案。

3 应用实例

为了验证方法的有效性,本研究设计了多个梯形图程序进行实验,并分别使用传统方法和重构方法进行相关数据的比较。这里给出使用两种方法设计3层电梯程序时的实验数据。

该实验的测试环境是 Windows XP 操作系统,512 MB 内存和 Microsoft Visual Studio2005 开发环境。根据程序中复用情况设计复合构件,下面列举其中的两个:各楼层指示灯和上/下行接触器的设置。实现这两个功能的梯形图结构,如图 5 所示。各楼层指示灯模块中,除楼层、每层楼指示灯和按钮所对应的不同继电器需要单独设置外,其余参数都可作为内部变量而不提供外部修改;上/下行接触器模块中,上行和下行是对应的过程,共同部分都可作为内部变量。

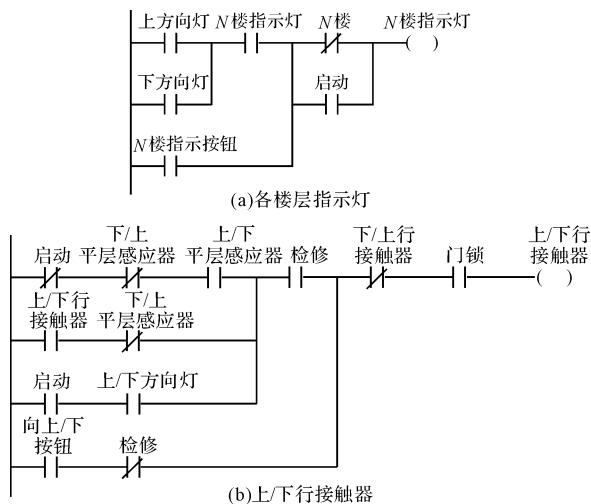


图 5 电梯梯形图程序重用片段

根据复合构件参数设置形成的图形化描述,如图 6 所示。各楼层指示灯模块中 FloorN、ButtonN 和 LightN 分别表示楼层、楼层按钮和楼层指示灯所对应的继电器;上/下行接触器模块中 Sensor1、Sensor2、Contactor1、Contactor2、Light 和 Button 分别表示下/上平层感应器、上/下平层感应器、下/上行接触器、上/下行接触器、上/下方向灯和向上/下按钮所对应的继电器。

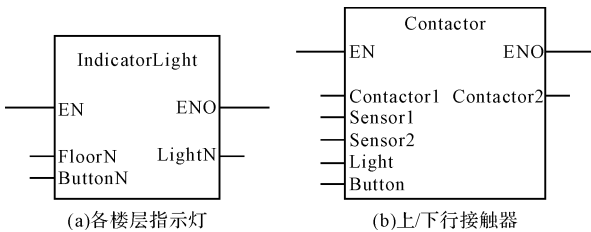


图 6 复合构件图形化表示

重构前后两个模块的相关数据比较如表 1 所示,从表中可知,在设计两个模块对应的程序时,重构程序的操作步骤较传统程序有大比例的减少。梯形图程序中,复合构件的复用频率越高,设计时操作数的减少量就越多。

使用复合构件前后效率对比如表 2 所示。梯形图程序在文件大小、构件个数、加载时间上进行比较,使用复合构件后构件数目急剧减少,同时文件大小和文件加载时间也随之减少。

表 1 重构前后模块相关数据对比

	各楼层指示灯			上/下行接触器		
	重构前	重构后	减少率 / (%)	重构前	重构后	减少率 / (%)
构件个数	9	1	88.9	17	1	94.1
参数设置个数	7	3	57.1	13	6	53.8
连接设置个数	20	2	90	36	2	94.4

表 2 使用复合构件前后效率对比

	不使用复合构件程序	使用复合构件程序	减少率 / (%)
文件大小	183 KB	138 KB	24.59
构件个数	332	232	30.12
加载时间	843 ms	625 ms	25.86

4 结束语

本研究将重构技术应用到 PLC 领域,提出并实现了构件支持下的梯形图设计软件。与现有方法相比,采用构件制作及重构技术能有效地提高梯形图程序的设计效率,降低程序耦合性,具有较强的可扩展性,同时为梯形图转化成其他语言奠定基础。

复合构件参数个数设置较多时,图形化表示中参数列表相应变长,会影响梯形图程序的易读性;如何确定合适粒度的复合构件和相应的度量准则,目前还缺乏统一的标准,这些都是今后进一步研究的重点。

参考文献(References):

[1] OMMERING R V, LINDEN F V D, KRAMER J, et al. The koala component model for consumer electronics software [J]. **IEEE Computer**, 2000, 33 (3) : 78 - 85.

[2] WINTER M, GENBLER T, CHRISTOPH A, et al. Components for Embedded Software-The PECOS Approach [C]. Proc. Second International Workshop on Composition Languages. Malaga: [s. n.], 2002.

[3] ISOVIC D, NORSTROM C. Components in real-time system [C]. Proc. RTCSA 2002, 8th International Conference on Real Time Computing Systems and Applications. Tokyo: [s. n.], 2002.

(下转第 110 页)

知,虽然减重力有一定的相对波动,但减重支撑系统基本上可以达到对患者的减重需要^[9-10]。图 6 和图 7 说明外骨骼助行腿、跑步机和减重支撑系统三者之间得到了很好的协调控制。

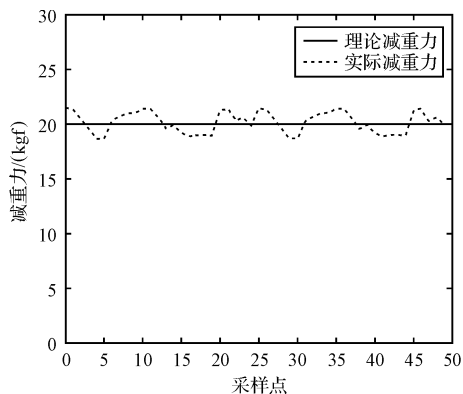


图 7 减重 20 kg 曲线

4 结束语

本研究提出的步行康复训练机器人的协调控制方法得到了实验验证。实验结果表明,此控制方法可以实现步行康复训练机器人的协调控制性能指标,并为以后的研究提供了重要参考依据。

在下一阶段,本研究将通过真人减重步行训练实验来进一步验证步行康复训练机器人的协调控制方法。由于真人减重步行训练与假人减重步行训练有较大的差异,因此在今后的研究中,需要进一步改进该协调控制方法,减少实验误差,以实现对患者较好的康复训练。

参考文献 (References):

- [1] HESSE S, KONRAD M, UHLENBROCK D. Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects[J]. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 1999, 80(4): 421 - 427.
- [2] OU M, XIUMIN D, LUCAS M, et al. Dynamically removing partial body mass using acceleration feedback for neural training[C]//Proceeding of the 2007 IEEE 10th International Conference. The Netherlands: Rehabilitation Robotics, 2007: 1102 - 1107.
- [3] MARTIN F, GERY C, MARTINO V, et al. A novel mechatronic body weight support system[J]. *Neural System and Rehabilitation Engineering*, 2006, 14(3): 311 - 321.
- [4] VISINTIN M, BARBEAU H, KORAER-BITENSKY N, et al. A new approach to retrain gait in stroke patients through body weight support and treadmill stimulation[J]. *Stroke*, 1998, 29(6): 1122 - 1128.
- [5] COLBY S M, KIRKENDALL D T, BRUZGA R F. Electromyographic analysis and energy expenditure of harness supported treadmill walking: implications for knee rehabilitation[J]. *Gait Posture*, 1999, 10(3): 200 - 205.
- [6] MACKAY-LYONS M, MAKRIDES L, SPETH S. Effect of 15% body weight support on exercise capacity of adults without impairments[J]. *Physical Therapy*, 2001, 81(11): 1790 - 1800.
- [7] 杨 辉, 章亚男, 沈林勇, 等. 下肢康复训练机器人减重支撑系统的研究[J]. *机电工程*, 2009, 26(7): 29 - 31.
- [8] 冯治国. 步行康复训练助行腿机器人系统[D]. 上海: 上海大学机电工程与自动化学院, 2009: 54 - 57.
- [9] 刘 辉, 时国平. 回转窑窑衬清理机器人控制系统[J]. *轻工机械*, 2009(1): 65 - 68.
- [10] 汪秉权, 章王伟. 基于虚拟仿真的回足机器人行走研究[J]. *轻工机械*, 2009(3): 5 - 7.

[编辑: 柴福莉]

(上接第 105 页)

- [4] HANSSON H, ÅKERHOLM M, CRNKOVIC I. SaveCCM: A Component Model for Safety-Critical Real-Time Systems [C]//30th EUROMICRO Conference. Rennes: [s. n.], 2004: 627 - 635.
- [5] 科泰世纪公司. 《和欣 1. 1》资料大全[EB/OL]. [2004 - 09 - 01]. <http://www.koretide.com.cn/download.php?DownloadId=3>.
- [6] 科银京成公司. “道系统”技术白皮书[M]. 北京: 科银京成公司, 2006.
- [7] 高峰, 邓 勇, 桑 楠. 一种智能家电嵌入式软件源码构件的设计模式[J]. *计算机应用*, 2005, 25(B12): 468 - 470.
- [8] OSCAR L, KNUT Å, MARTIN F. Formal Specification and Verification of Components for Industrial Logic Control Programming[C]//4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering, CASE 2008. Washington: [s. n.], 2008: 935 - 940.

- [9] 贾 育. 基于演化计算构件的软件复用方法[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2002.
- [10] JOHN K H, TIEGELKAMP M. IEC61131 - 3: 工业自动化系统的程序编制[M]. 中国机电一体化技术应用协会秘书处, 译. 北京: 中国机电一体化技术应用协会, 2002.
- [11] 杨芙清, 梅 宏, 李克勤. 软件复用与软件构件技术[J]. *电子学报*, 1999, 27(2): 68 - 75.
- [12] 王志坚, 费玉奎, 姜渊清. 软件构件技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [13] LAU Kung-kiu, LING Ling, WANG Zheng. Composing Components in Design Phase using Exogenous Connectors [C]//32nd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA. Hongkong: [s. n.], 2006: 12 - 19.

[编辑: 李 辉]