

文章编号:1002-0411(2004)03-0332-05

现场总线功能块的实例化

吕勇, 王天然, 于海斌, 王宏

(中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:首先介绍了基金会现场总线功能块的特点,在此基础上提出了功能块实例化的概念.然后分析了在实现功能块实例化中使用到的动态对象字典(OD)、统一的服务和函数指针技术等几项关键技术.最后阐述了功能块的实例化技术在实现复杂控制的并行计算和减少总线网络的通讯负担方面所起到的重要作用.

关键词:现场总线;实例化;功能块

中图分类号:TP13

文献标识码:B

Instantiation of Fieldbus Function Block

LÜ Yong, WANG Tian-ran, YU Hai-bin, WANG Hong

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: The concept of the instantiation of fieldbus function blocks is proposed based on the characteristics of the foundation fieldbus function blocks. Key techniques such as dynamic object dictionary (OD), universal service function and function point, in instantiation of fieldbus function block are analyzed. The significance of instantiation of fieldbus function block in the realization of parallel computing of complex systems and reduction of communication burden of bus networks is studied in the end.

Keywords: fieldbus; instantiation; function blocks

1 引言 (Introduction)

现场总线技术适应了工业控制系统的分散化、网络化和智能化的要求,是当今控制系统的主流^[1-3].

基金会现场总线(FOUNDATION Fieldbus)作为现场总线的主导技术之一,在过程控制领域得到了广泛的应用.基金会现场总线的体系结构采用了OSI七层模型中的物理层、数据链路层和应用层,并且在应用层之上增加了用户层.用户层由预先定义的标准功能块和用户自定义的功能块构成.

功能块(Function Block)是基金会现场总线最具特色的技术之一,每一种功能块代表一种独立完整的控制功能.功能块是组成控制应用的逻辑单元,所有控制应用都是由一个或多个功能块构成.构成控制应用的功能块可以是在同一个设备中,也可以分散在多个设备中,通过适当的组态完成控制算法.功能块不但能够根据现场数据执行控制功能,而且具有自诊断、自适应的能力.所以,功能块是一种面

向工业现场的、智能化的控制模块^[4,5].

用户根据控制要求选择功能块并对功能块的执行调度进行组态,完成特定的控制任务.目前,大多数基金会现场总线设备中的功能块的种类和个数都是固定的,而设备生产厂商不能预知某个设备的应用场合,因此不能预先在设备中按照某个特定控制要求放置特定种类和数量的功能块.另一方面,由于嵌入式系统的资源是很有限的,所以一个设备中所包含的功能块的种类和个数也是有限的,这限制了用户对设备的选择.用户在实现特定的任务时,必须挑选含有所需要功能块的设备,并且进行适当的逻辑组态和物理安装.这样不仅增加了使用的复杂性,而且也造成了资源的浪费,限制了使用的灵活性.

鉴于上述原因,本文提出了基于功能块的实例化的解决方案.本方案不但提高了功能块使用的灵活性,使功能块可以完成复杂控制算法的并行计算,而且减少了网络通信的负载.

本文首先介绍功能块的特点,然后提出功能块实例化的概念,分析功能块实例化对基金会现场总

线控制机制所带来的优点,并探讨了功能块实例化实现方面的关键技术问题,最后得出结论,并指出了进一步的改进方向。

2 功能块的特点 (Features of function block)

现场总线基金会(Fieldbus Foundation)定义了一些标准的功能块,例如 AI(Analog Input)、AO(Analog Output)和 PID(Proportional Integral Derivative)等;同时也支持开发商根据特定的控制要求定义特定的柔性功能块(Flexible Function Block, FFB)。功能块的参数分为输入参数(例如 IN 参数)、输出参数(例如 OUT 参数)和内含的参数(例如 MODE 参数)三种。功能块的控制算法是,根据用户设置的内含参数,选择不同的处理方式对输入参数进行处理,得到输出。

功能块具有以下特点:

- 互操作性。

在现场总线基金会定义的设备描述(Device Descript)下,各个厂家定义的功能块可以进行无缝的互操作。功能块采用面向对象的设计思想,对参数进行了封装,因而具有很高的独立性。功能块定义了统一的接口,调用基金会现场总线协议栈所提供的服务,完成与其他功能块或系统管理之间的信息交换,这使得功能块具有很强的互换性和互操作性。

- 功能的不可再分性。

一个功能块是一个以数据结构为核心的软件逻辑处理单位,完成一个独立而完整的控制功能。可以通过对内含参数的修改来改变功能块的控制算法,在特定的控制算法下,输入参数和输出参数也可以在线修改。

- 应用的灵活性。

用户可以通过组态软件,根据控制要求选择在不同或相同设备中的功能块组成控制应用完成控制任务。系统管理根据用户的组态信息,对每个功能块的执行进行统一调度。这使得在物理上离散的设备,在逻辑上得到了统一和集中,实现了横向集成。

一个现场设备可以包含多个功能块,在一个设备中的功能块可以与同一个设备中的功能块组成一个控制应用,也可以和不同设备中的功能块组成控制应用。

3 功能块的实例化 (Instantiation of function blocks)

功能块的实例化是指用户通过组态软件,在现场设备中动态添加或者删除功能块,使设备的资源得到充分合理的利用。动态添加的功能块的种类可以是标准的功能块,也可以是设备制造商定义的柔性功能块。实例化的功能块个数根据设备所能提供的资源情况而定。

现场设备支持功能块的实例化技术后,设备中的功能块的种类和个数就可以是不固定的。用户可以在任何一个设备中,根据控制需要动态增加和删除功能块。这不但突破了设备物理安装位置对功能块所在位置的限制,使设备的应用更加灵活,而且更加充分地使用了各个现场设备中的资源。

采用实例化技术在设备中动态添加和删除功能块时,将造成功能块在设备对象字典(OD)中的索引发生变化,需要重新计算各个功能块的 OD 索引。而对功能块进行访问时,大多数都是通过功能块的 OD 索引实现的。因此,对 OD 索引的正确维护是实现功能块实例化的关键。

为了便于对 OD 索引的计算和维护,对功能块进行统一管理是十分必要的。对功能块进行统一管理的概念除了统一计算和分配 OD 索引之外,还有一个重要的方面就是对功能块提供统一的服务。

功能块在执行过程中,需要响应协议栈的读、写等服务请求;同时,功能块也需要调用协议栈所提供的发送趋势数据和报警等服务来完成自身的控制任务。因此,为了在增加和删除功能块时,不影响这些服务,需要对服务进行统一的管理。为此,将这些服务独立于功能块和协议栈之外,形成一个 Shell 层,为功能块和协议栈之间提供透明的服务,如图 1 所示。Shell 层中的所有服务在访问功能块时,都是通过功能块的 OD 索引来完成的。因此,只要在添加和删除功能块时,正确计算其 OD 索引,Shell 层就能提供正确的服务。

此外,为了进一步提高功能块的独立性和自治性,使得在对功能块进行统一管理时仍然能对功能块进行正确调度,在功能块的实现过程中使用了函数指针的技术。在功能块的数据结构中包含函数指针,通过函数指针来调用与功能块密切相关的计算(例如各种功能块特定的算法,工作模态的计算等),相当于在嵌入式系统中引入了类(Class)的概念。实例化的多个相同种类的功能块通过函数指针调用同一个服务函数,这不仅大大简化了功能块实例化的编程工作,节省了代码空间,而且使得功能块的体系结构更加合理和紧密。

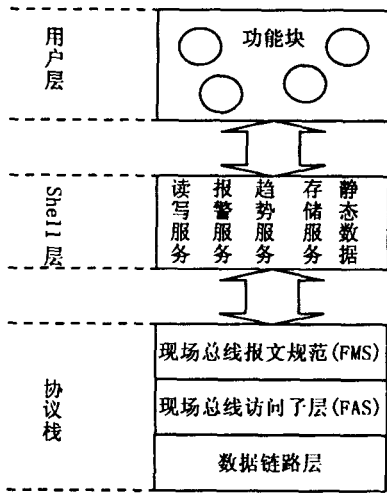


图1 Shell层为功能块提供统一的服务
Fig.1 Shell layer provides services to function blocks

采用以上的技术,我们已经实现了功能块的实例化,并且通过了现场总线基金会的互操作测试.

4 功能块实例化技术的优点 (Virtues of instantiation of function blocks)

功能块的实例化技术对控制系统的结构和控制算法也产生了巨大的冲击.结合柔性功能块灵活的控制功能,合理安排功能块的调度执行,功能块的实例化技术具有以下两个重要优点:

4.1 完成复杂控制算法的并行计算

尽管一个设备中可以有不同种类的一个或多个功能块,但是在功能块进行调度时,一个设备中最多只可能有一个功能块得到调度执行,也就是说在同一个设备中的功能块是串行执行的.对于一些复杂的控制算法,需要多个功能块协同工作才能完成.为了保证在一个控制周期内能够完成预定的控制算法,就必须把这些功能块合理地分散到多个设备中进行调度,使它们得到并行执行,才能满足控制要求和实时性要求.

考虑如图2所示的控制系统,该控制系统包含三个设备,分别是设备1、设备2和设备3.设备1和设备2中各自包含两个AI功能块,分别对四个物理量进行采样.设备3中包含FB1、FB2、FB3和AO这四个功能块,其中FB1和FB2是运算量大、执行时间长的功能块,这两个功能块分别对设备1和设备2采样得到的结果进行处理.它们处理得到的结果再经过FB3进行进一步计算得到控制量,由AO功能块发送到执行器完成控制.

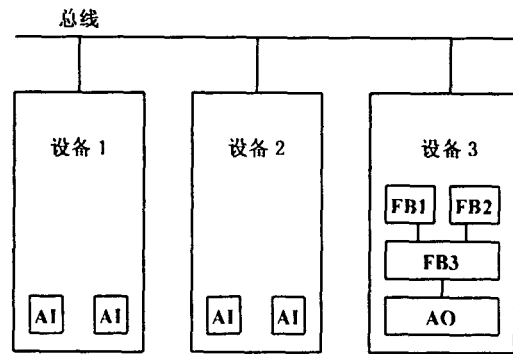


图2 复杂控制算法的串行计算
Fig.2 Serial calculation of complex control system

如果按照这样安排控制系统,设备1和设备2只完成了采样功能,所承担的计算量很少,因而这两个设备的大部分CPU时间都是空闲的;而设备3中的CPU要完成整个控制算法的大部分计算.从对资源的有效利用的角度来看,这样的安排显然是不合理的.另一方面,从控制实时性的角度来看,设备3中有四个功能块需要串行执行,所需要的执行时间将是这四个功能块执行时间之和.并且,由于其中的功能块FB1和FB2的执行时间较长,因此设备3完成四个功能块的全部执行将耗费很长时间.为了使设备3能在一个控制周期内完成全部控制计算任务,不得不采用较长的控制周期,这使得整个控制算法的实时性难以保证,尤其是在一些过渡过程较快,或者被控对象波动较大的控制环境中,这一问题更为突出.此外,在设备3中,由于执行功能块占用了绝大部分的CPU处理时间,这样就造成该设备中的其他任务(例如显示数据)得不到及时的调度,影响了控制系统的性能.

为了解决上述问题,重新设计了并行的控制系统,如图3所示.分别将功能块FB1和FB2放在设备1和设备3中执行,由它们对各自所在设备中采样得到的数据进行处理,然后再将处理结果发送到设备3中,由FB3计算出控制量进行控制.

采用这样的并行控制结构,功能块FB1、FB2和FB3分别在三个设备中执行,较为合理地利用了现场设备的资源.由于这三个功能块是在不同的设备中,因此它们可以同时得到调度,实现并行执行.对于FB1和FB2这两个执行时间长而且相互之间的执行没有任何关联的功能块,并行执行可以在很大程度上缩短控制算法的运算周期,从而提高系统的实时性.运算周期的缩短,还可以使系统在单位时间内完成较多次数的控制计算和输出,从而可以对过

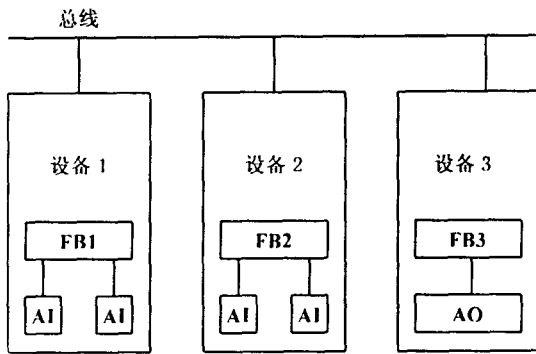


图3 复杂控制算法的并行计算

Fig.3 Parallel calculation of complex control system

渡过程时间较短的被控对象进行控制,扩展了设备的使用范围.另一方面,由于计算任务是由三个设备共同承担的,因此每个设备的计算量都不太大,可以有较为充裕的CPU时间处理设备中的其他任务.此外,从通信的角度来看,采用原来的串行控制结构,设备3需要通过总线接收4个数据,而采用并行控制结构却只需要接收2个数据就可以了.因此,采用并行的控制结构,还减少了网络通信的负担,从而减少了通信错误的概率,提高了控制系统的稳定性.

对于不支持功能块实例化的设备,为了完成上述由串行控制结构到并行控制结构的改变,用户需要购买分别同时支持AI、FB1和AI、FB2的设备来替换原来的设备1和设备2,这不但造成了投资的增加,而且也限制了用户对设备的选择.除此之外,对新设备的重新安装要导致长时间的停产,这又是一笔不小的损失.而对于支持实例化的设备,用户只需要通过组态软件在设备1和设备2中分别实例化功能块FB1和FB2,然后重新对控制系统进行组态,就可以完成由串行控制到并行控制的改变,不需要任何硬件投资和物理安装.这不但节省了资金,而且完成控制系统的转变只需要几分钟,几乎不影响正常生产.

4.2 减少网络通信负担

考虑如图4所示的控制系统:这是一个简单的闭环控制系统,只包含两个现场总线设备,其中设备1具有传感器,设备2具有执行器.具体的控制算法是,通过设备1中的AI功能块对物理量进行采样,将采样结果发送到设备2,由PID功能块计算得到控制量,再由AO功能块输出到执行器进行控制.

完成这样的简单控制,对于设备而言计算任务并不大.但是在每个控制周期,都需要通过总线进行一次数据通信,这给总线网络造成较大的压力.尤其

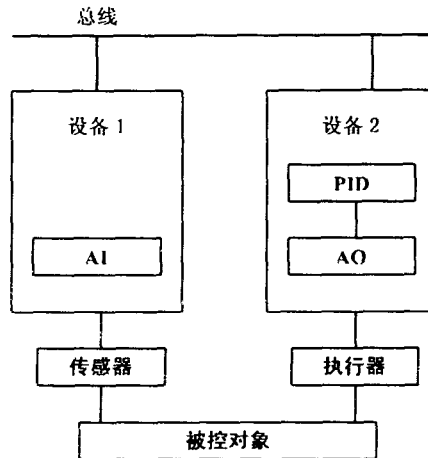


图4 简单的闭环控制系统

Fig.4 Simple close loop control system

是在一个网段上挂接设备较多时,这个问题更为突出.

为了减少总线的通信量,重新设计控制系统如图5所示.如果设备1和设备2都支持功能块的实例化,则可以在设备1中实例化一个与设备2中完全相同的PID功能块,并在这两个设备中都各自实例化一个相同的预测控制的功能块PC.

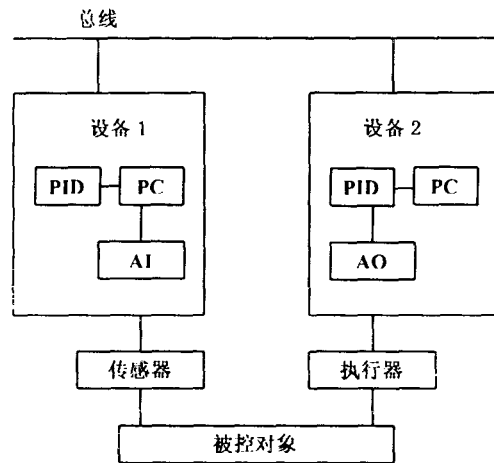


图5 采用预测控制功能块的控制系统

Fig.5 Control system based on predictive control function block

预测控制功能块PC所完成的功能是,根据当前的被控对象的特性和所采用的PID控制算法,结合当前的采样值和计算得到的控制输出,预测出下一控制周期被控对象的采样值.

利用这个预测控制功能块,控制算法可以调整如下:在设备1中,PID功能块根据上一控制周期的采样值 $S^*(K-1)$ 计算出控制量 $U(K-1)$,再由PC功能块根据 $U(K-1)$ 和被控对象的特性,预测出当

前被控物理量的采样值 $S^*(K)$. 将这个预测的采样值与 AI 功能块实际采样值 $S(K)$ 进行比较, 如果相差在允许的范围内, 则设备 1 就不向设备 2 发送实际采样值, 仅当两个值相差超过一定范围时, 设备 1 才向设备 2 发送实际采样值 $S(K)$. 同样的, 在设备 2 中也采用相同的方法对下一周期的采样值进行预测, 由于设备 2 和设备 1 中的 PID 和 PC 功能块是完全一样的, 因此在设备 2 中对下一周期采样值的预测, 可以得到完全相同的预测值 $S^*(K)$. 这样, 如果设备 2 在指定的时间内接收到从设备 1 发送来的实际采样值 $S(K)$, 则说明预测值与实际采样值有较大差距, 应该使用实际采样值 $S(K)$ 进行控制, 并将 $S(K)$ 作为对下一个周期进行预测的依据; 如果没有接收到从设备 1 发送来的实际采样值, 就可以认为预测值 $S^*(K)$ 有相当的精度, 可以用来进行控制.

采用这样的控制结构, 只有被控对象受到干扰, 预测值与实际采样值相差较大的时候, 才需要通过总线通信发送实际采样数据, 从而可以大大减轻网络的通信负担. 对于被控对象受外界干扰少、波动小的控制场合, 这一优点更是突出. 将这种控制思想应用于以太网现场总线中, 由于减少了在总线上的通信次数, 就为其他设备的通信让出了通信带宽, 减少了发生通信冲突的几率, 可以大大提高以太网现场总线的确定性.

另一方面, 由于在每个设备中需要执行的功能块增多了, 因此执行时间将有所增加. 但以目前设备中所使用的 CPU 的计算能力而言, 所增加的计算量不会对控制系统的稳定性造成大的影响.

5 结论 (Conclusion)

新实例化一个功能块, 需要占用设备中一定的内存资源; 同样, 删除一个功能块, 就可以释放一定的内存资源. 现场设备支持功能块的实例化, 用户可以针对具体的控制对象和控制环境, 更为合理、自由地配置和利用设备资源完成控制.

对于一些复杂费时的控制系统, 可以通过适当

安排功能块的并行执行, 满足实时性要求; 利用功能块的冗余计算, 可以减少通信数量, 节省网络带宽; 功能块不与物理设备绑定在一起, 不仅简化了设备的安装, 而且也使设备资源的使用更加灵活. 实例化大大扩展了设备的应用范围, 使产品更加具有竞争力. 支持实例化的设备, 就如同数字电路中的可编程逻辑阵列 (PAL) 一样, 可以让用户根据实际的控制要求来设计其内部的结构. 可以说, 功能块的实例化是现场总线设备的发展趋势. 由于现场设备资源是有限的, 因此一个现场设备所能支持的实例化功能块的种类也是有限的. 对于支持功能块实例化的设备而言, 下一步的改进目标是功能块种类的在线更新. 这将使得设备的升级更加容易, 使用范围更加广泛.

参 考 文 献 (References)

- [1] Schickhuber G, McCarthy O. Distributed fieldbus and control network systems [J]. Computing & Control Engineering Journal, 1997, 8 (1): 21 ~ 23.
- [2] Foundation Fieldbus Technical Overview [M]. Austin, Texas: Fieldbus Foundation, 1996.
- [3] Foundation Specification: System Architecture Ver 1.4 [M]. Austin, Texas: Fieldbus Foundation, 1999.
- [4] Foundation Specification: Function Block Application Process Part1/2 Ver 1.4 [M]. Austin, Texas: Fieldbus Foundation, 1999.
- [5] 王 智, 于海斌. 一种实现无扰切换的功能块系统及其着色 Petri 网建模 [J]. 高技术通讯, 2001, 11(3): 66 ~ 69.

作者简介

吕 勇 (1975 -) 男, 博士生. 研究领域为现场总线, 分布式控制系统.

王天然 (1943 -), 男, 研究员. 研究领域为分布式控制系统, 先进制造, 机器人控制等.

于海斌 (1964 -), 男, 研究员. 研究领域为智能生产调度, 分布式控制系统, 离散事件动态系统等.

王 宏 (1963 -), 男, 研究员. 研究领域为分布式控制系统, 计算机网络.