



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101963809 B

(45) 授权公告日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201010514547. 5

(22) 申请日 2006. 10. 25

(30) 优先权数据

11/258, 676 2005. 10. 25 US

(62) 分案原申请数据

200610149999. 1 2006. 10. 25

(73) 专利权人 费舍-柔斯芒特系统股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 特瑞思·L·贝利文斯 陈德基  
马克·J·尼克松  
格雷戈里·K·麦克米伦

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018

代理人 罗正云 王琦

(51) Int. Cl.

G05B 19/418 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1313966 A, 2001. 09. 19,

CN 1195796 A, 1998. 10. 14,

US 6437692 B1, 2002. 08. 20,

US 3628129, 1971. 12. 14,

丁锋等. 非均匀周期采样多率系统的一种辨识方法. 《电子学报》. 2004, 第 32 卷 (第 9 期),  
Luis A. Montestruque 等. Stability of Model-Based Networked Control Systems With Time-Varying Transmission Times. 《IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL》. 2004, 第 49 卷 (第 9 期),

审查员 韩菲

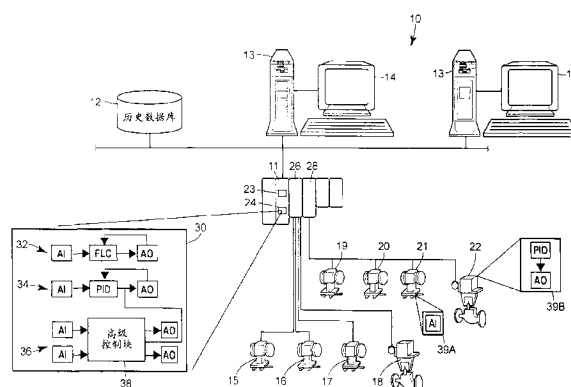
权利要求书1页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

在无线和其他过程控制系统中的非周期控制通信

(57) 摘要

本发明涉及在无线和其他过程控制系统中的非周期控制通信。一种控制器包括：处理器；和控制模块，适于由处理器周期性执行并配置为对过程变量作出响应以产生用于该过程的控制信号。控制模块周期性执行的迭代包含实施产生该控制信号的过程响应表示的例程。该例程进一步在该控制模块的周期性执行的多个迭代期间保持该表示，直至可得到该过程变量的更新为止。在某些情况下，过程变量的更新通过无线传输过程信号而变为可得到。在这些和其它情况下，该控制器可包括在包括现场设备的过程控制系统中，以根据该过程变量的改变是否已超出预定阈值来非周期性地无线发送过程信号。在某些实施例中，若从前次传输以来已超出刷新时间，则现场设备还发送过程信号。



1. 一种过程控制系统,用于基于过程的过程变量值的非周期性更新来控制该过程,该过程控制系统包括:

控制器,该控制器被周期性执行,并且响应于该过程变量值的非周期性更新中新接收到的更新而产生用于控制该过程的控制信号,所述控制器被配置成:

响应于接收到该过程变量值的新接收到的更新,确定在该过程变量值的前次更新与该过程变量值的新接收到的更新之间所耗时间,

利用上个控制信号和在该过程变量值的前次更新与该过程变量值的新接收到的更新之间所耗时间来产生反馈控制分量,以及

将所述反馈控制分量与从根据该过程变量的设定值与该过程变量值的新接收到的更新确定的误差分量产生出的信号合并,以产生所述控制信号。

2. 如权利要求1所述的过程控制系统,其中所述控制器被进一步配置成:在自从前次周期性执行以来尚未接收到该过程变量值的另一更新时,保持所述反馈控制分量不变。

3. 如权利要求1所述的过程控制系统,其中所述控制器被进一步配置成:产生所述反馈控制分量作为积分控制分量。

4. 如权利要求1所述的过程控制系统,其中所述控制器被配置成:使用以下函数产生所述反馈控制分量:

$$F_{N-1} + (O_{N-1} - F_{N-1}) * (1 - e^{\frac{-\Delta T}{T_{Reset}}}),$$

其中  $F_{N-1}$  是上个反馈控制分量,  $O_{N-1}$  是上个控制信号,  $\Delta T$  是所耗时间,而  $T_{Reset}$  是复位时间。

## 在无线和其他过程控制系统中的非周期控制通信

[0001] 本申请是申请日为 2006 年 10 月 25 日、申请号为 200610149999.1、名称为“在无线和其他过程控制系统中的非周期控制通信”的发明的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明总体上涉及过程控制系统,更具体地说,涉及过程控制系统中的无线和/或非周期控制通信的传输和处理。

### 背景技术

[0003] 过程控制系统,例如用于化学、石油或其它过程的分布式或可升级式过程控制系统,通常包括一个或多个过程控制器,这些过程控制器通过模拟、数字或模拟/数字混合总线,互相通信连接以及通信连接到至少一个主机或操作员工作站以及一个或多个现场设备。现场设备可以是例如阀、阀定位器、开关和变送器(例如,温度、压力和流速传感器),它们执行过程内的各功能,例如开启或关闭阀以及测量过程参数。过程控制器接收表示由现场设备产生的过程测量值的信号和/或属于现场设备的其它信息,并使用该信息来实施控制例程以产生控制信号,这些控制信号通过总线发送到现场设备以控制该过程的操作。来自现场设备和控制器的信息通常可用于由操作员工作站所执行的一个或多个应用程序,以使得操作员能够执行与过程有关的任何所需功能,例如查看过程的当前状态、修正过程的操作等。

[0004] 一些过程控制系统,例如总部设在得克萨斯州的奥斯汀市的费舍-柔斯芒特系统(Fisher Rosemount System)有限公司销售的DeltaV®系统,使用位于控制器中或其它现场设备中、称为模块的功能块或功能块组来执行控制操作。在这些情况下,该控制器或其它设备能够包括和执行一个或多个功能块或模块,这些功能块或模块的每一个接收来自(无论是在相同设备内或在不同设备内的)其它功能块的输入和/或为这些其它功能块提供输出,并执行一些过程操作,例如测量或检测过程参数、对设备进行控制、或者执行诸如实现比例-微分-积分(PID)控制例程的控制操作。过程控制系统内的不同功能块和模块通常配置为(例如通过总线)互相通信以形成一个或多个过程控制回路。

[0005] 过程控制器通常被编程为对许多不同回路中的每一个执行不同算法、子例程或控制回路(这些都是控制例程),这些不同回路由过程所定义或包含在过程中,例如流量控制回路、温度控制回路、压力控制回路等。一般说来,每个这样的控制回路包括:一个或多个输入块,例如模拟输入(AI)功能块;单输出控制块,例如比例-积分-微分(PID)或模糊逻辑控制功能块;以及输出块,例如模拟输出(AO)功能块。控制例程以及实施这些例程的功能块可根据许多控制技术进行配置,这些控制技术包括PID控制、模糊逻辑控制,以及诸如史密斯预测器(Smith Predictor)或者模型预测控制(MPC)的基于模型技术模型预测控制。

[0006] 为了支持例程的执行,典型的工厂或加工厂具有集中控制室,该集中控制室以可通信方式连接到一个或多个过程控制器和过程I/O子系统,而这些过程控制器和过程I/O子系统可与一个或多个现场设备连接。常规上,模拟现场设备通过两线或四线电流回路连

接到控制器,既用于信号传输又用于供电。发送信号到控制室的模拟现场设备(例如传感器或变送器)调制流经电流回路的电流,使得该电流与测量到的过程变量成比例。另一方面,在控制室的控制下执行操作的模拟现场设备由通过该回路的电流的强度来控制。

[0007] 近来,现场设备在用来传送模拟信号的电流环路上可以叠加数字数据。例如,高速可寻址远程传感器(HART)协议使用回路电流强度来发送和接收模拟信号,并在电流回路信号上叠加数字载波信号以实现与智能现场装置的双向现场通信。另一个通常被称作现场总线的协议定义两个子协议,其中之一在对连接到网络的现场设备供电的同时支持以高达每秒 31.25 千比特的速率进行数据传送,另一个在不为现场设备提供电源的情况下支持以高达每秒 2.5 兆比特的速率进行数据传送。通过这些类型的通信协议,通常为全数字的智能现场设备可以支持许多维护模式和增强功能,而这些维护模式和增强功能是以前的控制系统所不能提供的。

[0008] 随着数据传送总量的增长,过程控制系统设计的一个特别重要的方面包括一种方式,即现场设备可互相通信连接、并且可通信连接到控制器以及过程控制系统或加工厂内的其它系统或设备的方式。通常,使得现场设备在过程控制系统中能够实现功能的各种通信信道、链接和链路通常全部称作输入/输出(I/O)通信网络。

[0009] 用来实现 I/O 通信网络的通信网络拓扑和物理连接或链路可能对现场设备通信的鲁棒性或完整性具有实质影响,尤其是在网络遭受不利的环境因素或苛刻的条件时。这些因素和条件可能在一个或多个现场设备、控制器等之间的通信的完整性方面作出折衷。控制器和现场设备之间的通信对这种中断尤其敏感,这是因为控制例程通常需要周期性地更新用于每次例程迭代的过程变量。因此折衷的控制通信可能导致过程控制系统效率和/或收益下降,和对设备过多的磨损和损害,以及许多潜在有害故障。

[0010] 为了确保稳定的通信,在历史上过程控制系统中所用的 I/O 通信网络已经是硬布线式的了。但是不幸地,硬布线网络带来许多复杂性、挑战和限制。例如,硬布线网络质量可能随着时间的推移而下降。此外,硬布线 I/O 通信网络的安装通常是昂贵的,尤其是在该 I/O 通信网络与分布在较大区域内的大型工业工厂或设施有关的情况下,例如,占用数英亩土地的炼油厂或化学工厂。这些必需的长布线的运行通常包括大量人力、材料和费用,并可能因为布线阻抗和电磁干扰而带来信号衰减的发生。因为这些和其它的原因,硬布线 I/O 通信网络通常很难再配置、修正或更新。

[0011] 已经建议,可以使用无线 I/O 通信网络来降低一些与硬布线 I/O 网络有关的困难。例如,名为“在分布式控制系统中为现场设备提供冗余无线访问的装置”的第 2003/0043052 号美国专利申请公开了一种利用控制器和现场设备之间的无线通信来增强或补充对硬布线通信使用的系统,其全文在此被引入作为参考。

[0012] 通常说来,由于对其它事情的可靠性考虑,对控制相关传输的无线通信的可靠性受到限制。如上所述,现代过程控制依靠控制器和现场设备间的可靠数据通信以实现最优控制级。此外,典型的控制器以很快的速率执行控制算法,从而快速更正过程中不必要的偏差。不幸的是,令人讨厌的环境因素或其它不利条件可能创建间歇性干扰,这妨碍或阻止对支持这种控制算法的执行来说是必要的快速通信。

[0013] 对于过程控制中的无线通信来说,电力消耗是另一个复杂因素。从 I/O 网络上断开连接,现场设备可能需要提供它们自己的电源。因此,现场设备可由电池供电、太阳能供

电,或者窃取周围能量,例如振动、热量、压力等。对于这些设备,用于数据传输的能量消耗构成总能量消耗的相当大的一部分。实际上,对努力建立或保持无线连接的过程中消耗的电能比由现场设备执行其它重要操作,例如感知或检测正被测量的过程变量所采取的步骤的过程中消耗的电能更多。

## 发明内容

[0014] 根据公开内容的一个方面,一种用于过程的控制器,其中过程信号代表该过程的过程变量。该控制器包括:处理器;和控制模块,其适于由该处理器周期性执行并配置为对该过程变量作出响应以产生用于该过程的控制信号。该控制模块的周期性执行的迭代包含和包括实施一例程,该例程配置为产生该控制信号的过程响应表示。该例程进一步配置为在该控制模块的周期性执行的多个迭代期间保持该表示,直至可得到该过程变量的更新为止。

[0015] 在某些情况下,所述过程变量的更新通过无线传输所述过程信号而变为可得到。

[0016] 所述控制模块可包括利用所述过程响应表示来确定所述控制信号的闭环控制方案。可替代或在此之外,所述例程包括正反馈网络以便基于所述控制信号的过往值来确定所述过程响应表示。可替代或在此之外,所述例程实施滤波器算法来确定所述过程响应表示。

[0017] 在某些情况下,所述例程进一步配置为根据所述过程变量的非周期性更新来实施。可替代或在此之外,所述过程响应表示可包括过程变量响应表示,并且其中所述例程进一步配置为一旦可得到所述过程变量的更新就更新所述过程变量响应表示。于是所述例程可基于所述过程变量的前次更新、所述控制信号和从所述过程变量的前次更新以来所耗时间来确定所述过程的预期响应。所述例程还可基于所述过程对前次更新的预期响应和从前次更新以来所耗时间来确定更新的复位项。所述预期过程响应包括一模型,该模型包括过程或测量延迟。

[0018] 根据公开内容的另一方面,一种过程控制系统,包括:现场设备,其发送代表该过程的过程变量的过程信号;和控制器,其与该现场设备进行通信以便通过该过程信号接收该过程变量的更新并产生用于该过程的控制信号。该控制器具有处理器和适于由该处理器周期性执行的控制模块。该现场设备根据该过程变量的改变是否已经超出预定阈值来非周期性地无线发送该过程信号。

[0019] 在某些实施例中,如果自从前次传输以来已经超出了刷新时间,那么所述现场设备发送所述过程信号。

[0020] 所述例程可进一步配置为在所述控制模块的周期性执行的多个迭代期间保持由通过所述控制模块的周期性执行来实施的例程所产生的过程响应表示,直至所述现场设备发送所述过程信号为止。所述控制模块可包括利用所述过程响应表示来确定所述控制信号的闭环控制方案。可替代或在此之外,所述例程可包括正反馈网络以便基于所述控制信号的过往值来确定所述过程响应表示。可替代或在此之外,所述例程实施滤波器算法以确定所述过程响应表示。可替代或在此之外,所述例程进一步配置为根据所述过程变量的非周期性更新来实施。所述过程响应表示可包括过程变量响应表示,并且其中所述例程进一步配置为一旦可得到所述过程变量的更新就更新所述过程变量响应表示。所述例程可基于所

述过程变量的前次更新、所述控制信号和从所述过程变量的前次更新以来所耗时间来确定所述过程的预期响应。

[0021] 根据本公开内容的再另一方面是控制过程的方法,该方法包括步骤:实施过程控制例程以便基于该过程变量产生用于该过程的控制信号;和检测是否可得到该过程变量的更新。实施所述过程控制例程包括或包含:产生该控制信号的过程响应表示的步骤,和在该实施步骤的多个迭代期间保持该过程响应表示直至检测到该过程变量的更新为止的步骤。

[0022] 在某些情况下,该方法进一步包括接收代表所述过程变量的更新的过程信号的无线传输。

[0023] 所述控制例程的实施进一步包括或包含执行利用所述过程响应表示来确定所述控制信号的闭环控制方案。

[0024] 在某些情况下,所述过程响应表示包括过程变量响应表示,并且其中所述实施步骤进一步包括一旦可得到所述过程变量的更新就更新所述过程变量响应表示。于是所述控制例程可包括根据所述过程变量的前次更新、所述控制信号和从所述过程变量的前次更新以来所耗时间来确定所述过程的预期响应。所述控制例程实施可进一步包括基于所述过程对前次更新的预期响应和自从前次更新以来所耗时间来确定更新的复位项。

[0025] 根据本公开内容的再另一方面,一种方法可用于控制具有过程变量的过程的。该方法包括或包含:无线接收过程信号以获取该过程变量的更新和周期性实施过程控制例程以便基于该过程信号产生用于该过程的控制信号。该接收步骤非周期性地出现,使得该过程控制例程配置为使用因该过程变量的改变超过预定阈值或因从该过程变量的前次更新以来所耗时间而接收的该过程变量的非周期性更新。

[0026] 在某些情况下,所述实施步骤包括或包含执行一配置为产生对该控制信号的过程响应表示的例程的步骤,和在所述实施步骤的多个迭代期间保持该过程响应表示直至可得到所述过程变量的更新为止。所述过程控制例程可包括利用所述过程响应表示来确定所述控制信号的闭环控制方案。所述过程响应表示可包括过程变量响应表示,并且其中所述实施步骤进一步包括或包含一旦可得到所述过程变量的更新就更新所述过程变量响应表示的步骤。所述实施步骤进一步包括或包含基于所述过程变量的前次更新、所述控制信号和从所述过程变量的前次更新以来所耗时间来确定所述过程的预期响应。所述实施步骤可进一步包括或包含基于所述过程对前次更新的预期响应和从前次更新以来所耗时间来确定更新的复位项。

## 附图说明

[0027] 参照下面详细说明和附图,以更完全地理解公开内容,其中相同的附图标记在图中表示相同的元件,其中:

[0028] 图 1 是根据公开内容一个方面的过程控制系统的示意图,该系统具有配置为实施一个或多个控制例程的控制器,该例程采用通过控制器和许多现场设备之间的硬布线连接传送的非周期性或低频率控制通信;

[0029] 图 2 是通过描述了对过程输入的过程响应、以及对测量传输和控制迭代执行的示例性实例的图,由图 1 中的控制器实施控制例程的图形表示,;

[0030] 图 3 是根据公开内容一个方面的过程控制系统的示意图,该系统具有配置为实施

一个或多个控制例程的控制器,该例程采用通过控制器和许多现场设备之间的无线连接传送的非周期性或低频率控制通信;

[0031] 图 4 是根据一个实施例的图 1 或图 3 中的控制器的示意图,其中控制器产生过程输入信号来控制过程,无论是无线的、非周期性的还是与控制执行速率相比频率更低的过程测量的其它传输;

[0032] 图 5 是根据可替换实施例的控制器的示意图,该控制器配置为控制具有过程和/或测量延迟的过程。

[0033] 由于所公开的系统和方法容易受到各种形式的实施例的影响,所以在图中示出了(并将在后面描述的)本发明的特定实施例,可以理解为该公开意在示例性的,而不是意在将本发明局限于在此描述和图示的特定实施例。

### 具体实施方式

[0034] 此处描述了过程控制系统和方法,它们实施通信和控制技术来支持在控制器和现场设备之间,例如变送器和其它设备之间的过程控制数据的传输。在公开内容的另一个方面,所公开的技术使得过程测量和现场设备收集的其它信息能够在一个或多个过程控制例程的实施由控制器来使用。

[0035] 在过去,这些测量是基于定时地、或周期性地获取并发送给控制器的,以确保更新数据对于过程控制例程的每个迭代的周期性执行都为可用的。相反,所公开的技术允许对这种数据进行非周期性和/或以大于控制执行周期的间隔传输。结果,所公开的技术很适于支持间歇性地或不可靠地提供的过程控制测量。非规律性或非经常性传输具有优势是有很多原因的,并可由许多因素、条件或过程控制系统或其环境的各个方面来产生。

[0036] 根据一些实施例,所公开的技术与通信方案结合利用,例如无线通信,包括在异常报告(report-by-exception)基础上进行的过程控制数据传输。在无线通信环境中的过程控制数据的异常报告可带来许多好处。例如,可降低在现场中变送器或其它现场设备消耗电力的速率,以此保存电池电量或其它有限的电源供给。

[0037] 然而,不同于过去的异常报告,所公开的技术支持在周期性基础上执行的过程控制例程中所利用的数据的传输。并且尽管过去的警告阻止过程控制例程的执行利用在事件触发基础上提供的数据,但所公开技术的实践可提供对过程控制例程的周期性执行而不在性能上做出有害牺牲。

[0038] 尽管很适于无线通信方案,并在此多次结合无线通信方案进行描述,但是所公开技术的实践并不局限于任何特定通信方案、环境、或协议、或任何过程控制网络、架构、控制器或系统。相反,所公开的技术可应用在任何数目的环境中,其中过程控制数据以相对于控制例程执行周期更不经常地被传送,并用于任何所需的原因。因此,下面的描述是在对所公开的技术的实践并不局限于以下描述的低功率或其它无线通信方案的理解下提出的。

[0039] 现在参考图 1,过程控制系统 10 包括连接到历史数据库(historian)12 和一个或多个主机工作站或计算机 13(可以是任何类型的个人计算机、工作站等)的过程控制器 11,每个主机工作站或计算机 13 都具有显示屏 14。控制器 11 还通过输入/输出(I/O)卡 26 和 28 连接到现场设备 15-22。历史数据库 12 可以是具有任何所需类型的存储器和任何所需或现有软件、硬件或固件的用于存储数据的任何所需类型的数据收集单元。该历史数据

库 12 可与工作站 13 分离（如图 1 所示）或为工作站 13 的一部分。控制器 11，例如示例性地可以是费舍-柔斯芒特系统有限公司销售的 DeltaV 控制器，通过例如以太网连接或任何其它所需的通信网络，通信连接到主计算机 13 和历史数据库 12。如在此将进一步描述地，控制器 11 还可使用硬布线通信方案通信连接到现场设备 15-22。无论在何种情况下，任何所需的硬件、软件和固件都可被利用来实施这些方案，其与例如标准 4-20 毫安设备（当使用硬布线时）和 / 或诸如 FOUNDATION 现场总线协议、HART 协议之类的任何智能通信协议有关。然而在图 1 显示的示例性实施例中，控制器 11 和现场设备 15-22 之间的通信包括硬布线连接。

[0040] 更一般地，现场设备 15-22 可以是任何类型的设备，例如传感器、阀、变送器、定位器等，I/O 卡 26 和 28 可以是遵从任何所需的通信或控制器协议的任何类型的 I/O 设备。在图 1 所示的实施例中，现场设备 15-18 是标准 4-20 毫安设备，它们通过模拟线路与 I/O 卡 26 进行通信，而现场设备 19-22 是智能设备，例如现场总线现场设备，它们使用现场总线协议通信通过数字总线与 I/O 卡 28 进行通信。当然，现场设备 15-22 可遵从任何其它所需的标准或协议，包括未来开发的任何标准或协议。

[0041] 控制器 11 包括处理器 23，其实施或察看存储在存储器 24 中的一个或多个过程控制例程（或任何模块、块、或其子例程）。存储在存储器 24 中的过程控制例程可包括其中存储的控制回路，或与其中存储的控制回路有关。通常说来，控制器 11 通过任何所需的方式与设备 15-22、主计算机 13 和历史数据库 12 进行通信以控制过程。应该注意到在此描述的任何控制例程或模块可具有多个部分，这些部分如果希望的话，可以由不同控制器或其它现场设备来实现或执行。同样，在此描述的将在过程控制系统 10 中实施的控制例程或模块也可采取任何形式，包括软件、固件以及硬件等。为了公开内容的目的，控制模块可以是过程控制系统的任何部分或部件，包括例如存储在任意计算机可读媒质上的例程、模块或任何其中的元件。可以是模块或诸如子例程、子例程的部分（例如代码线）的控制程序的任何部分的控制例程，可以通过以任何所需的格式来实施，例如使用面向对象的编程，使用阶梯逻辑、时序功能图表、功能块图表、或使用任何其它软件编程语言或设计范例。同样，控制例程可以是硬编码烧入的，例如一个或多个电可编程只读存储器（EPROM）、电可擦除只读存储器（EEPROM）、专用集成电路（ASIC）、或任何其它硬件或固件元件。而且，控制例程也可以使用任何设计工具来设计，这些设计工具包括图形设计工具或任何其它类型的软件 / 硬件 / 固件编程或设计工具。因此，控制器 11 可配置为通过任何需要方式来实施控制策略或控制例程。

[0042] 在一些实施例中，控制器 11 使用通常所称的功能块来实施控制策略或方案，其中每个功能块都是（通过称为链接的通信）结合其它功能块操作以实施过程控制系统 10 中的过程控制回路的总控制例程的对象或其它部分（例如子例程）。功能块通常执行以下功能中的一个：输入功能，例如与变送器、传感器或其它过程参数测量设备有关；控制功能，例如与执行 PID、模糊逻辑等控制的控制例程有关；或输出功能，其控制诸如阀之类的设备的操作以执行过程控制系统 10 中的某些物理功能。当然，混合和其它类型的功能块也存在并可在此被利用。这些功能块可存储在控制器 11 中并由控制器 11 执行，这通常是在功能块用于或有关标准 4-20 毫安设备和诸如 HART 设备的一些类型智能现场设备的情况下。可替代地或在此之外，功能块可存储在现场设备本身或者过程控制系统的其它控制元件内并

由这些现场设备或元件实施,这可以是在利用现场总线设备的系统的情况下。虽然对控制系统 10 的描述在此使用功能块控制策略来提供,但是所公开的技术和系统也可使用其它诸如阶梯逻辑、时序功能图表之类的惯例或使用任何其它所需的编程语言或范例来实施或设计。

[0043] 如图 1 的分解块 30 所示的,控制器 11 可包括许多单回路控制例程,图示为例程 32 和 34,并且如果需要的话,可以实施一个或多个高级控制回路,图示为控制回路 36。每个这种回路通常被称为控制模块。该单回路控制例程 32 和 34 图示为分别使用单输入 / 单输出模糊逻辑控制块和单输入 / 单输出 PID 控制块来执行单回路控制,并连接到合适的模拟输入 (AI) 和模拟输出 (AO) 功能块,这些功能块可与例如阀的过程控制设备有关,可与例如温度和压力变送器的测量设备有关,或可与过程控制系统 10 中的任何其它设备有关。高级控制回路 36 被图示为包括高级控制块 38,该高级控制块具有通信连接到一个或多个 AI 功能块的输入,和通信连接到一个或多个 AO 功能块的输出,尽管该高级控制块 38 的输入和输出也可连接到任何其它所需的功能块或控制元件以接收其它类型的输入以及提供其它类型的控制输出。高级控制块 38 可实施任何类型的多输入多输出控制方案,并可组成或包括模型预测控制 (MPC) 块、神经网络建模或控制块、多变量模糊逻辑控制块、实时优化块等。应当理解,图 1 所示的包括高级控制块 38 的功能块,可由控制器 11 执行,或可替代地,可位于任何过程控制系统的任何其它处理设备或者控制元件内并由这些设备或者元件执行,例如工作站 13 之一或现场设备 19-22 之一。

[0044] 现在参考图 2,对控制回路 32、34 和 36 中的每一个的实施,通常都适于通过对控制例程的多个迭代 40 而周期性地执行。在常规情况下,每次迭代 40 都由例如变送器或其它现场设备提供的更新的过程测量 42 来支持。为避免对与控制的测量值同步的限制,许多以前的控制器 (或控制回路) 被设计为按照系数的 2-10 倍对测量进行过采样。这种过采样有助于确保用在控制方案中的过程测量是最新的。同样,为最小化控制变化,常规设计指定反馈控制应按照比过程响应时间快 4-10 倍来执行,其在图 2 中描述为加上在过程输入中的阶跃改变 44 之后的过程延迟的过程时间常数。更一般地,过程响应由过程输出中的改变或随着时间的变化 46 来表示。因此,为了满足这些常规设计需要,测量值通常快于过程响应进行采样,如图 2 中所示。

[0045] 大体来说,所公开的技术提出了以这种高速率发送测量值的挑战。例如,如上所述,与测量有关的感知功能可能并不会消耗传感器或变送器的大量电源,但是随着时间的流逝通过无线通信链接传输测量值构成了相当大的电源消耗。即使测量和控制执行同步,如在基础现场总线控制方案中那样,计划控制 4-10 倍快于过程响应的常规方法,还会导致在数据传输过程中过多的功率消耗。因此,为了减少变送器功率消耗,所公开的技术通常支持对传送测量值的频率的最小化。

[0046] 为此,并根据公开内容的一个方面,所公开的技术通常将过程控制系统 10、控制器 11、发送和其中的其它现场设备配置为当满足特定条件时在非周期性基础上发送新的测量值。在一个实施例中,基于过程变量是否改变超过了预定阈值 (例如,被确定为很大的总量) 来发送一个新的测量值。更具体地,如果新的测量值和上次传送的测量值之间差值的幅度大于指定的分辨力 (resolution),那么将产生一个触发,以使得测量可以被更新。

[0047] 在其它的情况下,新的测量值在差值超出了指定分辨力 (如在前面的例子中),以

及在自从上次传送以来的时间超出了预定刷新时间时被传送。换句话说,无论是过程变量的改变(例如控制执行迭代 48 和 50 之间的过程响应)还是经过了默认时间(例如在迭代 52 和 54 之间的耗用时间)都会导致测量传输。用于测量传输的刷新或默认时间在各控制回路之间会变化,或多或少的因为经常的更新根据过程是否缓慢运行或快速响应(例如由过程时间常数所表示的)而是合适的。在一些情况下,可在调谐控制回路的过程中,基于时间常数来作出判定,并在之后按照需要进行调节。在任何情况下,默认或刷新时间在经过了一段没有测量更新的时间段之后运行完整性检查或撤销。这种检查对于例如便于将过程变量最后驱动到目标值是有用的。

[0048] 同时,变送器、传感器或负责获取测量值的其它现场设备仍旧以所需的速率周期性的对测量进行采样,例如常规的 4-10 倍于过程响应时间的速率。所公开的技术然后确定所采样的数值是否被传送到控制器 11。

[0049] 图 3 描述了所公开的技术用于在过程控制数据的无线通信过程中减小功率消耗的示例性实例,该过程控制数据用于支持控制器 11,更一般的,用于支持图 1 中的过程控制系统 10 的操作。然而在开端,应当注意到图 1 和 3 中显示的硬布线连接也可利用并受益于所公开的技术的应用程序。例如,一个或多个硬布线设备也可依赖于有限电源或者以其它方式受益于减少的数据传输。在一种示例性实例中,系统 10 可包括采样分析器或其它设计为以低于控制执行速率的速度提供测量数据的采样系统。

[0050] 还应注意到,为便于图示,许多无线现场设备被添加到过程控制系统 10 中,而现场设备 15-22 仍然通过 I/O 设备 26 和 28 硬布线连接到控制器 11。在可选实施例中,一个或多个现场设备 15-22 也可以或可选的根据所公开的技术与控制器 11 进行无线通信。

[0051] 然而,在图 3 所示的示例性实例中,所公开的技术通常包括对由变送器 60-64 所测量或感知的数据的无线传输。该无线通信可使用所需的装置来建立,包括硬件、软件、固件或现在已知的它们的组合或以后开发的。该实施例的示例性设备由连接到并专属于变送器 60 的天线 65 和具有用来共同处理用于变送器 61-64 的通信的天线 67 的无线路由器或其它模块 66 来表示。在一些情况下,变送器 60-64 可构成控制传感器和控制室之间的单独链路,并因此对于发送准确的信号到控制网络以确保产品质量和产量不被折衷来说是可靠的。因此经常被称作过程变量变送器 (PVT) 的变送器 60-64 可在过程控制系统 10 中起重大作用。

[0052] 在无线通信链路的接收端,控制器 11 可具有一个或多个 I/O 设备 68 和 70,其分别具有天线 72 和 74。更一般的,所公开技术的实践并不局限于任何变送器或无线装置的配置。

[0053] 变送器 60-64 中的每一个可以发送表示各自过程变量(例如流量、压力、温度或电平)的过程信号到控制器 11 以用在一个或多个控制回路或例程中。一般说来,控制器 11 可包括用于支持这种无线通信,更具体地说,是用于接收过程信号的许多元件。这些元件可包括或构成例如存储在存储器 24 中的软件例程或位于控制器 11 中其它地方的硬件或固件。在任何情况中,接收无线通信的方式(例如解调、解码等)可采取任何所需的形式,并在这里将仅被大体提出。在一个实例中,控制器 11 可包括通信栈 80 来处理输入信号,以及包括模块或例程 82 来检测输入信号何时提供了测量更新。然后检测例程 82 可产生标记或其它信号,来表示正通过通信栈 80 提供的数据包括一个新的测量值或测量更新。然后该新的数据和更新标记可提供给一个或多个控制模块 84,以如上结合图 1 大致所示的例程以及如在

下面进一步详细描述的实施。

[0054] 在一些情况中,通信栈 80 和更新检测模块 82 通过一个或多个 I/O 设备 26、28、68 和 70(图 1 和 3) 来实施。此外,更新检测模块 82 做出判定的方式可包括硬件、软件、固件或任何它们组合,并可包括任何适于比较过程变量的数值的例程。

[0055] 上面描述的用于无线(或其它)变送器的通信技术通常会带来非周期性、不规律的或者是其它方式的非经常的数据传输。然而,从现场到控制器 11 的测量值的传输常规上被构建为以周期性的方式来报告,以支持控制例程的周期性执行。换句话说,控制例程通常被设计为并依赖于测量值的周期性更新。

[0056] 为适应非周期性的测量更新,所公开内容的另一方面通常用于修正或重建控制例程。通过这种方式,过程控制系统 10 可依赖于非周期性或比控制执行周期发生更不经常的其它间断更新。这样,在有些情况下,不管过程控制例程的周期性执行,所公开的技术通常支持对过程变量测量的异常报告形式。

[0057] 控制设计中的潜在假设(例如,使用  $z$  变换、差分方程式等)和控制例程的数字化实施,例如比例-积分-微分(PID)控制,是算法在周期性基础上被执行的。如果测量没有更新,那么诸如例程的积分(或复位)部分或者项之类的步骤可能是不合适的。例如,如果控制算法继续使用上次的、过期的测量值进行执行,那么输出将基于复位调谐以及上次测量值与定点之间的误差来继续移动。另一方面,如果控制例程仅在传送新的测量的时候执行,那么对于定点改变的控制响应和根据测量的干扰的前馈动作可能被延迟。控制例程还可包括基于自从上次迭代以来所耗用的时间的计算。但是通过非周期性和/或非经常性的测量传输,基于控制执行周期(即自从上次迭代以来的时间)来计算复位项,可能导致过程可变化性提高。

[0058] 考虑到以上问题,并为了当测量值未在周期性基础上更新时提供准确和响应的控制,在此所公开的通常是基于对过程变量的更新是否为可用来修正过程控制例程的控制技术。在一些情况中,控制例程可基于自从上次测量更新以来所需的过程响应来根据所公开技术而被重建。

[0059] 图 4 示出了根据所公开技术的一方面而配置的控制方案的示例性实施例,其中在 100 基本示意性地表示了过程。该示例性控制方案可与控制器 11 的部件 102(或一组部件,如果所需的话)相对应,控制器 11 的部件 102 配置为提供结合图 3 进行显示和描述的通信栈 80、更新检测模块 82 和控制模块 84 的功能。总体来说,控制器 11 从例如工作站 13(图 1)之一或从过程控制系统 10 中或与过程控制系统 10 通信的任何其它来源接收定点,以产生一个或多个过程输入或其它控制信号来控制过程 100,其可能经受在 104 示意性图示的测量的或未测量的干扰。如上所述,过程输入信号可控制与阀或任何其它现场设备有关的执行器以影响过程操作中的响应。对过程输入信号中的改变的过程响应由变送器、传感器或其它现场设备 106 测量或感知,这些设备例如可以与图 3 中所示的变送器 60-64 中的任何一个对应。结果,变送器 106 和控制器 11 之间的通信链接(用虚线表示)可包括无线连接。可替代地或除此之外,如果需要的话,该通信可包括硬布线连接,由于它间歇性地可用或可操作,所以可受益于所公开的技术。

[0060] 在该示例性实例中,控制器 11 实施单闭环控制例程,例如 PI 控制例程。因此,控制回路包括多个标准 PI 控制方案元件,其包括:用于将定点与过程变量数据做比较的求和

点 108 ;比例增益元件 110 ;用于组合例如比例和积分项的另一个求和点 112 ;以及高-低限制器 114。除了控制方案的标准元件之外,所公开的控制技术的该实施例还利用修正滤波器 116 来提供对控制信号的预期过程响应的指示。在该示例性实例中,所预期的过程响应近似为一阶并由包括在正反馈回路中确定 PI 控制方案的积分项的修正滤波器来实现。更一般地,在控制实施中使用的预期过程响应可由任何过程模型来提供,并且并不局限于结合在正反馈回路、滤波器或积分或复位项中。例如,利用模型来提供预期控制响应的控制可合并微分项,以使得控制例程可以实施 PID 控制方案。

[0061] 修正滤波器 116 在许多方面与常规复位或积分项不同。作为背景技术,常规 PI 控制器可使用正反馈网络来实施以确定复位项。从数学上可以看出,用于常规实施的传递函数等于用于无约束控制,即输出无限制的标准公式。

$$[0062] \quad \frac{O(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{sT_{Reset}} \right)$$

[0063] 其中,  $K_p$  为比例增益 ;

[0064]  $T_{Reset}$  为复位,秒 ;

[0065] 正反馈网络的一个优势是在控制器输出被限制器 114 进行高或低限制时,自动阻止复位项终止 (winding up)。

[0066] 根据公开内容的一方面,由所公开的系统和方法实施的控制技术包括对过程变量使用非周期性测量更新。复位项 (或其它滤波器或例程) 的正反馈网络可以修正以适应这种更新。特别地,滤波器 116 (或其它例程) 可被配置以使得前次计算的滤波器输出被保持一直到传送 (例如,被接收) 新的测量为止。当接收到新的测量时,滤波器 116 基于前次控制器输出 (即控制信号) 和自从传送新的测量值以来耗用时间来计算新的滤波器输出。这种控制技术的示例性实例在以下提出 :

$$[0067] \quad F_N = F_{N-1} + (O_{N-1} - F_{N-1}) * (1 - e^{\frac{-\Delta T}{T_{Reset}}})$$

[0068] 其中,  $F_N$  为新的滤波器输出 ;

[0069]  $F_{N-1}$  为前次执行的滤波器输出,即前次新的测量后的滤波器输出 ;

[0070]  $O_{N-1}$  为前次执行的控制器输出 ;

[0071]  $\Delta T$  = 自从传送新值后的耗用时间。

[0072] 通过这种方式,在基于新的测量计算控制输入时,控制例程对前次测量传输的预期过程响应进行说明。结果,变送器可实施任何通信技术,该技术中更新不提供给控制执行的每次迭代,就像上面描述的技术那样。对于那些包括无线传输的通信技术,这样可以允许变送器和其它设备最小化由于过程控制的数据传送所消耗的功率总量。

[0073] 应注意到,如上面描述的闭环控制例程的复位项,可通过许多方式提供对过程响应的准确表示,例如过程是否呈现出稳态行为。其它过程,例如死时间支配的过程,可包括在为预期过程响应进行建模的例程合并附加部件,如下面描述的。但是考虑到由一阶模型较佳表示的过程,过程时间常数可被用来确定 PI (或 PID) 控制器的复位时间。更特别地,如果将复位时间设置为与过程时间常数相等,则复位项通常抵消比例项,以使得随着时间的流逝,例程可反映预期的过程响应。该方法在图 4 的示例性实施例中反映,其中复位项受到具有与过程时间常数相同的时间常数的滤波器的正反馈网络的影响。虽然可以利用其

它模型,但是正反馈网络、滤波器或模型提供了用于确定对具有已知或近似过程时间常数的过程的预期响应的方便机制。

[0074] 作为实例,在包括所公开的技术的测试的持续过程中,通信的数目减少了 96% 以上。非周期性测量更新对控制性能的影响也通过使用以上描述的修正 PI 算法而被最小化。特别地,通过比较周期性测量更新与非周期性测量更

[0075] 新的积分绝对误差 (IAE),控制性能的差异显示在下表 1 中。

[0076] 表 1- 控制性能差异

[0077]

| 通信 / 控制                  | 通信数目 | IAE |
|--------------------------|------|-----|
| 标准 PI 控制器的周期性通信          | 692  | 123 |
| 该公开技术 (修正 PI 控制器的非周期性通信) | 25   | 159 |

[0078] 对于需要 PID 控制的那些过程,PID 输出的比率,也可仅在接收到新测量时被重新计算和更新。在那些情况中,微分计算可类似地使用自从上次新的测量以来的耗用时间。

[0079] 如图 4 所示,通信栈 80 和在一些实施例中的更新检测模块 82 (图 3) 处理来自变送器 106 的输入数据,以产生用于修正滤波器 116 的新的数值标记。该新的数值标记被提供给修正滤波器 116 以确定应该在什么时候计算新的滤波器输出。

[0080] 现在参考图 5,根据所公开的控制技术配置的可替换控制器 (或者控制元件) 120 在很多方面与图 4 中所示的控制器 11 类似。结果,这两个控制器中相同的元件被标以相同的附图标记。然而控制器 120 在确定测量传输之间的预期过程响应的例程中合并了附加元件。在这种情况下,该过程可具有相当大的死时间量,结果,单元或块 122 被包括在模型中用于死时间补偿。对死时间单元 122 的合并通常有助于得到对过程响应更准确的表示。更特别地,死时间单元 122 可以任何所需的方式来实施并可包括或利用为史密斯预测器或其它已知控制例程所共用的方法。

[0081] 如上面描述的实施例所示的,用于确定控制信号的预期过程响应的反馈、滤波器或其它例程可包括任何类型的模型、网络或帮助从过程控制例程的剩余部分中移除任何偏移或其它误差的过程控制元件的其它配置。通过这种方式,所公开的技术可很好地适用于各种不同的过程,而且并不局限于那些呈现为一阶的行为。恰恰相反,所公开的技术可应用于包括不同模型、滤波器或块来确定预期过程响应的环境中,也不局限于仅使用在高精度的过程模型的环境中。

[0082] 如上所述,所公开的技术支持过程控制配置,该配置避免了对过程变量过采样的需求,因此便于使用无线通信和在其它测量值不能被规律性地或与控制执行周期一样经常地可用的情况下的变送器。简而言之,所公开的技术避免了不断传送用于过程控制例程执行的测量数据。所公开的在变送器 (或其它现场设备) 设计或控制修正中的改变带来的结果是,测量数据通常被发送以传输明显改变 (来自前次通信数值) 或在刷新时间之后被发送。结果,变送器通信频率和用于数据传输的功率总量都大大降低。

[0083] 对所公开的方法、系统和技术的实践并不局限于任何一个特定的无线构架或通信协议。适合的示例性结构和通信支持方案在已于 2005 年 6 月 17 日提交的名为“用于过程

控制系统的无线构架和支撑”的第 11/156, 215 号美国专利申请中有描述,其全部公开内容合并于此作为参考。实际上,所公开的对控制例程的修正很适于控制例程以周期性方式实施的任何环境中,而且不需要对每次控制迭代进行过程变量测量更新。其它示例性环境包括采样值由例如分析器或通过实验室样本非规律性的或更少地提供的情况。

[0084] 对所公开技术的实践并不局限于使用具有单输入、单输出的 PI 或 PID 控制例程,而是可被应用在许多不同的多输入和 / 或多输出控制方案和级联控制方案中。更一般地,所公开的技术也可应用在包括一个或多个过程变量、一个或多个过程输入或其它控制信号的任何基于模型的闭环控制例程中,例如模型预测控制 (MPC) 中。术语“现场设备”在此被广义的使用为包括许多设备或设备的组合 (即提供多种功能的设备,例如混合变送器 / 执行器),以及在控制系统中执行功能的任何其它设备。在任何情况下,现场设备可包括例如输入设备 (例如传感器和提供状态、测量或表示诸如温度、压力、流率等的过程控制参数的其它信号的装备的装置) 以及响应从控制器和 / 或其它现场设备接收到的指令以执行操作的控制操作站或执行装置。

[0085] 在实施时,在此描述的任何软件可被存储在任何计算机可读存储中,例如存储在磁盘、光盘、或其它存储介质上,存储在计算机或处理器的 RAM 或 ROM 中等。同样,该软件也可使用任何已知或所需的传送方法,包括例如在计算机可读磁盘上或其它便携式计算机存储机制或通过通信信道,例如电话线、因特网、万维网、任何其它局域网或广域网等 (其传送被视为与通过便携式存储介质来提供这种软件相同或可替换),来传送给用户、加工厂或操作员工作站。此外,该软件也可不通过调制或加密而直接提供,或在通过通信信道发送之前使用任何适合的调制载波和 / 或加密技术进行调制和 / 或加密。

[0086] 虽然参照特定实例对本发明进行了描述,但这些实例仅为示例性的,并不用于限制本发明,对本领域普通技术人员来说,很明显地,可以在不偏离本发明的精神和范围的情况下对公开的实施例进行各种修正、添加或删除。

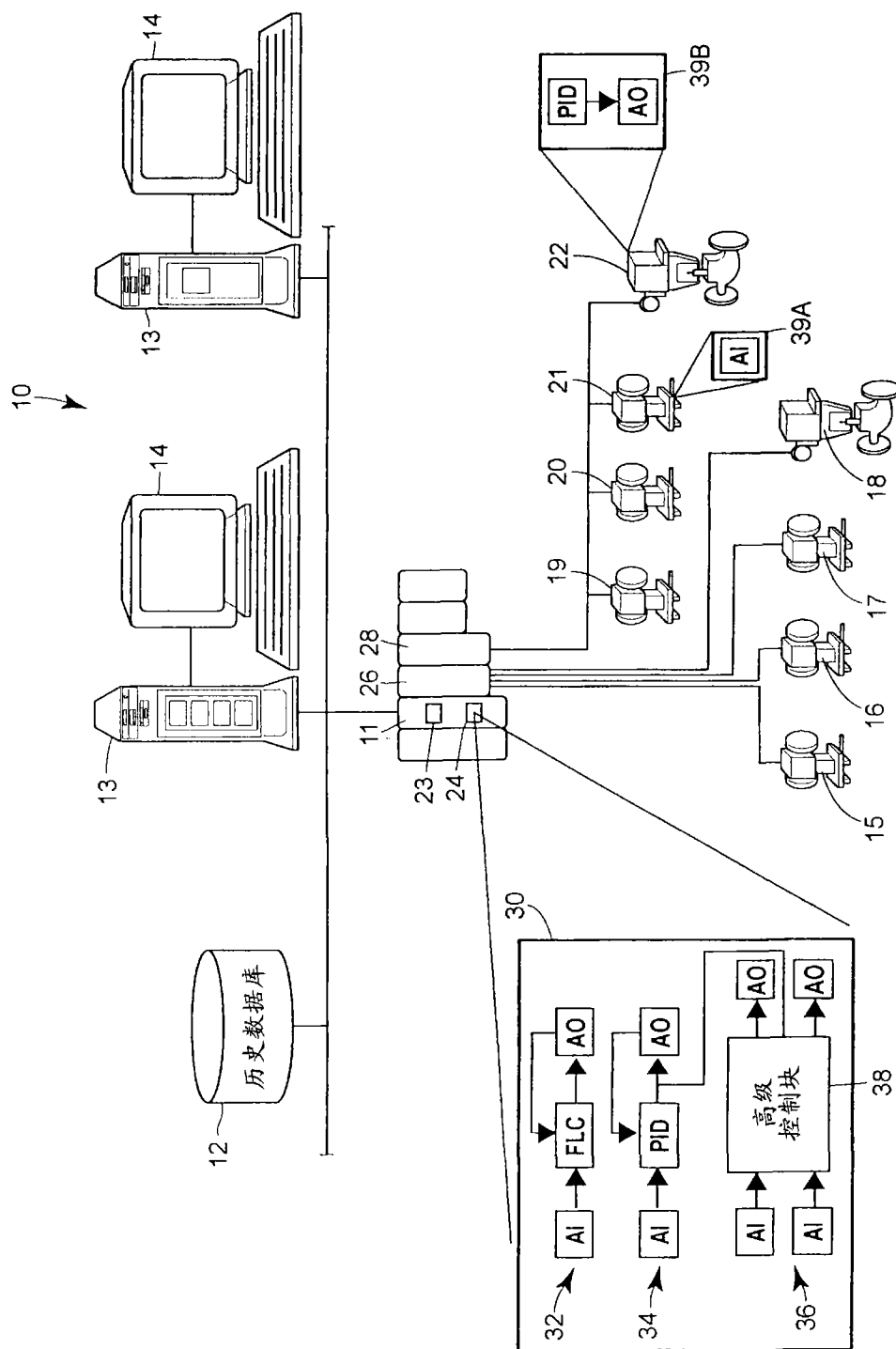


图 1

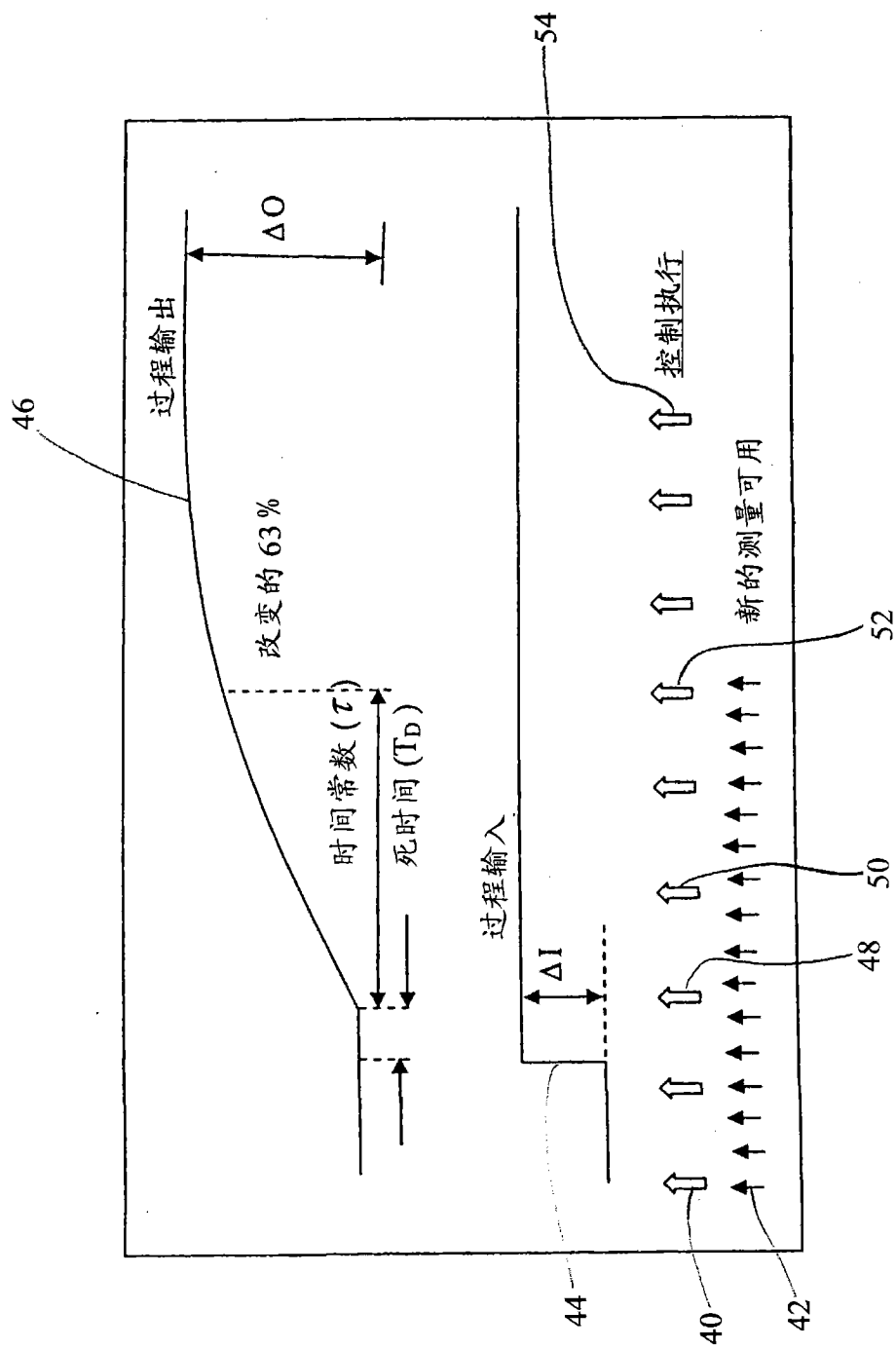


图 2

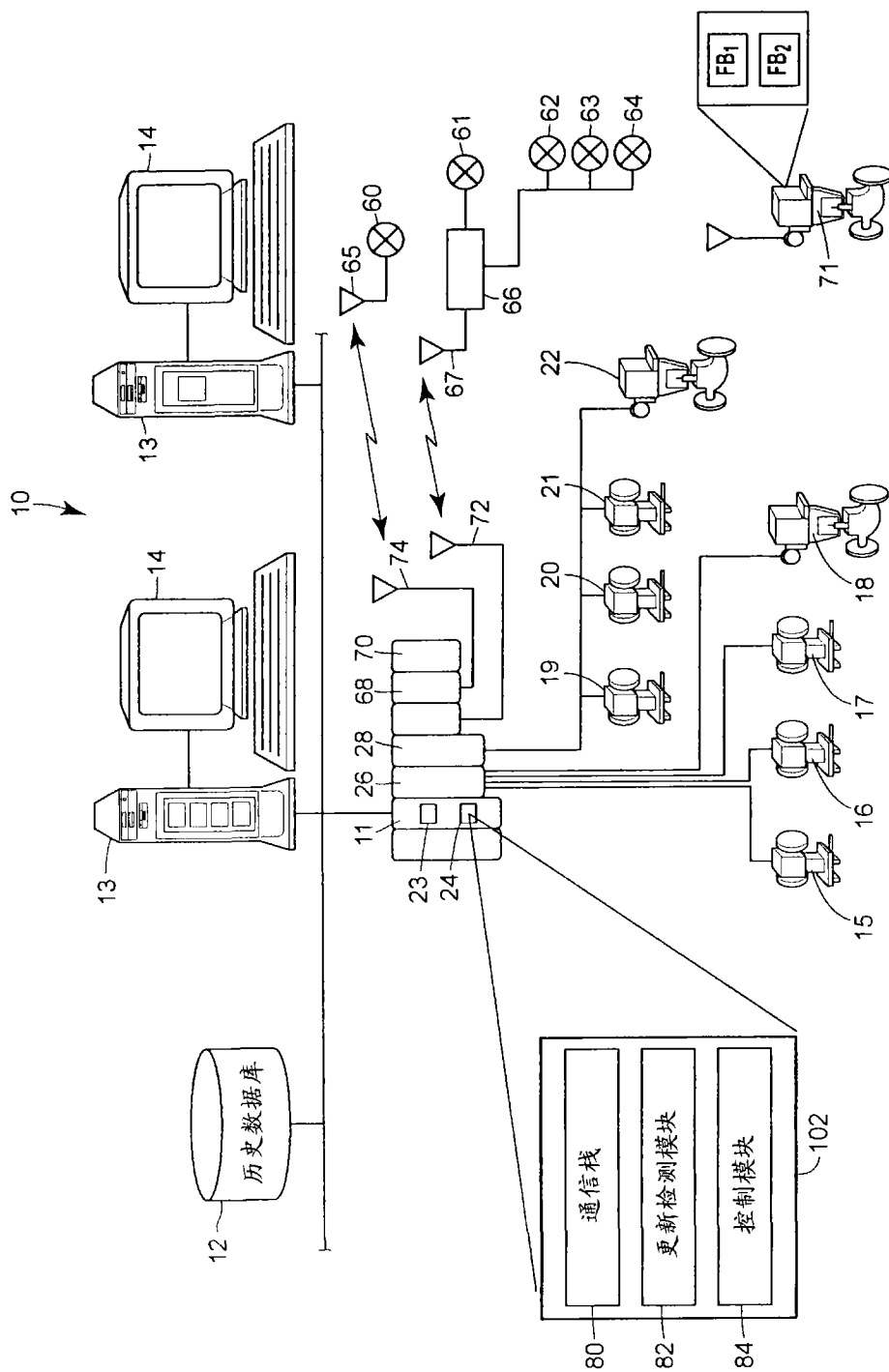


图 3

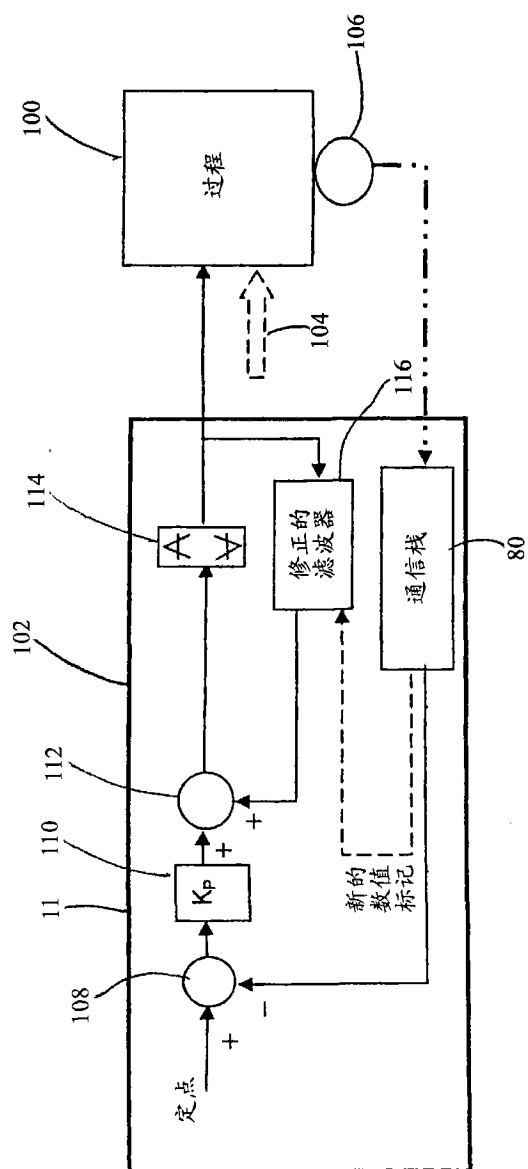


图 4

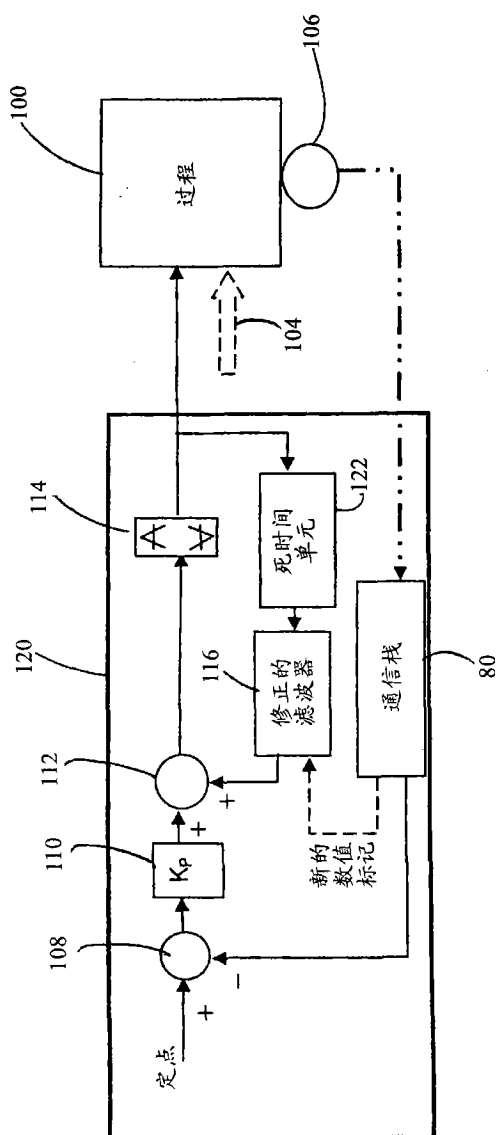


图 5