

Lonworks 技术在变风量中央空调解耦控制系统中的应用

王 军 任庆昌 郑庆红 刘咸定
(西安建筑科技大学环境工程学院,西安 710055)
E-mail:wangjun9312@sina.com

摘 要 该文采用现场总线技术中的 Lonworks 技术建立变风量空调解耦控制系统,并对该变风量空调解耦控制系统作了较为细致的描述,提出了用 LonManager DDE Server 和 Visual Basic 建立变风量空调解耦控制系统的 LONWORKS 网络监控系统的方法。认为用 Lonworks 技术中的网络变量来处理各个控制回路之间的解耦补偿系数是很合适的。该系统具有现场总线技术的优点,包括实现了系统控制的彻底分散化,提高了系统的可靠性。用 Lonworks 技术对变风量空调系统进行控制,可以极大地改善变风量空调控制系统的品质并提高控制系统的先进性。

关键词 Lonworks 网络变量 变风量 解耦控制

文章编号 1002-8331-(2002)21-0219-04 文献标识码 A 中图分类号 TP273

Application of Lonworks Technology in VAV Air-conditioning Decoupling Control System

Wang Jun Ren Qingchang Zheng Qinghong Liu Xianding

(College of Environment Engineering Xi'an Architecture Technology University Xi'an 710055)

Abstract : Lonworks technology is adopted to set up VAV air-conditioning decoupling control system this system is described in detail.LonManager DDE Server and Visual Basic are adopted to set up Lonworks network monitor system of VAV.It is suitable that decoupling compensation coefficient between four loops are handled as network variables of Lonworks technology.This system has the merit of fieldbus technology which includes realizing the decentralization of system control and improving the stability of control system.Application of Lonworks technology in VAV air-conditioning decoupling control system could improve the quality of VAV control system and this system is advanced.

Keywords : Lonworks network variables ,VAV decoupling control

1 引言

对于变风量空调系统而言,其系统具有多变量、耦合强烈、非线性及带有时延等特点,往往每个回路单独运行都较正常,但是所有回路同时都工作时,整个系统就不稳定了^[1]。解决多回

路之间的耦合,以达到稳定的运行是极为关键和重要的,这正是解耦控制所要解决的问题。

Lonwork 技术^[2]是现场总线中最流行的一种,要实现解耦控制系统,需要在各个控制回路之间传递补偿系数,用 Lon-

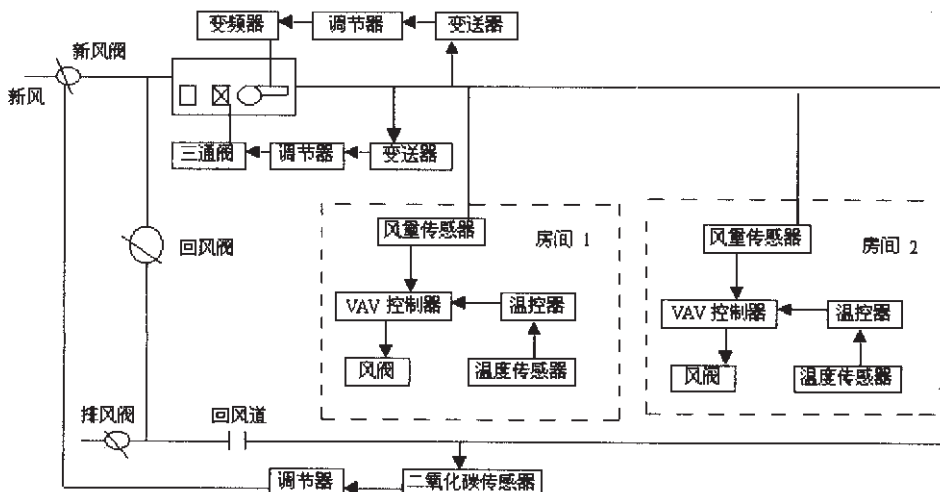


图 1 变风量空调系统简图

works 技术的网络变量来处理各个回路之间的补偿系数是很合适的,同时实现了系统控制的彻底分散化,提高了解耦控制系统的可靠性。

2 变风量空调系统构成

图 1 为具有两个房间的单风道变风量空调系统简图。系统由变风量空调箱,新风、回风和排风阀门,压力无关型末端装置及管网组成。控制回路由冷水量——送风温度控制、风机转速——静压点静压控制、送风量——室内温度控制及新风量——二氧化碳浓度控制 4 个回路组成。图 2~图 5 分别为各控制回路框图。

设定送风温度

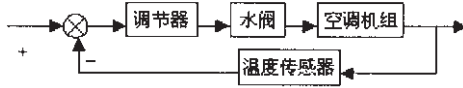


图 2 送风温度控制回路框图

设定静压值

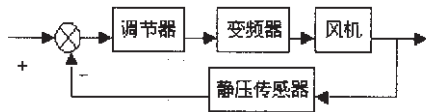


图 3 静压点静压控制回路框图

设定室内温度



图 4 室内温度控制回路框图

设定二氧化碳浓度

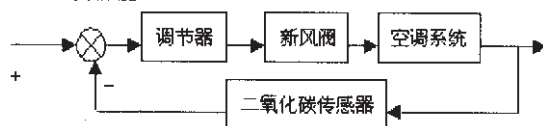


图 5 新风量控制回路框图

3 传递函数矩阵、系统辨识及建模

采用机理分析与系统辨识^[3]相结合的方法,首先用机理分析的方法分析模型的阶次和结构,再用系统辨识的方法估计模型(传递函数)参数。

输入量有 4 个:冷水流量(输入 1)、风机转速(输入 2)、房间送风量(输入 3)及新风量(输入 4)。

输出量有 4 个:送风温度(输出 1)、静压点的静压(输出 2)、室内温度(输出 3)及二氧化碳浓度(输出 4)。

组成的传递函数矩阵如(1)式所示:

$$\begin{pmatrix} G_{11}(z) & G_{12}(z) & G_{13}(z) & G_{14}(z) \\ G_{21}(z) & G_{22}(z) & G_{23}(z) & G_{24}(z) \\ G_{31}(z) & G_{32}(z) & G_{33}(z) & G_{34}(z) \\ G_{41}(z) & G_{42}(z) & G_{43}(z) & G_{44}(z) \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中 $G_{ij}(i=1, 2, 3, 4, j=1, 2, 3, 4)$ 表示输出 i 与输入 j 之间的传递函数,组成 4×4 共 16 个传递函数,通过改变输入 u_j 而同时保持其余输入量不变时,由 y_i 对 u_j 的响应来得到 $G_{ij}(z)$ 。由相应机理分析^[4]得:

- (1) 送风温度与冷水流量之间的传递函数为 1 阶;
- (2) 送风温度受风机转速的影响很小,它们之间的传递函

数近似为零;

(3) 送风温度受房间送风量的影响很小,它们之间的传递函数可认为是零;

(4) 送风温度与新风量之间的传递函数为 1 阶;

(5) 静压点静压受冷水流量的影响很小,其传递函数可近似为零;

(6) 静压点静压是风机转速与送风流量的函数,其函数关系为非线性关系,这里可按近似线性化处理^[5];

设静压为 P ,风机转速为 n ,送风量为 Q ,其工作点分别为 P_0, n_0 和 Q_0 。在工作点附近展开成台劳级数得 $P=P(n_0, Q_0)+(\partial f/\partial n)_{n=n_0}(n-n_0)+(\partial f/\partial Q)_{Q=Q_0}(Q-Q_0)+1/2![\dots]$;忽略二阶以上各项,得:

$$P-P_0=k_1(n-n_0)+k_2(Q-Q_0), \text{其中 } k_1=[(\partial f/\partial n)_{n=n_0}],$$

$k_2=[(\partial f/\partial Q)_{Q=Q_0}]$, $\Delta P=k_1\Delta n+k_2\Delta Q$;即静压在工作点处的变化量与转速、送风量在工作点处的变化量呈线性关系;

(7) 由上述(6)的近似化处理可知,静压点静压在工作点的变化量与送风量在工作点的变化量呈线性关系;

(8) 静压点静压与新风量的传递函数可近似为零;

(9) 室内温度与冷水流量的传递函数为 2 阶;

(10) 由于采用压力无关型末端装置,室内温度与风机转速的传递函数近似为零;

(11) 室内温度与送风量的传递函数为 1 阶;

(12) 室内温度与新风量的传递函数为 2 阶;

(13) 二氧化碳浓度与冷水流量的传递函数为零;

(14) 二氧化碳浓度与风机转速传递函数近似为零;

(15) 二氧化碳浓度与送风量的传递函数为 1 阶;

(16) 二氧化碳浓度与新风量的传递函数为 1 阶。

由以上分析及结果,可得到如(2)式所示的传递函数矩阵:

$$\begin{pmatrix} \frac{b_{11}(1z^{-1})}{1+a_{11}(1z^{-1})} & 0 & 0 & \frac{b_{14}(1z^{-1})}{1+a_{14}(1z^{-1})} \\ 0 & b_{22}(1z^{-1}) & b_{23}(1z^{-1}) & 0 \\ \frac{b_{31}(1z^{-1})+b_{31}(2z^{-2})}{1+a_{31}(1z^{-1})+a_{31}(2z^{-2})} & 0 & \frac{b_{33}(1z^{-1})}{1+a_{33}(1z^{-1})} & \frac{b_{34}(1z^{-1})+b_{34}(2z^{-2})}{1+a_{34}(1z^{-1})+a_{34}(2z^{-2})} \\ 0 & 0 & \frac{b_{43}(1z^{-1})}{1+a_{43}(1z^{-1})} & \frac{b_{44}(1z^{-1})}{1+a_{44}(1z^{-1})} \end{pmatrix} \quad (2)$$

令 $a(z^{-1})=1+a_1(1z^{-1})+a_2(2z^{-2})+\dots$, $b(z^{-1})=b_0(1z^{-1})+b_1(2z^{-2})+\dots$;

则对形式为 $b(z^{-1})/a(z^{-1})$ 的传递函数而言,有式 $a(z^{-1})y(k)=b(z^{-1})u(k)+v(k)$;

$u(k), y(k)$ 分别为量测到的输入和输出,经白化处理后,可得 $a(z^{-1})y(k)=b(z^{-1})u(k)+e(k)$;

对上式可用系统辨识中的广义最小二乘松弛算法,得到传递函数的各个参数值,即得到相关模型,对上述矩阵中的所有传递函数分别求取其参数,即得到整个传递函数矩阵,也即得到变风量空调系统的模型。

4 解耦控制系统

在得到变风量空调系统的传递函数矩阵(模型)后,下一步要做的工作就是解耦控制。文章所采用的是自适应神经元解耦控制器^[6],该解耦技术是近几年才出现的,且一般应用很少超过 3 维(3 个控制回路),而所研究的变风量空调系统为 4 维,因此,必须把该技术的应用扩展到 4 维,并对文献[5]中的参数进行扩展和调整,如文献中的 d_1, d_2 应按照每个回路分别设定

d_{i1} 、 d_{i2} 其结构如图 6 所示,主要由神经元控制器和神经元解耦补偿器两部分组成,其算法分别如下:

(1) 神经元控制器算法:

x_{i1} x_{i2} x_{i3} x_{i4} 分别为第 i 个回路的神经元控制器的输入量,其表达式分别为:

$$\begin{aligned} x_{i1}(t) &= r_i(t) \quad x_{i2}(t) = r_i(t) - y_i(t), \\ x_{i3}(t) &= x_{i3}(t) - x_{i3}(t-1) \quad x_{i4}(t) = x_{i4}(t-1) + \lambda x_{i3}(t) \\ s_i(t) &= lw_{i1}(t) + lw_{i2}(t) + lw_{i3}(t) + lw_{i4}(t) \\ wp_{i1}(t) &= w_{i1}(t) / s_i(t) \quad wp_{i2}(t) = w_{i2}(t) / s_i(t), \\ wp_{i3}(t) &= w_{i3}(t) / s_i(t) \quad wp_{i4}(t) = w_{i4}(t) / s_i(t) \\ v_i(t) &= k_i [wp_{i1}(t) x_{i1}(t) + wp_{i2}(t) x_{i2}(t) + wp_{i3}(t) x_{i3}(t) + wp_{i4}(t) x_{i4}(t)] \\ w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) + h_i [r_i(t) - y_i(t)] x_{ij}(t), \\ i &= 1 \ 2 \ 3 \ 4 \quad (i \text{ 表示 } 4 \text{ 个控制回路的下标}) \\ j &= 1 \ 2 \ 3 \ 4 \end{aligned}$$

(2) 神经元解耦补偿器算法:

$$\begin{aligned} u_i(t) &= b_{i1}v_i(t) + b_{i2}v_2(t) + b_{i3}v_3(t) + b_{i4}v_4(t), \\ b_{ij}(t+1) &= b_{ij}(t) + d_{ij} [r_i(t) - y_i(t)] v_j(t), \\ \text{上式中的 } b_{ij} & \text{ 是 } v_j \text{ 对 } i \text{ 回路的权系数。其初值为 } b_{ij}(0) = 1, \\ (i=j) \quad b_{ij}(0) &= 0 \quad (i \neq j) \\ d_{ij}(t) &= d_{i1} \exp(-0.2(|b_{ij}(t)| - 1)) \quad i=j \quad d_{ij}(t) = d_{i2} \exp(-0.2|b_{ij}(t)|) \quad i \neq j, \end{aligned}$$

上式中的 d_{i1} d_{i2} 为第 i 个回路的初始学习速率(常数)。

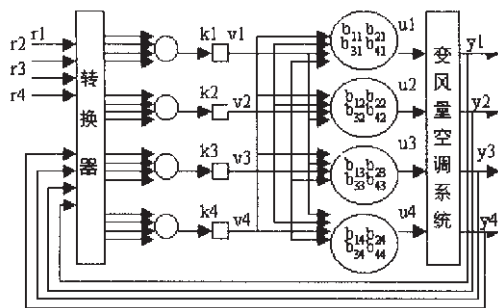


图 6 自适应神经元解耦控制器示意图

5 用 Lonworks 技术实现变风量空调解耦控制系统

采用 Lonworks 技术^[7]实现 VAV 解耦控制系统,如图 7 所示,该系统共有 12 个节点。

节点 1 为送风温度传感器节点,其输出网络变量为:

nv_songtemp_out(送风温度检测值);

节点 2 为冷冻水阀控制节点,其输入网络变量为:

nv_songtemp_in(送风温度检测值),

nv_b21_in(第二个控制回路对第一个回路的补偿系数),

nv_b3one1_in(第三个控制回路的一号房间对第一个回路的补偿系数),

nv_b3two1_in(第三个控制回路的二号房间对第一个回路的补偿系数)

nv_b41_in(第四个控制回路对第一个回路的补偿系数);

输出网络变量为:

nv_b12_out(第一个控制回路对第二个回路的补偿系数),

nv_b13one_out(第一个控制回路对第三个控制回路的一号房间的补偿系数),

nv_b13two_out(第一个控制回路对第三个控制回路的二号房间的补偿系数),

nv_b14_out(第一个控制回路对第四个回路的补偿系数)

节点 3 为静压点静压传感器节点,其输出网络变量为

nv_jypress_out(静压点静压检测值);

节点 4 为风机转速控制节点,其输入网络变量为

nv_jypress_in(静压点静压检测值),

nv_b12_in(第一个控制回路对第二个回路的补偿系数),

nv_b3one2_in(第三个控制回路的一号房间对第二个回路的补偿系数),

nv_b3two2_in(第三个控制回路的二号房间对第二个回路的补偿系数),

nv_b42_in(第四个控制回路对第二个回路的补偿系数);

输出网络变量为:

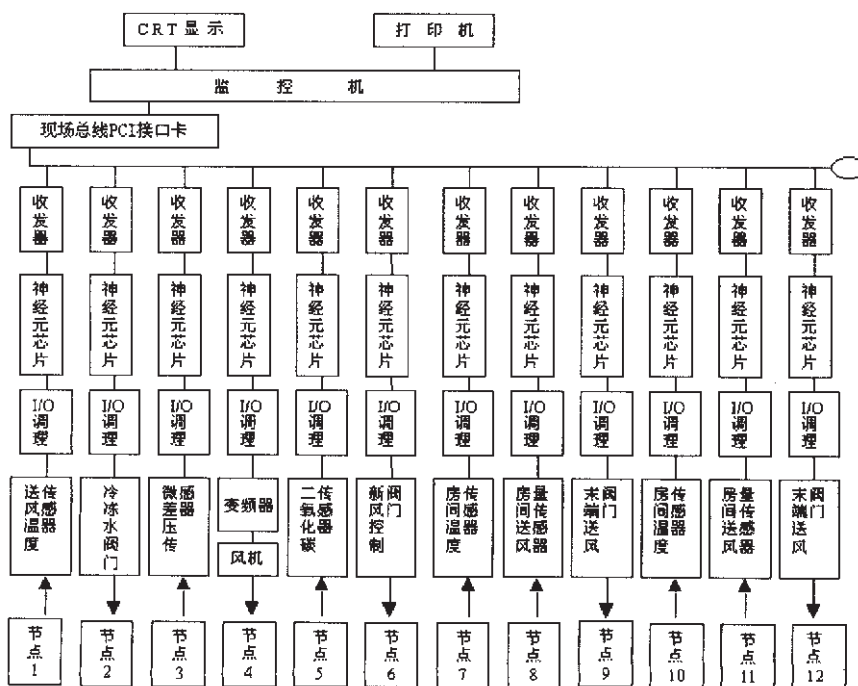


图 7 用 Lonworks 技术实现变风量空调解耦控制系统结构图

nv_b21_out (第二个控制回路对第一个控制回路的补偿系数),

nv_b23one_out(第二个控制回路对第三个控制回路的一号房间的补偿系数),

nv_b23two_out(第二个控制回路对第三个控制回路的二号房间的补偿系数),

nv_b24_out (第二个控制回路对第四个控制回路的补偿系数);

节点 5 为二氧化碳浓度传感器节点,其输出网络变量为:
nv_eyconsen_out(二氧化碳浓度检测值);

节点 6 为新风阀门控制节点,其输入网络变量为:
nv_eyconsen_in(二氧化碳浓度检测值),
nv_b14_in(第一个控制回路对第四个回路的补偿系数),
nv_b24_in(第二个控制回路对第四个回路的补偿系数),
nv_b3one4_in(第三个控制回路的一号房间对第四个回路的补偿系数),

nv_b3two4_in (第三个控制回路的二号房间对第四个回路的补偿系数);

输出网络变量为 nv_b41_out(第四个控制回路对第一个控制回路的补偿系数),

nv_b42_out (第四个控制回路对第二个控制回路的补偿系数),

nv_b43one_out(第四个控制回路对第三个控制回路的一号房间的补偿系数),

nv_b43two_out(第四个控制回路对第三个控制回路的二号房间的补偿系数);

节点 7 为一号房间室内温度传感器节点,其输出网络变量为 nv_ronetemp_out(一号房间室内温度检测值);

节点 8 为一号房间变风量末端送风量传感器节点,其输出网络变量为 nv_roneflow_out(一号房间送风量检测值);

节点 9 为一号房间变风量末端阀门控制节点,其输入网络变量为:
nv_ronetemp_in(一号房间室内温度检测值),
nv_roneflow_in(一号房间送风量检测值),
nv_b13one_in(第一个控制回路对第三个控制回路的一号房间的补偿系数),
nv_b23one_in(第二个控制回路对第三个控制回路的一号房间的补偿系数),
nv_b43one_in(第四个控制回路对第三个控制回路的一号房间的补偿系数);

输出网络变量为 nv_b3one1_out (第三个控制回路的一号房间对第一个回路的补偿系数),

nv_b3one2_out(第三个控制回路的一号房间对第二个回路的补偿系数),

nv_b3one4_out(第三个控制回路的一号房间对第四个回路的补偿系数);

节点 10 为二号房间室内温度传感器节点,其输出网络变量为:
nv_rtwotemp_out(二号房间室内温度检测值);

节点 11 为二号房间变风量末端送风量传感器节点,其输出网络变量为 nv_rtwofflow_out(二号房间送风量检测值);

节点 12 为二号房间变风量末端阀门控制节点,
其输入网络变量为:

nv_rtwotemp_in(二号房间室内温度检测值),
nv_rtwofflow_in(二号房间送风量检测值),
nv_b13two_in (第一个控制回路对第三个控制回路的二号房间的补偿系数),
nv_b23two_in (第二个控制回路对第三个控制回路的二号房间的补偿系数),
nv_b43two_in (第四个控制回路对第三个控制回路的二号房间的补偿系数);

输出网络变量为 nv_b3two1_out (第三个控制回路的二号房间对第一个回路的补偿系数),
nv_b3two2_out(第三个控制回路的二号房间对第二个回路的补偿系数),
nv_b3two4_out(第三个控制回路的二号房间对第四个回路的补偿系数);

使用 LonMaker 网络安装工具进行输入和输出网络变量的连接情况如下:
nv_songtemp_out ---nv_songtemp_in nv_b12_out ---nv_b12_in ;
nv_b13one_out---nv_b13one_in ;
nv_b13two_out ---nv_b13two_in nv_b14_out ---nv_b14_in ;
nv_jypress_out---nv_jypress_in ;
nv_b21_out ---nv_b21_in nv_b23one_out ---nv_b23one_in ;
nv_b23two_out---nv_b23two_in
nv_b24_out ---nv_b24_in nv_eyconsen_out ---nv_eyconsen_in ;
nv_b41_out---nv_b41_in ;
nv_b42_out ---nv_b42_in nv_b43one_out ---nv_b43one_in ;
nv_b43two_out---nv_b43two_in ;
nv_ronetemp_out ---nv_ronetemp_in nv_roneflow_out ---
nv_roneflow_in nv_b3one1_out---nv_b3one1_in ;
nv_b3one2_out---nv_b3one2_in nv_b3one4_out---nv_b3one4_in ;
nv_rtwotemp_out---nv_rtwotemp_in ;
nv_rtwofflow_out---nv_rtwofflow_in nv_b3two1_out---nv_b3two1_in ;
nv_b3two2_out---nv_b3two2_in ;
nv_b3two4_out---nv_b3two4_in ;

6 用 LonManager DDE Server 和 Visual Basic 建立变风量空调解耦控制系统的 Lonworks 网络监控系统

LonManager DDE 服务器用于在 LONWORKS 网络和 Windows 应用之间交换网络变量和显示消息。通过 LonManager DDE Server 支持 Windows DDE 协议的应用可以监视和控制 LONWORKS 网络。也就是说,Windows 应用能够观察到网络变量值和显示消息的变化,并且能够改变网络变量的值并发送显示消息来影响网络变量的操作。

Visual Basic 是一套完全独立的 Windows 系统开发工具^[8],在 Visual Basic 中,文字框(Text)、图片框(PictureBox)和标签(Label)控制项(VBX)可以扮演 DDE 客户的角色,而窗体可以是 DDE 服务器。它们与 DDE 有关的属性为 LinkTopic、LinkItem 和 LinkMode。控制项的 LinkTopic 属性的内容决定 DDE 会话的服务名和主题名,LinkItem 属性用来指定会话的项目名,LinkMode 属性决定连接模式。LinkMode=1 时表示自动式连接,LinkMode=2 时表示手动式连接,LinkMode=3 时则表示通知式连接,平常则等于零。当 LinkMode 由 0 变为 1(或 2,3)之后,Visual Basic 立即依照 LinkTopic 去寻找 DDE 服务器并初始化 DDE 会话。会话期间,只要是自动式连接,则一旦服务器中的数据有了变化,将立刻会传送给相应控制项,同时发生

(下转 256 页)

控制系统。由于本地过程控制计算机像冗余系统一样工作,因此 VSPC 有很高的安全性。由于本地过程控制计算机与 VSPC 之间通信的限制,因而系统可能不会因延迟有很大影响。VSPC 在有些情况下不能满足上述网络控制功能的需求,因此应与网络控制结合。例如,远程用户应可在本地过程控制计算机上实现的基于模型的高级多变量控制(model-based advanced multivariable control)。此时网络控制层的输出是一个启动命令(start-up command)和一些对基于模型高级多变量控制初始化条件(initial conditions)。

对于系统评价与安全检查方面的问题,网络过程控制系统应从监视层和控制的各方面进行评估。表 2 给出了在系统评价中应考虑的两类机制——监视功能和控制功能。而计算机控制的工厂危害分析应扩展到网络过程控制的安全检查。网络可视过程控制时间框图(Process Control Event Diagram, PCED)中一个功能层。PCED 应包括控制系统是否该设计的有关信息。

表 2 系统评价的要素

| | |
|------------|-------------|
| 监控功能 | 控制功能 |
| 可利用性 | 可靠性 |
| 工厂动态执行特征 | 交互的快速反应 |
| 提供总体信息访问功能 | 提供直接实现的一种途径 |

5 结论

该文提出了在现有计算机控制的基础上,通过添加特殊的网络控制层,实现基于 Internet 的远程过程控制系统的一种设计方案。由此可知基于 Internet 的远程过程控制系统具有以下几方面的特征:

(上接 222 页)

Change 事件。而手动式连接则必须由客户程序提出要求,才会得到服务器程序所提供的数据。而在通知式连接中的变化,会在客户程序上发出 LinkNotify 事件。如果想终止会话,客户程序只要将 LinkMode 设置为 0 即可。除了控制项的上述三种属性外,还有许多函数和方法(Method)可用来操作 DDE,如 Shell 函数,LinkPoke、LinkRequest、LinkExecute 和 LinkSend 方法。

基于 Visual Basic 的 LONWORKS 网络监控界面如图 8 所示。

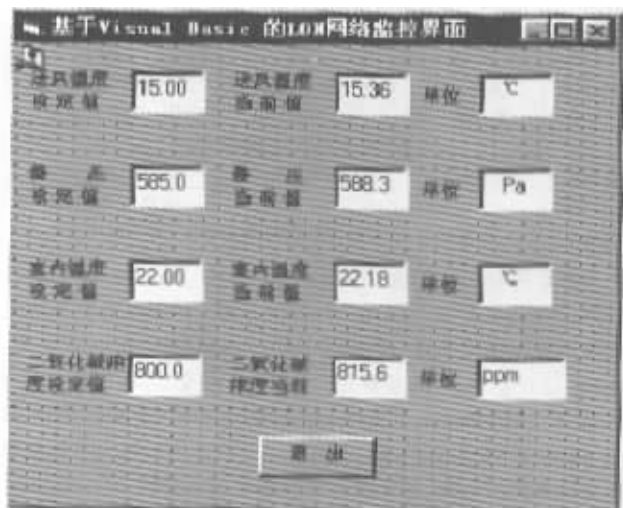


图 8 基于 Visual Basic 的 LONWORKS 网络监控界面

相关人员可利用网络接口在网络每一节点访问工厂网络,无需安装专用软件。他们也可不必使用专用计算机远程监控诸如化工过程、制药过程和大型工作站。

工厂设备可由地理上不同的地区通过专用设备管理。这将在合作领域(无论是国际上还是国内)造成极大的影响。

基于 Internet 的远程过程控制系统可在远程技能培训方面发挥作用。学生可在校外操作过程控制实验室的设备,然后通过网络访问结果。

控制系统易访问的特点,会使数据有更好的共享性,也可作为数据采集和数据仓库的信息源。(收稿日期 2001 年 10 月)

参考文献

1. Web-based instrument. Oxford Uni <http://adminnet.eng.ox.ac.uk/~steman/sevaweb/SEVAinstruments.html>.
2. Alty J L, Bergan M. Multi-media Interfaces for Process Control Matching Media to Tasks[J]. Control Engineering Practice, 1995, 3(2): 241~248
3. Yang S H. Manual of MTBE Dynamic Training Simulator[R]. Internal report, Leeds University(Chem.Eng), 1996
4. Intuitive Technology Corp. <http://www.aglance.com>. 1999
5. Halley A, Gauld P. Integration Where Java Meets Process Control[J]. Control and Instrumentation, 1999, 31(4): 57~58
6. Liansheng Tan, A C Pugh. A note on the solution of regular PMDs[J]. International Journal of Control, 1999, 72(14): 1235~1248
7. A C Pugh, Liansheng Tan. A generalized chain-scattering representation and its algebraic system properties[J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2000, 45(5): 1002~1007

7 结论

该文采用现场总线技术中的 Lonworks 技术建立变风量空调解耦控制系统,并对该变风量空调解耦控制系统作了较细致的描述,提出了用 LonManager DDE Server 和 Visual Basic 建立变风量空调解耦控制系统的 LONWORKS 网络监控系统的方法。认为用 Lonworks 技术中的网络变量来处理各个控制回路之间的补偿系数是很合适的,该系统具有现场总线技术的优点,包括实现了系统控制的彻底分散化,提高了解耦控制系统的可靠性。用 Lonworks 技术对变风量空调系统进行控制,可极大地改善变风量空调控制系统的品质并提高控制系统的先进性。(收稿日期 2002 年 6 月)

参考文献

1. Avery Gil. The Instability of VAV Systems[J]. Heating/Piping/Air Conditioning, 1992
2. 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 清华大学出版社, 1999
3. 方崇智, 萧德云. 过程辨识[M]. 清华大学出版社, 1988
4. 晋欣桥, 夏清. 多区域 VAV 空调系统及其局部 DDC 控制器的动态模拟[J]. 制冷学报, 1999(1)
5. 杨自厚. 自动控制原理[M]. 冶金工业出版社, 1990
6. 黄道平, 朱学峰, 胥布工. 自适应神经元非模型多变量优化补偿控制[J]. 控制理论与应用, 1998(3)
7. 杨育红, 涂敏, 李滨. LON 网络程序设计[M]. 西安电子科技大学出版社, 2001
8. 张树兵, 戴红, 陈哲. Visual Basic 6.0 程序设计[M]. 清华大学出版社, 2001