

基于模糊逻辑的多传感器数据融合方法研究

A Research based on Fuzzy Logic for Multi-sensor Data Fusion

(辽宁工业大学计算机中心) 李 昕 佟绍成 张 军

LI Xin TONG Shao-cheng ZHANG Jun

摘要: 针对当前工业环境下温湿度采集和多传感器数据融合的特点和需求,文章提出了一种基于模糊逻辑的多传感器数据融合方法,该方法能够消除错误数据对判别当前环境下温湿度状态的影响。文章首先介绍了温湿度检测系统的硬件构成,然后以模糊集理论为基础,研究了传感器数据的模糊转换,最后给出了基于模糊综合评判的多传感器数据融合方法。试验结果表明,本系统具有很强的实用性和智能性。

关键词: 传感器; 模糊逻辑; 综合评判; 数据融合

中图分类号: TP311

文献标识码: A

Abstract: According to the features and needs of collecting the data of temperature and humidity of current industrial environment, and the multi-sensor data fusion as well, this paper proposes an fuzzy logic based approach for the multi-sensor data fusion, this approach can remove the influence of incorrect data on evaluating the temperature and humidity of current environment. This paper first introduces the hardware construction of observation system of temperature and humidity. And then, based on fuzzy set theory, the paper investigates the methods for the sensor data fuzzy translation. Finally, a multi-sensor data fusion approach, which is based on fuzzy synthetic evaluation, is presented. The experiments identifies that the system has favorable performance in practicality and intelligence.

Key words: Sensor; Fuzzy logic; Synthetic evaluation; Data integration

1 引言

目前,大多数工业环境的温湿度自动检测系统都使用多场地多点传感器采集的方法来判别生产环境的温湿度状态,即在多个场地采集温湿度,每个场地设置多个传感器采集点。一个常见的问题是,由于场地不同,或同一场地的采集点不同,传感器采集到的温湿度数据之间有时会存在很大的差别,以往的方法大都是通过取平均值进行数据融合并以此作为当前环境下的温湿度值。然而,这种方法存在如下问题:其一,如果由于某种原因使得少数传感器采集到的数据不正确,则采用平均的方法就不能准确反映生产环境的实际状态;其二,工业环境下的温湿度随时都在发生变化,得到的数据就已经是过时的数据,为了减少温湿度采集频率同时又保证数据质量,温湿度控制系统提供给用户的数据应该是一个能够涵盖当前温湿度值的数值区间(或者是表达当前温湿度状态的一个模糊概念,如“高温”),而不应该是一个精确数值。针对上述问题,本文提出了一种多传感器数据融合方法,该方法基于模糊逻辑,首先对各场地各传感器采集到的温湿度数据进行模糊化处理,将其转换成能够代表当前温湿度状态的模糊概念,然后再对处理后的各场地多个数据进行综合评判,从而确定当前环境下的温湿度状态。文章的组织结构为:第2节介绍温湿度监测系统的系统结构和功能模块;第3节研究传感器温湿度数据的模糊转换;第4节研究多传感器数据融合的模糊综合评判;第5节总结全文。

李 昕:教授 博士生

基金项目:基金申请人:佟绍成;项目名称:非线性不确定系统的模糊自适应容错控制;基金颁发部门:国家自然科学基金(60674056)

2 系统硬件结构和功能

2.1 系统硬件结构

系统的整体架构分为两个层次,上层是数据存储与监控系统,由PC机、数据库服务器构成。上位机采用性能较高的PC机(必要时可采用集群技术保障数据的安全),操作系统为Windows 2003 Server,上位机接收有传感器采集的温湿度数据并根据温湿度状态对检测点环境进行智能控制。下层是数据采集与控制系统,由温湿度采集器、数字化温湿度传感器、变频器等组成。温湿度传感器和测量模块用“1-wire Bus”方式进行连接,测量模块与上位机采用RS-485总线实现远程通讯。下位机选用智能模块LTM8303、LTM8600等直接面向被控对象,通过传感器DS1820/DS18B20等组成测温电缆,对温湿度等数据进行实时检测。

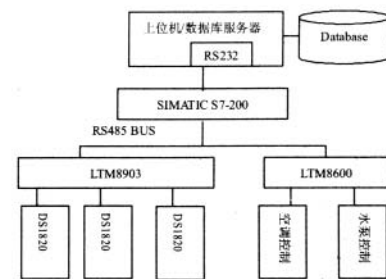


图1 系统硬件总体结构图

系统采用两级通讯网络连接。一级由上位机通过SIMATIC S7-200 隔离型 RS-232/485 转换模块组成 RS 485 分布式测控网,LTM8903 和 LTM8600 智能模块作为子站;另一级为“1-wire Bus”网,LTM8903 智能模块作为采集中心,测量线缆上的数字

化温湿度传感器探头作为子站,探头选用 Dallas 半导体公司数字化温度传感器 DS1820/DS18B20;LTM8600 模块为采集中心和控制中心,在保持与上位机通讯的同时采集温度、湿度等数据,并接收上位机的控制信号通过变频器控制风机、空调、水泵等执行机构。系统的硬件总体结构如图 1 所示。

2.2 功能模块

上位机控制系统:与下位机进行数据交互,接收来自传感器所采集的温湿度数据,提交给数据库;同时,也具有对各监测点实行集中监控,管理以及数据统计等功能。

数据采集控制模块:采集温度、湿度数据,发送给上位机;接收上位机的控制信号,对各风机、空调、水泵等设备通过变频器实施控制。

3 传感器数据的模糊化处理

3.1 模糊集基本理论

模糊集理论是由美国控制论专家 Zadeh 最早在 1965 年提出的,它用模糊集来描述现实中的模糊数。令 U 为论域,在 U 上的一个模糊数可以由 U 上的模糊集 F 来描述。隶属函数: $\mu_F: U \rightarrow [0, 1]$, 其中对于任意的 $u \in U$, $\mu_F(u)$ 表示 u 属于模糊集 F 的隶属度,模糊集 F 表示如下:

$$F = \{\mu_F(u_1)/u_1, \mu_F(u_2)/u_2, \dots, \mu_F(u_n)/u_n\}$$

支集 模糊集 F 的支集定义为由 F 中隶属度值不为 0 的元素构成的集合,表示为

$$\text{Supp}(F) = \{u | u \in U \text{ and } \mu_F(u) > 0\}$$

核 模糊集 F 的核定义为由 F 中完全属于 F 的元素 (也就是隶属度值为 1 的元素)构成的集合,表示为

$$\text{ker}(F) = \{u | u \in U \text{ and } \mu_F(u) = 1\}$$

α -截集 模糊集 F 的 α -截集定义为由 F 中隶属度值大于 (大于等于) α 的元素构成的集合,其中 $0 \leq \alpha < 1$ ($0 < \alpha \leq 1$),分别称为 F 的强(弱) α -截集,表示为

$$F_{\alpha+} = \{u | u \in U \text{ and } \mu_F(u) > \alpha\} \text{ 和 } F_{\alpha} = \{u | u \in U \text{ and } \mu_F(u) \geq \alpha\}.$$

一个模糊数的 λ -截集对应一个区间。如,令 A 为论域 U 上的模糊数,模糊数 A 的 λ -截集为 $A_{\lambda} = [x_1, y_1]$ 。

3.2 输入变量和输出变量

在采集现场温湿度数据时,多个传感器采集到的温湿度数据作为输入变量。然而,在工业环境中,温湿度数据通常在一个数值范围之内波动,而不是持续一个精确值。因此,为了使输入变量能够模拟当前温湿度状态,需要对其进行模糊化处理,使得每个输入变量都能够对应一种温湿度状态。一般来讲温湿度状态可用一个模糊概念来表示,该模糊概念代表一个数值区间,这样对应于每一个输入变量的模糊概念就作为输出变量。(注意:可能多个输入变量对应同一种温湿度状态,例如在工业环境下,在数值区间“80-100 度”之间的每个数据值都可能对应模糊概念“高温”。)每个模糊概念对应一个隶属函数,监控人员可以根据实际应用调整隶属函数和阈值的取值,从而能够灵活的控制模糊概念所代表的温湿度取值范围。这些输出变量将作为多数据融合中的模糊综合评判的输入变量。

3.3 传感器数值的模糊转换

本文以温度为例,来说明几个简单模糊概念的隶属函数,以及利用它们对传感器数据进行模糊转换的方法,具体包括:高温,中温,低温。

根据工业环境的领域知识,模糊概念“高温”的隶属函数定义为:

$$\mu_{\text{高温}}(u) = \begin{cases} 1 & u \geq 100 \\ [1 + (\frac{u-70}{10})^2]^{-1} & 70 < u < 100 \\ 0 & u \leq 70 \end{cases} \quad (1)$$

假设 λ 取值为 0.8,温度值域为 $[0, 150]$,则“高温”的 0.8 截集运算结果为 $[90, 150]$,即在这个区间的温度值,都可视为高温状态。

现在考虑模糊概念“中温”,根据工业环境的领域知识,模糊概念“中温”的隶属函数定义为:

$$\mu_{\text{中温}}(u) = \begin{cases} 0 & u \leq 40 \text{ 或 } u \geq 70 \\ \frac{1}{1 + (\frac{u-50}{10})^2} & 40 < u < 70 \end{cases} \quad (2)$$

假设 λ 取值为 0.8,温度值域为 $[0, 150]$,则“中温”的 0.8 截集运算结果为 $[45, 55]$,即在这个区间的温度值,都可视为中温状态。

现在考虑模糊概念“低温”,根据工业环境的领域知识,模糊概念“低温”的隶属函数定义为:

$$\mu_{\text{低温}}(u) = \begin{cases} 0 & u \geq 40 \\ [1 + (\frac{u-40}{10})^2]^{-1} & 70 < u < 100 \end{cases} \quad (3)$$

假设 λ 取值为 0.8,温度值域为 $[0, 150]$,则“低温”的 0.8 截集运算结果为 $[0, 45]$,即在这个区间的温度值,都可视为低温状态。

对于复合模糊概念,如温度“非常高”,“比较高”等,可通过相对应的简单模糊概念“高温”的隶属函数计算得来。方法如下

聚合原理: $\mu_{\text{very } F}(u) = (\mu_F(u))^2$ 还可推出, $\mu_{\text{very very } \dots \text{very } F}(u) = (\mu_F(u))^{2 \times (\text{times of very})}$

扩张原理: $\mu_{\text{more or less } F}(u) = (\mu_F(u))^{1/2}$

通过上述方法,就可以将传感器采集到的每一个温度数据转换成一个对应的模糊概念,这些模糊概念会由于原始温度数据的不同而存在差异,为了准确判断当前整个生产环境下的温度状态,就需要对多场地多点温度状态进行数据融合。

4 多传感器数据融合的模糊综合评判

4.1 模糊综合评判模型

模型: $A \circ R = B(b_1, b_2, \dots, b_m)$,

其中 $A = (a_1, \dots, a_n)$, $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, $a_i \geq 0$; $R = (r_{ij})_{n \times m}$, $r_{ij} \in [0, 1]$; $b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}$, $j = 1, \dots, m$ 。

这里 b_j 是 $r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj}$ 的函数,也就是评判函数。

对于综合评判有三要素:

- (1) 因素集 $U = \{u_1, \dots, u_n\}$, 被评判对象的各因素组成的集合;
- (2) 判断集 $V = \{v_1, \dots, v_n\}$, 评语组成的集合;
- (3) 单因素判断, 即对单个因素 u_i ($i = 1, \dots, n$) 的评判, 得到 V 上的模糊集 $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, 所以它是从 U 到 V 的一个模糊映射, $f: U \rightarrow F(V)$, $u_i \mapsto (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$

模糊映射 f 确定一个模糊关系 $R \in \mu_{n \times m}$, 称为评判矩阵。

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

它是由所有对单因素评判的 F 集组成的。由于各因素地位未必相等,所以需对各因素加权。用 U 上的 F 集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 表示各因素的权重分配,它与评判矩阵 R 的合成,就是对各因素的综合评判,于是得到了上述综合评判模型。

4.2 多场地多传感器数据的融合方法

多场地多传感器数据融合,实际上就是为了使得到的数据能够准确地反映当前环境下的温湿度状态。下面,本文将采用模糊综合评判的方法对多场地多传感器数据融合进行处理。

由多点传感器采集的温湿度数据,经过模糊化处理,转换成对应的温湿度状态。这些状态值作为模糊综合评判的输入。根据工业环境下温度采集和评判的特点,可设

$U = \{\text{场地 1}, \text{场地 2}, \text{场地 3}, \text{场地 4}\}$, $V = \{\text{很高}, \text{高}, \text{中}, \text{较低}, \text{低}\}$

然后,收集多点传感器数据所对应的温度状态。

对于场地 1, 假设有 20% 的传感器温度数据对应“高”, 有 30% 的对应“较高”, 40% 的对应“中”, 10% 的对应“较低”, 便可得出 场地 1 $\rightarrow (0.2, 0.3, 0.4, 0.1, 0)$, 类似的, 设有 场地 2 $\rightarrow (0.1, 0.3, 0.4, 0.1, 0.1)$, 场地 3 $\rightarrow (0.1, 0.2, 0.6, 0, 0.1)$, 场地 4 $\rightarrow (0.1, 0.2, 0.5, 0.2, 0)$ 。然后, 所有单因素评判组成评判矩阵

$$R = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.6 & 0 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

由于各场地的位置不同, 因此对各场地所给予的权数也不同, 假设监控人员对各场地所给的权重为:

$$A = (0.3, 0.2, 0.4, 0.1)$$

则可求得多场地多传感器温度数据融合的结果为

$$B = A \circ R = (0.13, 0.25, 0.49, 0.07, 0.06)$$

它表示的评价是: 温度“非常高”的程度为 0.13, 温度“高”的程度为 0.25, “中”的程度为 0.49, 温度“较低”的程度为 0.07; 温度“低”的程度为 0.06。按最大隶属原则, 结论是温度状态为“中”

由此可见, 上述模糊综合评判方法就具有很好的容错能力, 能够排除错误数据在融合过程中对正确结果的影响, 并且能够将低数据冗余。

4 结论

该系统在首钢东华集团试运行约半年左右, 此间企业运作比较良好。除了能够完成传统温湿度监测系统的功能外, 在智能控制方面和系统的灵活性方面都显示出良好的性能。

在经济效益方面, 据粗略统计, 在与没有实施移动温湿度监测系统情况下相比, 实施此系统之后使得现场监测加灵活准确, 在降低生产成本, 提高工作效率, 避免事故发生方面所形成的附加经济效益大约在 30~50 万元左右, 而由此给实施本系统的企业带来的巨大经济效益更是无法估算。

创新点: 1) 提出工业环境下温湿度数据监测系统的软硬件设计方案和实现方法;

2) 提出基于模糊综合评判的多传感器数据融合方法。

参考文献

- [1] 贾英新. 温室模糊控制系统设计 [J]. 河北省科学院学报, 2007, 23-4: 42-44.
- [2] 李昕, 孟祥福, 刘玥. 基于 WLAN 的酒店餐饮管理系统的实现 [J]. 微计算机信息, 2007, 17-2: 17-18
- [3] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. Information and Control [J], 1965, 8-3: 338-353.
- [4] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005.

作者简介: 李昕(1966-), 男(满族), 辽宁绥中人, 辽宁工业大学教授, 博士生, 主研方向: 信息安全, 数据库技术, 自动控制; 佟绍成

(1960-), 男(汉族), 辽宁锦州人, 辽宁工业大学教授/博士, 博士生导师, 主研方向: 模糊自适应控制; 张军(1962-), 男(汉族), 辽宁锦州人, 辽宁工业大学副教授, 主研方向: 数据库, 计算机网络。

Biography: LI Xin (1966-), male (the Man nationality), Liaoning Province, Liaoning University of Institute, professor, M.A., Research interests: Information security, Database technology and Automatic Control.

(121001 辽宁锦州辽宁工业大学计算机中心) 李昕 佟绍成 张军 (Computing Center, Liaoning University of Institute, Liaoning, jinzhou 121001) LI Xin TONG Shao-cheng ZHANG Jun 通讯地址: (121001 辽宁省锦州市人民街 44 甲 辽宁工业大学计算中心) 李昕

(收稿日期: 2009.03.23) (修稿日期: 2009.04.25)

(上接第 126 页)

[3] Zhang Cao, Huaxiang Wang et al. A calculable sensor for electrical impedance tomography. Sensors and Actuators A 140 (2007), 156-161

[4] 毕德显. 电磁场理论. 北京: 电子工业出版社, 1985, 65-232
作者简介: 雷敬婕, 女 (1983-), 硕士研究生, 研究方向为电容电阻层析成像技术。赵进创, 男 (1968-), 工学博士, 教授, 主要研究方向为嵌入式系统开发、现代信息检测与处理技术、成像技术和无线传感器网络等。

Biography: LEI Jing-jie, female, (1983-), Master degree, major in capacitance and resistance tomography technology.

(530004 南宁广西大学计算机与电子信息学院) 雷敬婕 赵进创 傅文利 谭彦

(College of Computer, Electronics and Information, University of Guangxi, Nanning 530004) LEI Jing-jie ZHAO Jin-chuang FU Wen-li TAN Yan

通讯地址: (530004 广西南宁广西大学西校园 A158 信箱) 雷敬婕

(收稿日期: 2009.03.23) (修稿日期: 2009.04.25)

《PLC 技术应用 200 例》

PLC (可编程程序控制器) 广泛地应用在冶金、机械、机器人、石油化工、电力传动、纺织机械、注塑机、包装机械、印刷机械、造纸机械、机床、自来水厂、污水处理、煤矿机械、焊接机械、榨糖机械、制烟机械、工程机械、水泥机械、玻璃机械、食品机械、灌装机械、橡胶机械、船舶、铁路、窑炉、车辆、智能建筑、电梯控制、中央空调控制、大型医疗机械、起重卷扬机械、大坝闸门、大型泵站……

各行各业机械工程师, 电气设备工程师, 高级技工都需要具备 PLC 的知识, 才能做好本职工作。本书汇集 200 多个硬 PLC 和软 PLC 在各行业的应用实例, PLC 故障诊断实例, PLC 抗干扰措施, PLC 使用经验、PLC 技术发展, 均在本书之中论述。

本书适合大专院校机械类、电气类、电力类、自动控制和自动化类专业的本科、研究生做毕业设计参考, 同时适合老师进行教学、搞科研项目参考。本书是上述各行业的工程技术人员、技术工人的必备参考书, 同时也是工厂和科研单位的技术领导、设备采购负责人的参考书。凡具备高中以上文化水平的人均可成为读者。

200 多个西门子、三菱、美国通用电气、施耐德、欧姆龙、罗克韦尔、松下电器、和泉……等 PLC 应用实例, 任您选读。一技之长, 改变人生。

大 16 开, 每册定价 110 元 (含邮费)。预购者请将书款及邮费通过邮局汇款至

地址: 北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息 邮编: 100081

电话: 010-62132436

010-62192616 (T/F)

http://www.autocontrol.com.cn

http://www.autocontrol.cn

E-mail: editor@autocontrol.com.cn;

E-mail: control-2@163.com