

文章编号:1004-1478(2011)01-0074-05

数据分割与注册:智能化多传感 训练系统范例研究

梁威, 李晓明, 何建斌

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:针对多传感器系统的数据融合问题,以自适应性肢体康复训练系统为例,对数据分割与注册进行了研究.对于数据分割中的时间序列对准问题,采用三次样条拟合的方法加以解决;对于数据注册中的形式统一化问题,将实际测量参数经特征提取、适应性建模、预测及自评估,变为特征变量和相应的自评估置信概率表述,其他档案性信息和非模拟量参数则通过模糊化处理变为相同形式的表述,再进一步转换为统一的符号形式,即可解决.仿真结果证明了该融合决策方案的有效性.

关键词:数据融合;数据分割;数据注册;多传感器系统;自适应性肢体康复训练系统

中图分类号:TP212

文献标志码:A

Data segmentation and registration: discussion on model of an adaptive multi-sensor training device

LIANG Wei, LI Xiao-ming, HE Jian-bin

(College of Electr. Infor. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: For the multi-sensor system's data fusion problem, data segmentation and registration by self-adaptive physical rehabilitation training system as an example was discussed. Cubic spline fitting method is used to solve the segmentation of time series data alignment problem. In order to solve the format unification, feature extraction, adaptive modeling, prediction and self-assessment are used in characteristic variables and the corresponding confidence probability of self-assessment statements, other files of information and non-analog processing parameters are changed by the same form of expression and then into unified form. The effectiveness of the method was proved with testing results.

Key words: data fusion; data segmentation; data registration; multi-sensor system; self-adaptive physical rehabilitation training system

0 引言

近年来,随着传感器技术的迅速发展,对数据融合的研究日益显现出其重要性.尤其对于需要具

有较高复杂程度和智能化要求的系统,比如具有高度综合作战能力的军事指挥系统、具有较高精度的医疗诊断系统、空中交通管制系统、工业自动控制及机械故障诊断系统等,多传感器数据融合就是其

收稿日期:2010-10-21

基金项目:河南省国际科技合作计划项目(094300510079)

作者简介:梁威(1954—),男,河南省洛阳市人,郑州轻工业学院教授,主要研究方向为智能传感与信息融合.

关键的核心技术之一^[1-6]。

在多传感器信息融合过程中,传感器数据的分割和注册是必须解决的重要问题之一。传感器数据分割是指在一个具有多传感器的大系统中,对系统内部与其他传感器有显著不同、且对其他传感器操作没有直接影响的传感器,为使其在设定的背景模型下,通过系统控制器的作用间接地影响其他传感器工作机理所进行的分析处理过程。传感器的注册是指,无论在空间还是在时间上,使来自任一传感器的数据都达到完全一致的处理过程。

根据本系统的特殊需求,决定采用分割操作的控制方法。相比其他集中控制的方法,分割操作更能发挥控制效率高、占用资源少的优点。分割操作通常使用平滑滤波的算法,但由于实际应用中很多传感器并不是均匀采样,因此,平滑滤波算法不尽合理。对于多传感器系统来说,上述问题非常普遍,这是因为多传感器系统通常涉及多个学科,信号多表征为不同形式,从时间和空间两方面来说,采用的处理方式和角度往往不同。因此,要使传感器数据具有更好的统一性和普适意义,就要进行正确的数据分割与注册,这是整个系统能否实施有效信息融合的关键所在^[7-9]。

本文拟以医疗康复训练领域中的自适应肢体康复训练系统为例,对其进行数据分割与注册研究,以期获得对于多传感器系统的数据融合具有普遍意义的结论。

1 自适应肢体康复训练系统

基于多传感器检测的自适应康复训练仪,利用安装在仪器不同部位的传感器采集康复训练中的相关参数,判定患者的体能状况及下一步的动作意图,从而进行适应性的驱动负载调整,使患者在力所能及的情况下,尽可能在最大的驱动阻尼负载下实现连续的运动,由此获得最佳的康复锻炼效果。

自适应肢体康复训练系统框图如图1所示。其工作过程为:首先,将传感器采集到的相关数据经预处理传感接口送入计算机,计算机依据人机接口输入的身高、体重和血压等档案信息对其进行相应处理,对使用者当前体能状况和意图进行判断,然后发出相应的操作命令,对驱动负载进行调节。

该方法的核心是依据来自医疗专家的经验知识,经过数据分割与注册以及合适的算法进行数据

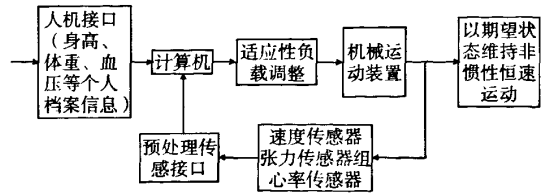


图1 自适应肢体康复训练系统框图

融合,最后做出相应的决策,实现智能化的适应性负载驱动和控制。

2 系统信息融合中的数据分割

康复训练系统的输入传感信息主要有作用于脚踏上的2个张力传感信号,分别来自臀部与靠背的4个张力传感信号(可依此间接地获取背臀比),以及速度传感器和脉搏计数器的信号等^[5]。

2.1 张力及背臀比信号

脚踏张力和转轮速度是具有较强因果联系的相关信息,结合专家经验,可将其不同状态下的组合直接作为决策参考。表1为最简单的实时直接物理参数与负载调整的模糊化决策示例。

表1 实时直接物理参数与负载调整的模糊化决策

速度/ ($r \cdot \min^{-1}$)	脚踏张力/N		
	高(≥ 150)	中($60 \sim 150$)	低(≤ 60)
高(≥ 55)	体能对当前负载“过强”	体能对当前负载“趋强”	体能对当前负载“趋弱”
中($45 \sim 55$)	体能对当前负载“较强”	体能对当前负载“适中”	体能对当前负载“较弱”
低(≤ 45)	体能对当前负载“趋强”	体能对当前负载“趋弱”	体能对当前负载“过弱”

背臀比是基于医疗专家的经验设置的参数。当患者的坐姿主要着力于臀部时,表征体质较强;而坐姿主要着力于背部时,表征体质较弱。因而,该参数可以间接地表征患者的身体状态,对决策有较大的参考作用。背臀比与脚踏张力和转轮速度有一定的相互影响,但这种关系的对应规律具有模糊性,对最终决策仅起辅助作用。

2.2 脉搏计数数据

脉搏计数数据与张力、速度等物理参数并无直接关系,但在与其他参数综合考虑时,却是判断体能状态的重要依据。在某些特殊时刻,该数据甚至可以反映需要外部紧急介入的要求,在此情况下,脉搏计数数据将对其他传感器的操作产生直接影

响.此外,若考虑时间延续性因素,则在整个动态过程中都可找到该传感信息与其他信息间存在的对应关系和规律.

2.3 档案性信息

患者本人身高、体重以及有关病史等静态的档案性信息,在决策时应统一进行考虑.

基于上述分析,笔者将多传感器数据按以上次序依次分割为实时直接物理参数、实时间接物理参数、实时生物参数、静态档案性信息 4 类,在决策前对其进行相应的预处理,以期实现融合处理后的决策.

在系统启动过程,首先根据静态生物信息和相关参数进行模式录入选择,包括针对正常人、运动员、康复患者及无主动驱动能力者 4 种人的不同模式.比如对运动员,要将阻尼加至特大,对无主动驱动能力者,不仅不能增加系统阻尼,还需要加入适当的驱动.不管选择什么模式,由康复医疗理论可知,通过对运动阻尼负载的调节,将训练过程设计为非惯性恒速转动状态是最合理的,即维持基本恒定的运动速度,使不同的人在其能力允许的最大可驱动负载下保持持续运动,从而获取最理想的康复训练效果.

实际测试中,患者全力驱动阻尼轮转动,使系统转速恒定下来近 20 s 后,系统专家数据库会提供相应的模式选择,主要包括转速和张力的期望值范围,以及是否需要加入外力驱动等.

在实时运行中,脚蹬力、背臀比、速度、心率的变化都将通过融合决策过程影响负载的改变.正常状态下,当心率、速度、脚蹬力、背臀比同时改变时,为保持系统的稳定性,系统先将心率和速度传感器的数据暂时屏蔽,将脚蹬力和背臀比传感器的数据作为有效数据进行处理,对负载进行初调,取得稳定状态后再参考速度和心率传感数据做进一步处理.对非正常状态,系统根据异常状态的速度或心率传感信息,为直接介入并干预其他传感器和负载调整提供了决策通道.这种分割形式,简化了信息处理过程,提高了最终决策的适应性和智能化程度.

3 系统注册处理

传感器注册功能的有效实施,可为多传感数据在相同的参照时间内以统一形式进行融合提供保证.

对于实时模拟量参数的时间一致性问题,笔者采用基于最小二乘法的三次样条拟合法加以解决,该算法计算简单、速度较快,可有效提高时间对准的效率.做法是先根据待测参数特征,以不同的频率对其分别进行采样,将每个传感器在采样时刻 t_i 的测量值记为 (t_i, y_i) ,这样每个传感器都可得到一组相应的数据.为了在融合前将不同时刻的测量数据对准到同一时间点上,系统采用最小二乘法的样条拟合算法.

假设某传感器在时间段 $[t_0, t_n]$ 内对目标进行了 $n + 1$ 次测量,给定时刻 t_i 对应的观测值为 $f(t) = y_i (i = 0, 1, \dots, n)$,构造一个三次样条差值函数 $s(x)$,使其满足下列条件:

- 1) $s(t_i) = y_i, i = 0, 1, \dots, n;$
- 2) $s(t)$ 在每个小区间 $[t_i, t_{i+1}]$ 上是一个三次多项式, $i = 0, 1, \dots, n - 1;$
- 3) $s(t)$ 在 $[t_0, t_n]$ 上具有二阶连续导数.

基于最小二乘的样条函数拟合是在样条函数空间 $s_k(g)$ 内,找出对于 $f(t)$ 关于范数 $\|g\|$ 的最佳逼近,即找到 $s^*(t)$,此时有

$$\|f - s^*\| = \min_{s \in s_k(\Delta)} \|f - s\| \tag{1}$$

三次样条插值函数的构造过程如下:记 $m_i = s'(t_i) (i = 0, 1, \dots, n)$,在每个小区间 $[t_i, t_{i+1}] (i = 0, 1, \dots, n - 1)$ 上,利用 Hermite 插值公式写出三次样条插值函数 $s(t)$ 的计算公式:

$$s(t) = \left(1 + 2 \frac{t - t_i}{t_{i+1} - t_i}\right) \left(\frac{t - t_{i+1}}{t_i - t_{i+1}}\right)^2 y_i + \left(1 + 2 \frac{t - t_{i+1}}{t_i - t_{i+1}}\right) \left(\frac{t - t_i}{t_{i+1} - t_i}\right)^2 y_{i+1} + (t - t_{i+1}) \cdot \left(\frac{t - t_{i+1}}{t_i - t_{i+1}}\right)^2 m_i (t - t_{i+2}) \left(\frac{t - t_{i+2}}{t_{i+1} - t_{i+2}}\right)^2 m_{i+1} \tag{2}$$

利用条件 $s''(t_i^-) = s''(t_i^+), i = 0, 1, \dots, n - 1$,并附加边界条件 $s''(t_0) = s''(t_n) = 0$,可得方程组

$$\begin{cases} 2m_0 + \alpha_0 m_1 = \beta_0 \\ (1 - \alpha_i) m_{i-1} + 2m_i + \alpha_i m_{i+1} = \beta_i \\ (1 - \alpha_n) m_{n-1} + 2m_n = \beta_n \end{cases} \tag{3}$$

$$i = 0, 1, \dots, n - 1$$

其中, $\alpha_0 = 1, \alpha_i = \frac{h_{i-1}}{h_{i-1} + h_i}, \alpha_n = 0, \beta_0 = \frac{3}{R_0} (y_1 - y_0),$
 $\beta_i = 3 \left[\frac{1 - \alpha_i}{h_{i-1}} (y_i - y_{i-1}) + \frac{\alpha_i}{h_i} (y_{i+1} - y_i) \right], \beta_n = \frac{3}{h_{n-1}} \cdot$
 $(y_n - y_{n-1}), h_i = t_{i+1} - t_i, i = 0, 1, \dots, n - 1.$

$$\begin{cases} 2m_0 + \alpha_0 m_1 = \beta_0 \\ (1 - \alpha_1)m_0 + 2m_1 + \alpha_1 m_2 = \beta_1 \\ (1 - \alpha_2)m_1 + 2m_2 + \alpha_2 m_3 = \beta_2 \\ \vdots \\ (1 - \alpha_{n-1})m_{n-2} + 2m_{n-1} + \alpha_{n-1}m_n = \beta_{n-1} \\ (1 - \alpha_n)m_{n-1} + 2m_n + \alpha_n m_{n+1} = \beta_n \end{cases} \quad (4)$$

方程组系数矩阵为三角矩阵,其行列式不为0,所以方程组的解存在且唯一.对方程组求解,可得

$$m_i = a_i m_{i+1} + b_i \quad i = n, n-1, \dots, 1, 0$$

$$\text{其中, } a_i = \frac{-\alpha_i}{2 + (1 - \alpha_i)\alpha_{i-1}}, b_i = \frac{\beta_i - (1 - \alpha_i)b_{i-1}}{2 + (1 - \alpha_i)a_{i-1}}, i =$$

$$0, 1, \dots, n, a_0 = -\frac{\alpha_0}{2}, b_0 = -\frac{\beta_0}{2}.$$

运用公式求 $b_i, a_i (i = 0, 1, \dots, n)$, 令 $m_{n+1} = 0$, 求出 m_n, m_{n-1}, \dots, m_0 , 将所给参数 $t_i, y_i, m_i (i = 0, 1, \dots, n)$ 代入 $s(x)$ 即可求得三次样条插值函数.

经过样条插值拟合,可得到一条平滑曲线,由该曲线可以求得传感器在任意时刻的值.这时再与其他传感器进行时间对准,即可注册成功.

为解决各种参数不同形式的统一化问题,可采用如图2所示的方案.

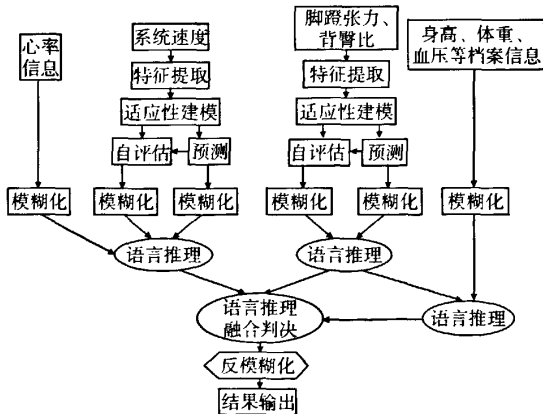


图2 经过形式统一化的信息融合整体方案

采用该方式,将实际测量参数通过特征提取、适应性建模和预测及自评估,变为特征变量和相应的自评估置信概率表述,其他档案性信息与非模拟量形式的参数亦可通过模糊化形式变为相同形式的表述,由信号层次进入逻辑层次,并进一步统一转换为符号形式,参与最后的融合决策.决策过程中的相关档案信息,为非惯性运动的阈值设定提供了可靠依据^[10-11].

4 运行结果及分析

依据本系统设计的融合方案,对不同体能状态的对象进行了实际运行测试.图3和图4所示数据分别取自2个测试对象.图3数据取自测试对象1,其身高167 cm,体重62 kg,系统运行20 s后基本达到稳定的非惯性匀速状态,此时运行速度大约保持在56 ~ 60 r/min之间.位于一侧的脚蹬张力大约在45 ~ 70 N之间变化,与另一侧脚蹬张力的关系呈近似正弦规律,图中曲线为原始测试数据采用三次样条插值函数拟合后的结果.

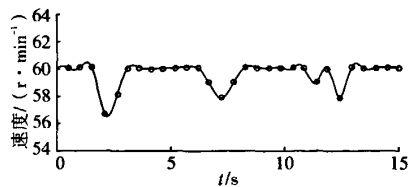


图3 测试对象1的速度、脚蹬力数据及拟合结果

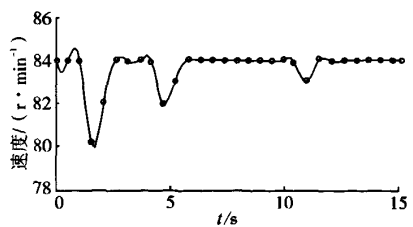


图4 测试对象2的速度、脚蹬力数据及拟合结果

作为对比,图4数据取自测试对象2,其身高179 cm,体重81 kg,经融合决策后调整负载,很快达

到非惯性匀速运行状态.此时运行速度大约在80~84 r/min之间,单侧脚踏张力大约在50~120 N之间,呈近似正弦规律变化.

还有多组类似数据未列出.从仿真结果来看,虽然最终数据与个人体能间并无严格的对应关系,但对于不同体能的人来说,系统决策还是给出了不同的适应状态,从而可在一定程度上保证训练者取得最佳训练效果.这说明该系统具有较高的智能化水平,同时对不同使用对象具有较好的适应能力.

5 结论

本文以智能化康复训练系统装置为例提出的分割和注册方法,对于多传感数据的融合处理具有一定的普适意义.实际运行测试结果证明了这种融合决策方式的有效性.目前的问题是分析还比较粗略,如何提取更多的例证,进行更深入的分析 and 比较,在理论与实际的结合方面获得更为清晰的脉络,将是未来的研究方向.

参考文献:

- [1] 华鑫鹏,张辉宜,张岚.多传感器数据融合技术及其研究进展[J].中国仪器仪表,2008(5):40.
- [2] 梁凯,潘泉,宋国明,等.基于曲线拟合的多传感器时间对准方法研究[J].火力与指挥控制,2006(12):51.
- [3] 李娟,李甦,李斯娜.多传感器数据融合技术综述[J].云南大学学报:自然科学版,2008,30(2):241.
- [4] 白云飞,曲尔光.多传感器信息融合技术及其应用[J].机械管理开发,2008,23(1):69.
- [5] 周浩敏,钱政.智能传感技术与系统[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [6] Liang Wei, Li Yinhua, Li Jie. Hierarchical decision-making of multi-sensor system for state estimation of machining process [C]//IEEE Asia Pacific Conf on Circuits and Syst, Singapore: APCCAS, 2006: 155-158.
- [7] 杜志江,孙传杰,陈艳宁.康复机器人研究现状[J].中国康复医学杂志,2003(5):293.
- [8] 何平,杨保华,王本利.模糊数据融合技术在系统故障诊断中的应用[J].电机与控制学报,2004(8):51.
- [9] Luo R C, Phang S H H, Su K L. Multilevel multi sensor based decision fusion for intelligent animal robot[J]. Robotics and Auto, 2001(4):4226.
- [10] 张济川,金德闻.新技术在康复工程中的应用和展望[J].中国康复医学杂志,2003(6):352.
- [11] 王刚,张志禹.多传感器数据融合的研究现状[J].电测与仪表,2006(2):1.