

技能模糊控制系统的一种设计方法

韩生廉 胡国四 黄昱珅

(同济大学电子与信息工程学院 上海 200092)

摘要 模糊控制是一种独具特色的有效的控制方法,但是作为模糊控制的一个重要课题的技能模糊控制一直未能很好解决。在探讨技能模糊控制特征的基础上,提出其控制系统的构成方法,并通过实例验证该方法的有效性。

关键词 技能模糊控制, 适值自调整, 遗传算法

分类号 TP 18

A Designing Method of Skill Fuzzy Control System

Han Shenglian, Hu Guosi, Huang Yushen
(Tongji University)

Abstract There is an important task in fuzzy control that hasn't been solved now — skill fuzzy control. A construct method of skill fuzzy control system based on the character of skill control is presented. The example of controlling car's running track is given to prove the validity of this method.

Key words skill fuzzy control, fitness self-adjust, genetic algorithm

1 引言

模糊控制是模糊理论最早获得成功的领域。它使长期以来生产过程中许多难以解决的自动化问题得到了有效的解决,扩大了生产过程自动化的范围,减轻了现场操作人员的负担,提高了控制品质。模糊控制家电产品的问世,更使模糊控制进入了人们的日常生活。

但是,模糊控制还有一个一直未能很好解决的课题,这就是“技能”模糊控制。常规模糊控制的本质是把人的控制知识和经验描述成语言形式的控制规则,这种语言形式的知识和经验来自于人脑,即所谓“智能”。而“技能”控制则与“智能”控制完全不同,比如汽车在街角处转弯时驾驶员对于油门、刹车和方向盘等的操作,是驾驶员的眼、手、足的巧妙配合,他接受了某些信息后,输出了这些恰到好处的动作。这些动作与智能不同,是人的一种技能。某些生产过程中操作人员对过程的声音、颜色、气味等判断后所进行的操作,也属于技能控制。很显然,如果能实现技能的自动控制,就可减轻操作人员的负担,进一步扩

大自动化的范围,也可以使机器人向人类更加接近。

2 技能模糊控制的特征

技能模糊控制系统的自动化是模糊控制范畴的一个重要研究方向,其意义在于这种控制普遍存在于生产过程和人类的日常生活之中。

技能模糊控制系统的主要特征是操作者所接受的情报和他所输出的控制动作之间的关系极为复杂,复杂到连语言也无法描述的程度。另一个特征是技能模糊控制系统通常是多输入多输出的系统。

技能控制作为解决在广泛领域中用机器代替人的问题的重要途径,引起了人们的关注。1985年,松岛等提出了对操作者手动控制的模糊特性的解析问题^[1],并构造了具有转矩饱和伺服系统的操作人员的控制模式,但基本上还是语言规则的表现形式。

1988年,菅野针对文献[1]用语言描述技能控制规则的困难性和应用时的局限性,提出了用线性函数来描述技能控制中操作者使用的情报与控制动作之间的关系^[2]。其技能控制模式如下

* 1999-04-07 收稿, 1999-08-02 修回

$$\begin{cases} R^1: y_1 = P_{11}x_1 + P_{12}x_2 + \dots + P_{1m}x_m \\ R^2: y_2 = P_{21}x_1 + P_{22}x_2 + \dots + P_{2m}x_m \\ \vdots \\ R^n: y_n = P_{n1}x_1 + P_{n2}x_2 + \dots + P_{nm}x_m \end{cases} \quad (1)$$

其中, x_1, x_2, \dots, x_m 为操作者使用的情报; y_1, y_2, \dots, y_n 为操作者执行的控制动作; $P_{ij} (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m)$ 为待定系数。

1993年, 高桥等给出了由汽车驾驶员的操作特性使汽车自动识别行驶环境的方法, 提出了用区间模糊关系逆问题描述技能控制的另一种模式^[3], 即 $[R] \circ [A] = [B]$ 。

上述三种技能控制模式都有不足之处。文献[1]提出跟踪操作者的动作, 但仍用通常的模糊控制语言规则描述技能控制, 显然要耗费大量的时间, 且具有严重的局限性。文献[2]的线性函数模式虽然表现形式简洁, 但把操作者使用的情报和输出的动作这种用语言也难以推述的强非线性关系用线性函数来近似, 理论上难以解释, 并且诸多待定系数靠试探方法确定相当耗时费力。文献[3]的控制模式理论上容易接受且运算也不复杂, 但却存在解的不唯一性, 如何从多个解中寻求最优解的评价函数问题需要解决。

考虑到技能模糊控制器的设计需要对大量参数进行寻优, 涉及大范围、多参数、复杂和不连续的搜索表面, 本文采用适值自调整型遗传算法来进行优化设计。

3 利用适值自调整遗传算法设计技能模糊控制系统

3.1 适值自调整型遗传算法概述

常规遗传算法的性能表现如下:

- 1) 可以优化模糊控制系统从结构到参数值的各个方面;
- 2) 可以不需要设计者对控制对象有任何先验知识;
- 3) 可以没有良好的训练数据对;
- 4) 易于融入设计者的知识以提高学习效率;
- 5) 易于同其他方法结合使用。

由于技能模糊控制系统输入输出之间关系的复杂性, 常规遗传算法的早期收敛问题在技能模糊控制系统设计中显得更加突出。若用通常的改进遗传操作方法(改进交叉和变异操作等)以避免早期收敛, 又会损害遗传算法的基本性质, 即形质遗传性。

所谓形质遗传性(Character Preservingness), 是指两亲的形态、性质要适当地为子女所继承。本文采用适值自调整型遗传算法^[4], 有效地解决了早期收敛问题。适值自调整遗传算法的函数定义如下

$$k_0 = \frac{a+b}{2} \quad (2)$$

$$C_{n+1} = \frac{k_n g_n^{\min} - g_n^{\max}}{k_n - 1} \quad (3)$$

$$f(x) = g(x) - C_{n+1} \quad (4)$$

$$k_{n+1} = \begin{cases} a, & \frac{f_{n+1}^{\max}}{f_{n+1}^{\min}} < a \\ \frac{f_{n+1}^{\max}}{f_{n+1}^{\min}}, & a \frac{f_{n+1}^{\max}}{f_{n+1}^{\min}} \\ b, & \frac{f_{n+1}^{\max}}{f_{n+1}^{\min}} > b \end{cases} \quad b \quad (5)$$

其中, k_n : 第 n 代个体的最大最小适值比;

C_n : 第 n 代个体的适值计算参数;

a, b : 最佳适值比区域(一般取 2 ~ 4 即可);

g_n^{\min} : 第 n 代个体中目标函数值的最小值;

g_n^{\max} : 第 n 代个体中目标函数值的最大值;

f_n^{\min} : 第 n 代个体中适值函数值的最小值;

f_n^{\max} : 第 n 代个体中适值函数值的最大值。

3.2 技能模糊控制系统设计方法

假设技能模糊控制器的输入量为 e , Δe , 控制量为 Δu 。设定控制规则表如表 1 所示。其中 $C_{ij} (i = \{1, 2, 3\}, j = \{1, 2, \dots, 5\})$ 为控制规则后件部值, 可将其划分为 5 个模糊区间 {PB, PM, ZO, NM, NB}。显然, 技能控制系统的控制规则后件部值 C_{ij} 是无法人为确定的, 可用优化模糊控制规则的设计方法并用遗传算法对其进行系统设计。

表 1 控制规则表

Δu	e				
	PB	PM	ZO	NM	NB
PB	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}
Δe	ZO	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
NB	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{35}

分别对各后件部值进行编码。针对本例, 由于模糊区间分为 {PB, PM, ZO, NM, NB}, 可将后件部值 C_{ij} 编码 1, 2, 3, 4, 5 计 5 个整数, 并将所有的编码连成一串。这样, 完整的规则集(整个 FLC)就可作为一个个体, 多个不同的 FLC 形成一个群体, 如图 1 所示。

遗传操作方式定义如下:

交叉操作: 交叉操作与二进制编码的遗传算法



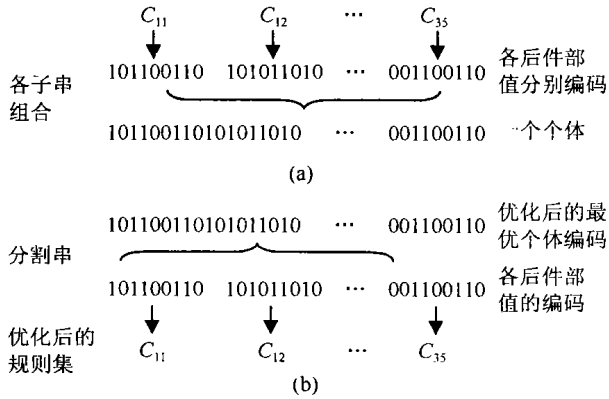


图 1 个体的编码与解码方式
(a) 编码方式 (b) 解码方式

相类似, 以每一位编码为单位, 如 2134 串和 1235 在第二位后进行交叉, 得到的子代为 2135 和 1234 两个个体。

变异操作: 以变异概率任选个体中的一位编码, 并将其用其他编码代替。

对该群体进行选择、交叉和变异的遗传操作, 经过若干代的遗传操作后, 便可得到所需的满足要求的个体。将求得的个体解码得各后件部值, 便可得到期望的控制规则表。

4 仿真实验

4.1 技能控制实例

一辆汽车停在目标直线的左侧, 要求驾驶员在尽量短的时间以及尽量短的路程内将汽车开到直线上, 并使汽车沿直线方向行驶, 如图 2 所示。其中, α 车身和直线间的夹角; v : 汽车质心的运行速度; d : 汽车质心离目标直线的垂直距离; δ 汽车前轮的转向角。

显然, α, v, d, δ 这 4 个参数是驾驶员所能获取的输入量, 驾驶员执行的操作就是转动方向盘和控制油门, 亦即 $\Delta\delta_r$ (方向盘转角变化量) 和 Δv (汽车质

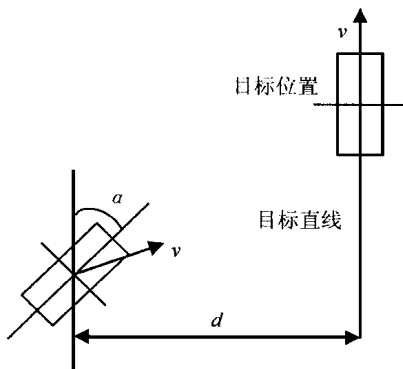


图 2 汽车行驶示意图

心的速度变化量)。

要求设计一个以 α, v, d, δ 4 个参数为输入量, 以 $\Delta\delta_r$ 和 Δv 为输出量的技能模糊控制器, 使之能代替人的功能。

4.2 汽车数学模型分析

4.2.1 汽车的横向动力学模型^[6-8]

为了研究汽车在曲线行驶时的特性, 需要十分复杂的非线性等效系统, Riekert 和 Schunck 为了解决汽车的线性两自由度(横摆和侧移)的运动学问题, 于 1940 年提出了单轮辙模型。这个模型被许多研究者所应用, 直到今天它仍作为汽车动力学线性理论技术的基点。

假设在理想路面情况下, 不考虑地面切应力对轮胎侧偏特性的影响, 没有空气动力的作用, 忽略由于载荷变化引起的轮胎特性的变化以及轮胎正力矩的作用。这样, 实际汽车便简化为一个两轮摩托车模型, 如图 3 所示。其中, β : 汽车实际运动方向和车身的夹角, δ 汽车前轮转向角, v : 汽车运动速度, v_v : 汽车前轮运动速度, v_h : 汽车后轮运动速度, SP: 汽车的质心, l : 汽车的长度, l_h : 汽车质心和后轮的距离。

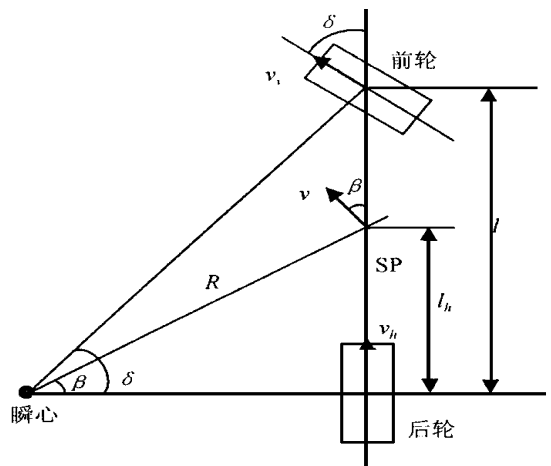


图 3 缓慢行驶时无侧向力的车轮辙模型

4.2.2 汽车的运动轨迹方程

根据汽车的横向简化动力学模型, 可计算出汽车的运动轨迹方程。建立一绝对坐标系 (a, b) 和固结于汽车的相对坐标系 (x, y) , 则汽车运行轨迹如图 4 所示。

定义 $a(t), b(t)$ 为 t 时刻汽车的质心位置, $\alpha(t)$ 为 t 时刻相对坐标系 (x, y) 和绝对坐标系 (a, b) 的夹角, $\beta(t)$ 为 t 时刻汽车实际运动方向和车身的夹角, $\delta(t)$ 为 t 时刻汽车前轮的转向角, $v(t)$ 为 t 时刻汽车质心速度。则经过一个无穷小的时间 Δt 后, $t + \Delta t$ 时刻汽车的各参数为

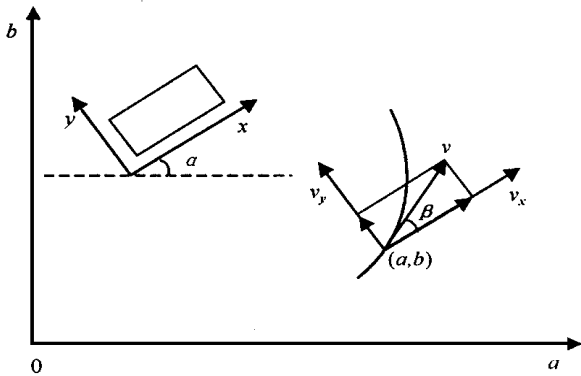


图4 汽车运行轨迹曲线

$$a(t + \Delta t) = a(t) + v(t) \cos(\alpha(t) + \beta(t)) \Delta t \quad (6)$$

$$b(t + \Delta t) = b(t) + v(t) \sin(\alpha(t) + \beta(t)) \Delta t \quad (7)$$

$$\beta(t + \Delta t) = \beta(t) + \frac{l_h}{i_s l} \Delta \delta_t \quad (8)$$

$$\alpha(t + \Delta t) = \alpha(t) + \frac{v(t) \cos \beta(t) \tan \delta(t)}{l} \Delta t \quad (9)$$

$$v(t + \Delta t) = v(t) + \Delta v \quad (10)$$

$$\delta(t + \Delta t) = \delta(t) + \frac{1}{i_s} \Delta \delta_t \quad (11)$$

其中, $\Delta \delta_t$ 为 Δt 时间内汽车的方向盘角度变化量, Δv 为 Δt 时间内汽车的质心速度变化量, i_s 为方向盘和前轮的总转向传动比。

4.3 仿真结果

将所有输入变量 α, v, d, δ 均划分为 3 个模糊区间, 依次为负大(NB), 零(ZO), 正大(PB); 所有的输出变量 $\Delta \delta_t$ 和 Δv 均划分为 5 个模糊区间。这样便构成两个各有 $3^4 = 81$ 条的规则表。定义汽车在运行至距离直线 $d < 0.05d_0$ (d_0 表示汽车初始位置与直线的垂直距离), 汽车车身方向和直线夹角 $\alpha < 5^\circ$ 时达到要求。综合考虑汽车运行的路程和快速性, 取如下的目标函数定义方法

$$g(x) = \int |d| dt \quad (12)$$

假设汽车的初始位置为原点, 初始车身方向 90° 以速度 0.1 向直线 $b = 1$ 逼近。分别利用常规遗传算法和适值自调整型遗传算法对该模糊控制器进行优化设计, 得到的汽车运行曲线如图 5 所示。

显然, 使用遗传算法后, 可以设计出一个达到预期目的的控制器来代替人的工作。同时, 由于使用了适值自调整型遗传算法, 设计出的模糊控制器的控制性能有了很大提高。

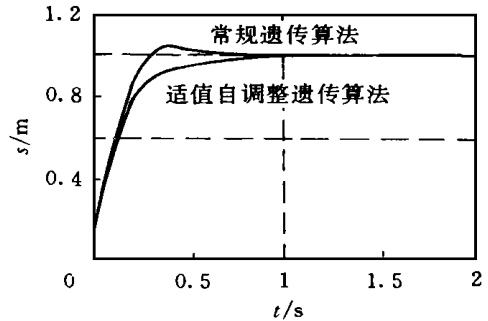


图5 汽车运行轨迹仿真曲线

5 结 语

技能模糊控制除上述人的技能控制外, 还包括缓慢的化工过程、食品保鲜业、水处理业、混凝土业、垃圾处理业等各种输入输出因果律不明确控制系统。因此, 技能模糊控制系统设计方法的研究不仅具有理论意义, 而且也具有广泛的现实意义。

参 考 文 献

- 1 松岛信之, 杉山敏文. 不感帯を持つ制御対象の手动制御におけるあいまい制御モデルを用いた操作者の特性解析. 計測自动制御学会论文集, 1985, 21(5): 429—436
- 2 菅野道夫. ファジィ制御. 东京: 日刊新闻社, 1988
- 3 高桥宏, 韩生廉, 关口隆. 区间値ファジィ关系逆问题法による走行环境推定. 日本ファジィ学会志, 1993, 5(4): 827—839
- 4 胡国四, 韩生廉. 遗传算法适值函数定义方法的研究. 控制与决策, 1999, 14(6): 694_ 697
- 5 胡国四, 韩生廉. 遗传算法交叉算子的改进及其在钢管材质分检系统中的应用. 计算技术和自动化(录用预发表)
- 6 阿达姆 措莫托. 汽车行驶性能. 北京: 科学普及出版社, 1992
- 7 余志生. 汽车理论. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 8 张洪欣. 汽车设计. 北京: 机械工业出版社, 1992

作 者 简 介

韩生廉 男, 1943 年生。1989 年于日本横滨国立大学获工学博士学位, 现为同济大学电气工程系教授。研究领域为模糊控制与模糊决策, 模糊控制与遗传算法结合技术等。

胡国四 男, 1974 年生。1999 年于同济大学获硕士学位。研究领域为模糊控制与模糊决策, 模糊控制与遗传算法结合技术。

黄昱珮 女, 1974 年生。同济大学硕士研究生。研究领域为模糊控制与模糊决策, 模糊控制与遗传算法结合技术等。