

文章编号: 1006-1576 (2008) 10-0067-03

## 基于视觉的智能车模糊 PID 控制算法

刘进, 齐晓慧, 李永科

(军械工程学院 光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 基于 freescale 公司的 16 位 HCS12 单片机设计一种智能车系统。系统摄像头采集路径信息, 通过单片机的模糊推理机在线整定 PID 参数, 使小车能按照任意给定的黑色引导线平稳地寻迹。实验证明: 系统能很好地满足智能车对路径识别性能和抗干扰能力的要求, 舵机调节响应时间快, 稳态误差小, 具有较好的动态性能和良好的鲁棒性。

**关键词:** 智能车; HCS12 单片机; 模糊 PID; 控制算法

**中图分类号:** TP18; TP273+.4 **文献标识码:** A

## Intelligent Vehicle Fuzzy-PID Control Algorithm Based on Vision

LIU Jin, QI Xiao-hui, LI Yong-ke

(Dept. of Optical & Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** An intelligent vehicle system based on Freescale 16-bit single-chip is presented. The system recognizes the path through a CMOS camera, adaptively adjusts the PID parameters based on fuzzy interference machine online. And the vehicle tracks random black guide line smoothly. Experimental results show that the system meets the need of path recognition and anti-interfere, adjusts actuator quickly, while has little error in steady state, good dynamic characteristics and well robustness.

**Keywords:** Intelligent vehicle; HCS12 single-chip; Fuzzy-PID; Control algorithm

### 0 引言

在“freescale 杯”全国大学生智能汽车大赛中, 要求智能车在 16 位单片机 MC9S12DG128 (简称 S12) 的控制下自主寻线前进。涉及到了自动控制、模式识别、传感器技术、控制算法等学科知识, 其中控制算法对智能车自主行驶的高速性、稳定性和流畅性起着重要作用。目前, 常规 PID 控制器是工程中应用最广泛、最基础的控制器, 具有简单、可靠性高、稳定性好的特点, 但对于智能车这种非线性、时变、模型不确定的复杂系统, 其控制效果较差, PID 参数整定非常困难或根本无法整定, 很难得到预期的控制效果。模糊控制能对复杂和模型不确定的系统进行简单而有效的控制, 但它不具有积分环节, 因而在一般的模糊控制系统中很难完全消除稳态误差, 并且在变量分级不够多的情况下, 在平衡点附近常常会存在小的振荡现象。故将 2 种控制方法结合起来, 提出基于机器视觉的模糊 PID 控制算法。该算法能利用模糊控制器实时的在线自整定 PID 参数, 应用于智能车的控制上效果较好。

### 1 智能车控制模型设计思想

#### 1.1 道路模型建立

按大赛规则, 要求智能车在白色背景的场地上, 通过对转向角和车速的控制, 使小车能自动地沿着一条任意给定的黑色带状引导线行驶。首先要建立道路模型, 然后通过图像处理得到实际的道路参数。选用 1/3 Omni Vision 5116 CMOS 摄像头采集前方的路况信息。由于摄像头安装高度以及倾斜角度造成采集到的前方道路图像是一梯形区域, 存在较大的图像失真, 在实际处理中对每行提取的信息都加了一个线性修正系数来消除梯形失真, 如图 1, 其中  $AB=80\text{cm}$ ,  $CD=28\text{cm}$ ,  $H=100\text{cm}$ 。

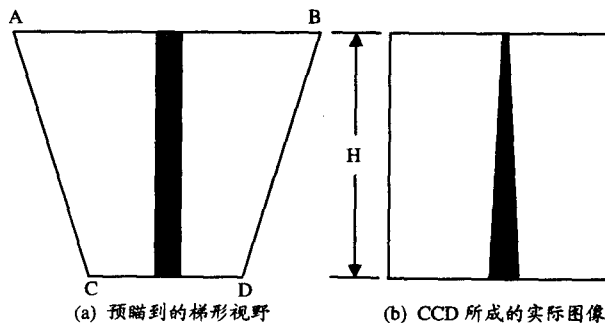


图 1 采集图像的梯形失真

对获得的图像首先 A/D 采样、滤波和二值化处理, 有效像素可达  $64 \times 32$ , 得到的黑白灰度数据保存在二维数组中, 1 表示白色背景, 0 表示黑色寻引

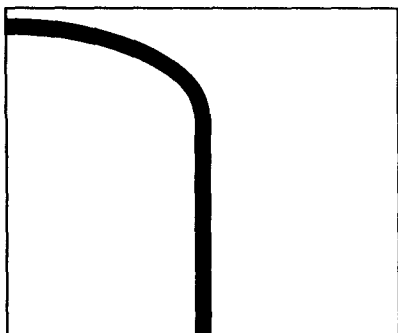
收稿日期: 2008-05-10; 修回日期: 2008-06-21

作者简介: 刘进 (1984-), 男, 四川人, 军械工程学院在读硕士, 从事自动化与智能控制研究。

线, 此时可方便地提取出路径信息, 如图 2。

0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1

(a) 图像对应的二维数组



(b) 摄像头采集的图像

图 2 视频数据示意图

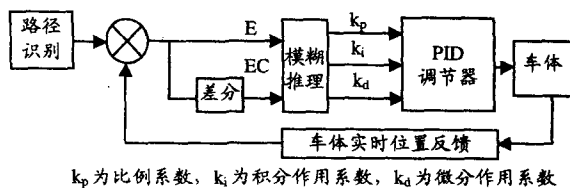
### 1.2 智能车控制算法

智能车属于典型的非线性、时变、模型不确定复杂系统。在实际测试过程发现, 不同形状的跑道上, 其受机械性能和道路摩擦因素等客观条件影响很大, 几乎不可能建立准确的数学模型, 但是在相同的路径参数下, 智能车的特性却可近似为不变。故把道路分为 3 种具有代表型的类型: 直道、大弯道、“S”型小弯道, 分别确定这 3 种典型道路参数下的最佳 PID 参数(参数通过试验, 由经验得出)。其核心思想是把控制周期内的车辆状态视为不变, 只要控制周期足够短, 就可实现很好的控制效果。在智能车实际的行使中, 每 20ms 进行 1 次控制, 可满足要求。此外, 该算法结合单片机的 S12 模糊推理机, 可针对不同的道路参数在线自整定 PID 参数, 对系统的参数变化具有较强的鲁棒性。

### 1.3 控制器结构

PID 参数模糊自整定就是找出 PID 三个参数与输入量 E 和 EC 之间的模糊关系, 在运行中检测 E 和 EC, 根据模糊控制原理来对 3 个参数进行在线修改整定, 以满足不同路况下的 E 和 EC 对控制参数的要求, 提高系统的动、静态性能, 如图 3。

其中, E=图像视场最左端到黑线中心的距离-图像视场最右端到黑线中心的距离, EC 为前后 2 次 E 的差分。



$k_p$  为比例系数,  $k_i$  为积分作用系数,  $k_d$  为微分作用系数

图 3 模糊 PID 控制器结构图

## 2 模糊 PID 控制算法

### 2.1 控制算法设计

按照驾驶规则, 算法的目的就是要使智能车始终保持在规定的跑道内, 并且整个行使过程要高速、平稳、流畅。因此, 对于不同的路况施与相应的控制率。

### 2.2 典型路况 PID 参数的确定

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等来考虑, PID 各参数的作用:  $k_p$  的作用是加快系统的响应速度, 提高系统的调节精度;  $k_i$  用于消除系统的稳态误差;  $k_d$  改善系统的动态性能<sup>[1]</sup>。

充分利用经验, 并依据各参数的作用, 通过大量的测试获得了 3 种路况下较为合适的 PID 参数, 其实验数据如下:

- (1) 在直道上系统取  $k_p=2$ ,  $k_i=3$ ,  $k_d=0$ , 测试环境为一条长度 10m 的长直道;
- (2) 在大弯道上系统取  $k_p=8$ ,  $k_i=0$ ,  $k_d=1$ , 测试环境为直道进入一个半径为 50cm 的 3/4 圆;
- (3) 在“S”型小弯道上系统取  $k_p=4$ ,  $k_i=2$ ,  $k_d=2$ , 测试环境为 6 个 90° 圆弧构成的“S”型小弯道。

### 2.3 模糊推理控制器

#### (1) 输入变量模糊化

该模糊推理控制器为 2 入 3 出, 选取偏差绝对量|E|和偏差变化率绝对量|EC|为输入语言变量, 其论域分别为 (0, 32) 和 (0, 10)。输出量为  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ , 其论域分别为 (2, 8), (0, 3), (0, 2)。根据以往经验和单片机处理能力, 系统中|E|取 5 个语言值: (VS, S, M, L, VL), |EC|取 4 个语言值(S, NM, PM, L),  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$  均取 3 个语言值(S, M, L), 其隶属度函数如图 4 ( $k_i$ 、 $k_d$  与  $k_p$  类似)。

#### (2) 模糊规则表

模糊控制规则是模糊推理的依据, 主要根据专家经验与对系统观察和测量的结果生成, 这些规则通常放在规则库里, 如表 1 ( $k_i$ 、 $k_d$  的模糊规则表与  $k_p$  的类似)。

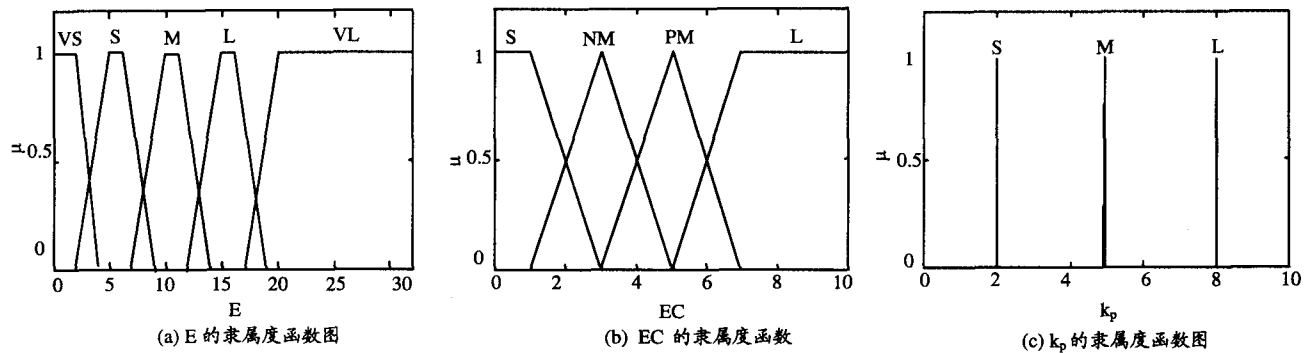


图4 隶属度函数图

表1  $k_p$  的模糊推理规则表

EC	E				
	VS	S	M	L	VL
S	S	S	M	M	L
NM	S	S	M	L	L
PM	S	S	M	L	L
L	S	M	L	L	L

在直道上  $|E|$  较小，为使系统有较好的稳态误差应取较小的  $k_p$  和较大的  $k_i$ ，避免在平衡点附近出现振荡，通常  $k_d=0$ ；在大弯道上  $|E|$  较大，应取较大的  $k_p$  和较小的  $k_d$  以使系统响应加快，同时去掉容易产生积分饱和的积分环节， $k_i=0$ ；在“S”型小弯道上  $|E|$  中等，应取中等的  $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ ，其中  $k_d$  对系统响应得影响最大。

(3) 模糊推理与反模糊化

推理方法有很多种，结合选用的 S12 单片机，系统采用 MAX-MIN 法。每条规则的强度取前件中最小值，当相同后件的规则强度不同时，模糊输出取其最大值。

反模糊就是将模糊推理得到的模糊输出变为精确的控制量，系统为了达到较高的控制要求，采用重心法，计算公式为：

$$U_k = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i K_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (i = S, M, L)$$

其中， $U_k$  为最后输出的精确量， $\mu_i$  为模糊输出， $K_i$  为以上提到的输出量的单值隶属度函数。

3 算法实现与试验验证

由于 S12 单片机自带模糊控制指令，模糊控制算法的实现就比较容易。所有的隶属度函数和规则表预先存在 FLASH 里。其中，每个隶属度函数由 4 个点确定，18 个隶属度函数共占 72 字节空间；规则表的各规则之间以 \$FE 分开，最后以 \$FF 结尾，60 条规则共占 420 个字节空间<sup>[2]</sup>。MEM 是模糊化指令，以梯度法求实时输入变量的隶属度；REV 是

模糊推理指令，不带权重按模糊逻辑规则求值；WAV 为反模糊化指令，以加权平均来算出精确输出量。经过实际测试，在 25MHz 总线频率下模糊逻辑推理程序的执行时间仅为 21μs，完全满足系统实时性要求。

设定车速为 1.5m/s、1.8m/s、2.2m/s，分别进行了直道—圆—S 型跑道试验，前 2 组能很好地行使，整个过程也较平稳。第 3 组时，智能车偶尔会冲出跑道。初步分析，在高速条件下，车体性能出现急剧下降，同时路径信息采集不足，导致控制强度不够，舵机转向不及时。

4 结束语

与常规 PID 控制器相比，该算法提高了系统抗外部干扰和内部参数变化的鲁棒性，减小了超调，改善了动态特性。与简单的模糊控制器相比，减少了稳态误差，提高了平衡点的稳定度。对于智能车这种模型不清楚的复杂系统能进行简单而有效的控制。在已经结束的第二届“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车大赛中，该系统在全国具有“自动化博士点授予权”的 130 余所大学的 242 支代表队中，获得全国二等奖。由于单片机的速度限制，导致视频信号采集能力不足，换用功能更强的 ARM 芯片和改善车体的机械性能是下一步的研究重点。

参考文献：

[1] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.  
 [2] 邵贝贝. 单片机嵌入式应用的在线开发方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.  
 [3] 窦振中. 模糊逻辑控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.  
 [4] 张越. 基于单片机和模糊控制的水温自动控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2007, (4): 71-72.  
 [5] 吕广明. 自动引导车轨迹偏差的智能控制[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (12): 1465-1467.