

文章编号: 1002-0268 (2004) 09-0107-05

基于 GA 的交叉路口自适应模糊控制器优化设计

王晓薇, 王 慧

(浙江大学系统工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 经典交叉路口交通信号模糊逻辑控制器的模糊规则是预先人为确定的, 不可避免地带有主观因素, 且不能随着交通流的变化而动态改变, 不能保证模糊逻辑控制系统最优的要求。本文提出适用于交通信号模糊逻辑控制的改进 GA 算法, 设计适用于模糊规则编码的带区间范围限制的十进制编码方案, 并实现受限分布一致交叉和变异算子, 改进经典赌轮选择法, 避免病态个体产生, 加快收敛速度, 可以自适应地动态确定最优模糊规则。MATLAB 仿真结果表明该方法的有效性。

关键词: 交叉路口模糊控制; 遗传算法; 自适应; 模糊规则

中图分类号: U491.1⁺16 **文献标识码:** A

Optimized Designation of Adaptive Fuzzy Traffic Controller Based on Genetic Algorithm

WANG Xiao-wei, WANG Hui

(The Institute of Systems Engineering, Zhejiang University, Zhejiang Hangzhou 310027, China)

Abstract: Conventional fuzzy traffic signal controllers use man-made control rules. This approach does not guarantee the optimal solution to design dynamic fuzzy control system. In this paper, the near optimal rules of traffic fuzzy controller were automatically determined by the enhanced genetic algorithm method which is refined for fuzzy traffic signal control. A new decimal coding schema was designed to implement the unified coding of fuzzy rules. An improved selection method, a constrained and stepped crossover and mutation operator are presented to decrease the sick-items and speed up the convergence. The effectiveness of the method was shown through MATLAB simulation.

Key words: Fuzzy intersection traffic control; Genetic algorithm; Adaptive; Fuzzy rules

0 引言

城域交叉路口交通信号灯的控制由于其自身复杂、干扰因素多等特点而难以建立精确的数学模型。自 Pappis 等人在 1977 年首先将模糊集理论应用到城域交叉路口控制^[1]之后, 模糊控制以其无需精确数学模型、可以综合专家(交警)的经验等优点在这一领域得到进一步研究与发展。但大多数的研究往往集中于对控制器输入输出参数的改进以及向多相位、多路口控制的扩展^[2]。由于经典模糊控制的规则往往是预

先根据人的经验确定, 且一经确定在整个控制过程中就不再改变。因此, 当路口交通情况变化较大、特别是不同方向车流量相差较多的情况下, 控制效果将变得不理想。

针对上述模糊控制器的弱点, 本文面向单交叉路口交通信号的控制问题, 在经典的双输入单输出模糊控制器的基础上, 根据交叉口车流的变化, 运用遗传算法(GA)动态地调整模糊规则形成自适应模糊控制器。仿真结果显示, 当路口南北、东西两个方向车辆到达率相当情况下, 本文提出的自适应模糊控制器

与经典模糊控制器的控制效果相当；但当两个方向车辆到达率相差较大时，前者表现出更好的性能。

1 经典模糊控制器设计

交叉路口交通信号灯的控制目标是：确定红绿灯信号配时（即绿灯延长时间 T ），使通过路口的车辆平均延误尽可能小。设计的经典模糊控制器的输入量为绿灯方向的车辆排队数 QG （Queue Green）和红灯方向的车辆排队数 QR （Queue Red），输出量为绿灯的延长时间 T 。为保证车辆通过路口的安全性，设最小的绿灯时间为 15s；又考虑到司机和行人的心理承受能力，最大的绿灯时间设为 60s，即最大的绿信延长时间为 45s。

取 QG 的论域为：{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}，模糊集为 7 个，其语言值分别为：VF（很少），F（少），FP（较少），C（中），MP（较多），M（多），VM（很多）。

表 2 QR 的模糊集定义表

隶属度		QR 的论域元素																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
模糊量	VF	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F	0.1	0.3	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	FP	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	MP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0	0	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.3	0.1
	VM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.6	0.8	1

取 T 的论域为：{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12}。模糊集为 7 个，其语言值分别为：VS（很短），S（短），SP（较短），C（中），LP（较长），L（长），VL（很长）。赋值如表 3 所示。

表 3 T 的模糊集定义表

隶属度		T的论域元素												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
模糊量	VS	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	SP	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0
	LP	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0
	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1
	VL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1

表 4 根据人工经验确定的模糊控制表

T 的模糊量		QG 的模糊量						
		VF	F	FP	C	MP	M	VM
QR 的模糊量	VF	VS	S	SP	C	LP	L	VL
	F	VS	S	SP	C	LP	L	VL
	FP	VS	S	SP	C	C	LP	L
	C	VS	S	SP	C	C	LP	L
	MP	VS	S	SP	C	C	LP	LP
	M	VS	S	S	SP	SP	C	LP
	VM	VS	VS	S	S	SP	SP	C

（少），FP（较少），C（中），MP（较多），M（多），VM（很多）。各模糊集定义如表 1 所示。

表 1 QG 的模糊集定义表

隶属度		QG 的论域元素												
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
模糊量	VF	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	FP	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0	0	0
	MP	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1	0	0
	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1	0.5	0.1
	VM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	1

为提高精度，取 QR 论域为：{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}，模糊集为 7 个，其语言值分别为：VF（很少），F（少），FP（较少），C（中），MP（较多），M（多），VM（很多）。各模糊集定义如表 2 所示。

模糊规则从人工经验抽象得到，如表 4 所示。模糊决策采用 Mamadani's (min-max) 决策法，解模糊采用重心法 (centroid)。

2 GA 优化模糊控制规则设计

虽然上述经典模糊控制器作用于具有较为稳定交通流的交叉路口时，与定时控制相比，具有较好的控制效果（参见后面仿真结果），但在路口交通状况发生较大变化，如交叉方向车辆到达率相差很大时，定时控制将会导致路口交通堵塞，而经典 FLC 也已力不从心。由于模糊控制规则是模糊控制的核心，当路口交通状况变化时，模糊规则也应做相应调整，这种情况下，运用 GA 优化模糊规则，使之动态调整，以达到减少车辆平均延误的目的。具体的设计思想与优化策略在下面给出。

2.1 GA 优化设计思想

设交叉口的一个信号周期时间为 T ，若此周期内第 i 秒时东西向、南北向滞留的车辆数分别为 c_L_ewi 和 c_L_sni ，则此周期路口平均车辆容量 $Volume = \sum_{i=1}^T \frac{(c_L_ewi + c_L_sni)}{T}$ 。当最近的连

续3个信号周期的路口平均车辆容量和上次GA得到模糊控制规则时对应的路口平均车辆容量相比改变均

超过某一阈值(如 30%)时,则调用 GA 优化策略对模糊控制规则进行调整,其工作原理与结构如图 1 所示。

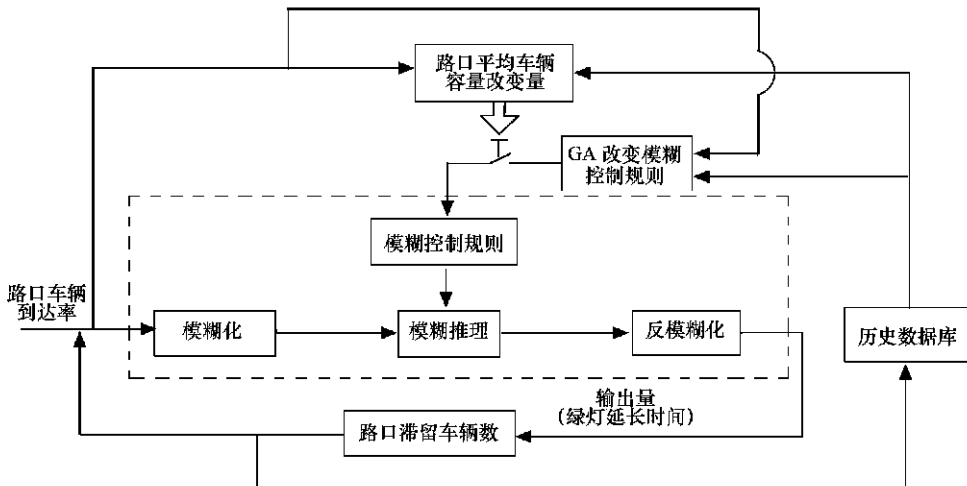


图 1 GA 优化模糊控制规则的工作原理与结构框图

2.2 GA 的编码方案和适应度函数

在用 GA 优化策略对模糊控制器的模糊控制规则进行动态调整时, 将模糊控制器看作一种学习分类系统, 采用匹兹堡法, 将完整的模糊控制规则集作为一个个体, 多个不同的规则集形成一个群体。

通常, 二进制编码的 GA 搜索能力较强, 但编码长度长, 实现起来复杂。而十进制编码的编码长度短, 可操作性强, 易于译码及编程实现, 且对于变异操作的种群稳定性比二进制编码好, 这里我们选用十进制编码。约定对于语言变量的 7 种编码: VS(很短)、S(短)、SP(较短)、C(中)、LP(较长)、L(长)、VL(很长), 分别以十进制数 1、2、3、4、5、6、7 代表。这样模糊规则(如表 4 所示)就转化为一个如表 5 所示的二维实数数组。将此二维数组拉伸, 就转化为一维数组, 形成如下的实数编码:

1234567 1234567 1234566 1234456 1234455 1223345
1122334。编码长度为 $7 \times 7 = 49$ 位。

表 5 十进制数表示模糊控制表

T 的模糊量		QG 的模糊量						
		VF	F	FP	C	MP	M	VM
QR 的 模 糊 量	VF	1	2	3	4	5	6	7
	F	1	2	3	4	5	6	7
	FP	1	2	3	4	5	6	6
	C	1	2	3	4	4	5	6
	MP	1	2	3	4	4	5	5
	M	1	2	2	3	3	4	5
	VM	1	1	2	2	3	3	4

车辆平均延误时间是评价路口交通信号控制性能的一个重要指标。对于同一路口, 车辆平均延误时间越小, 则说明路口的绿、红信号比分配越合理。车辆平均延误时间定义: 假定整个路口控制第 $k-1$ 秒结束时路口车辆的总等待时间为 T_{k-1} , $k-1$ 秒内通过路口的

车辆总数为 c_all_{k-1} , 此时东西和南北方向车辆滞留数分别为 $c_L_ew_{k-1}$ 和 $c_L_sn_{k-1}$, 第 k 秒东西和南北方向车辆到达数分别为 $c_AR_ew_k$ 和 $c_AR_sn_k$, 路口通过率为 c_V 辆/s。不妨假设南北方向为绿灯信号, 则第 k 秒结束时东西方向车辆滞留数 $c_L_ew_k$ 为 $c_L_ew_{k-1} + c_AR_ew_k$, 南北方向车辆滞留数 $c_L_sn_k$ 为

$$\begin{cases} c_L_sn_{k-1} + c_AR_sn_k - c_V \\ \quad (\text{当 } c_L_sn_{k-1} + c_AR_sn_k - c_V > 0) \\ 0 \quad \quad \quad \text{其他} \end{cases}$$

路口车辆的总等待时间为 $T_k = T_{k-1} + c_L_sn_k + c_L_ew_k$, k 秒内通过路口的车辆总数 c_all_k 为 $c_all_{k-1} + c_AR_ew_k + c_AR_sn_k$ 。 k 秒内车辆平均延误时间 t_delay_k 为

$$t_delay_k = \frac{T_k}{c_all_k} = \frac{T_{k-1} + c_L_snk + c_L_ewk}{c_all_{k-1} + c_AR_ewk + c_AR_snk}$$

在此,为了减小随机误差,选取了 600s 内的车辆平均延误的算术平均值的倒数作为 GA 的适应度函数。也即如果整个路口控制第 k 秒时满足调用 GA 得到新的优化模糊控制规则条件,记录 k 秒后 600s 内车辆的到达情况。根据 GA 得到的不同的模糊控制规则可算得第 $k+i(i=0, \dots, 599)$ 内车辆平均延误时间 t_delay_{k+i} , 适应度函数 $Cost$ 可表示为 $Cost = \frac{1}{\sum_{i=0}^{599} \frac{t_delay_i}{600}}$, GA 将满足最大适应度的模糊控制规则作为新的优化模糊控制规则。

2.3 遗传算子

GA 遗传操作(genetic operator)包括以下 3 个基本遗传算子:选择(selection);交叉(crossover);变异(mutation)。对于本问题,如采用常规的遗传算子操作,可能会得到极不合理的模糊控制规则,为增加群体的多样性,保证进化的速度,采用了以下改进算法:

(1) 初始种群的产生 考虑随机产生的模糊控制规则个体可能极不合理,且影响以后进化进度。在此,将表 4 中的模糊控制规则作为母体,每位编码按 10%的概率±2, 25%的概率±1, 30%的概率不变,产生 $m-1$ 个个体组成原始种群。

(2) 群体中各个体的适应度计算 采用经典赌轮法选择 n 个个体,按适应度大小排序。适应度最大的前两个个体不经交叉直接复制到下一代,删除两个适应度最小的个体,从适应度最大的个体中按照产生原始种群的方法产生两个新个体加入种群。

(3) 交叉 余下的 $n-4$ 个体随机配对,配对的个体按概率 $P_c=80\%$ 交叉,同时交叉配对的每个个体的基因又按 40%的概率进行等位基因交换。

(4) 变异 除了适应度最佳的两个个体以及新加入种群的两个个体,其余个体均按 $P_m=15\%$ 进行变

异,变异的个体的每位基因又按 10%的概率变异。

3 仿真

根据上述方案,采用 MATLAB 对同一路口不同交通流量,分别采用定时控制、经典模糊控制以及本文提出的方法进行了仿真。仿真参数如下:仿真时间 100min,初始种群数 $m=40$,被选取进行遗传操作的个体数 $n=20$,迭代次数 $count=30$,路口车辆通过率为 12 辆/s,绿灯方向的车辆排队数 Q_G 论域的量化因子 $K_{QG}=0.15$,红灯方向的车辆排队数 Q_R 论域的量化因子 $K_{QR}=1.1$,绿灯的延长时间 T 论域的量化因子 $K_T=45/12=3.75$ 。其主程序流程图见图 2 所示,GA 算法流程图如图 3 所示。最后的仿真结果如图 4、

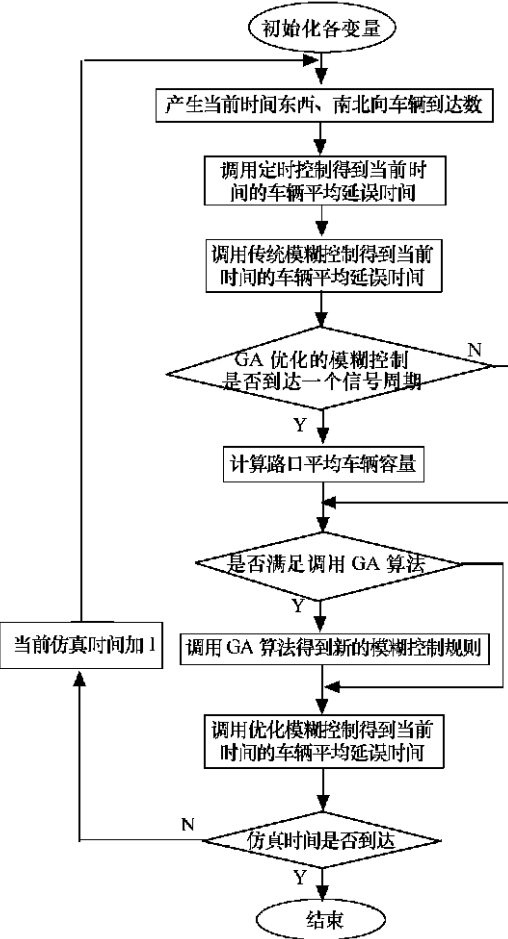


图 2 仿真主程序流程图

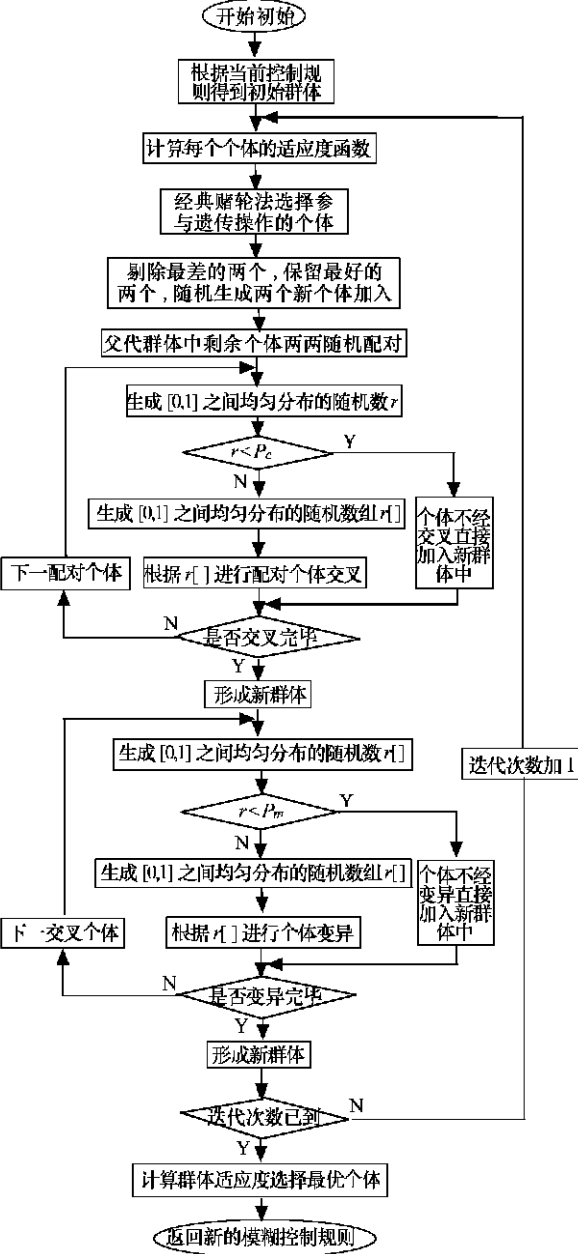


图 3 GA 算法流程图

图5 所示。这两张图的上图和中图都反映东西、南北车辆到达率随时间的变化。

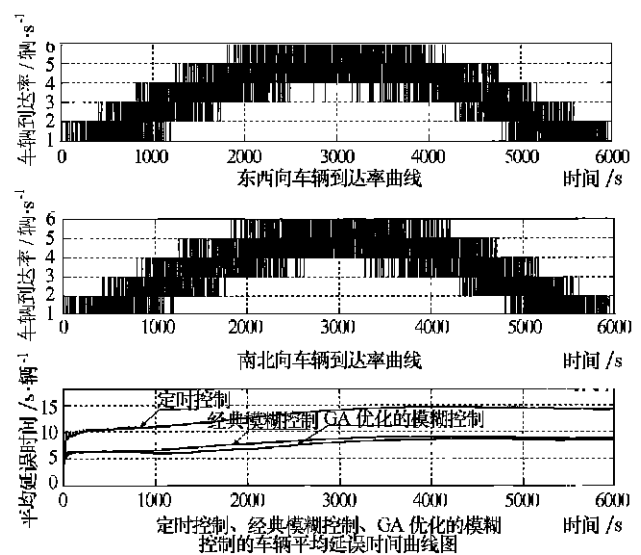


图4 东西、南北向车辆到达率相当时的车辆平均延误时间仿真图

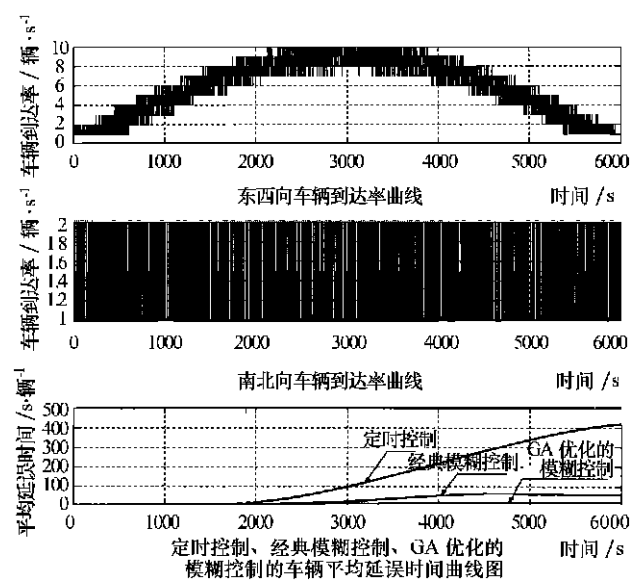


图5 东西、南北向车辆到达率差异较大时的车辆平均延误时间仿真图

从图4的下图可以看出，在相向车辆到达情况相当情况下，经典模糊控制大大优于定时控制，而本文的方法基本与传统模糊控制相当，略显优势。从图5的下图可以看出，此时采用定时控制已发生交通堵塞，而采用GA优化的模糊控制与采用经典的模糊控制相比，大大减小了车辆的平均延误时间。

4 结束语

经典模糊控制器的模糊规则由人的经验确定，有一定的局限性，不能随被控对象的动态改变而改变，例如交叉路口信号控制，在交通流量不对称、变化较大的情况下，原来的规则很可能大部分不再适用或者不再有效。本文提出了一种新的基于GA的交叉路口自适应模糊逻辑控制器，实现了模糊逻辑控制器规则动态自适应优化。该算法在简单遗传算法（Simple Genetic Algorithm, SGA）基础上做了改进，设计了一种用于交通信号模糊逻辑控制器模糊规则的带区间范围限制的十进制编码方案，并实现了受限分布一致交叉和变异算子，改进经典赌轮选择法，避免了病态个体产生，加快了收敛速度。通过对同一路口不同交通状况实施传统定时控制、经典模糊控制以及自适应模糊控制的控制效果的仿真比较，结果显示本文提出的基于GA的自适应模糊控制取得比其他两种较优的效果。随着数字技术的普及和发展，低价位的高速单片机或数字信号处理器（DSP）的出现使得本文提出的算法具有很好的应用前景。

参考文献:

[1] Pappis C P, Mamdani E H. A Fuzzy Logic Controller For A Traffic Junction [J] . IEEE Trans on SMC, 1977, 7 (10): 707- 717.
[2] 李建武, 皇甫正贤. 城市单路口交通模糊控制系统实现 [J] . 电气传动自动化, 2000, 22 (2): 22- 24.

(上接第 106 页)

车与安全, 2002 (3): 44- 47
[2] 黄席樾, 等. 汽车安全行驶智能辅助操作系统中的道路检测 [J] . 重庆大学学报, 2000, 23 (2): 26- 30.
[3] 黄席樾, 等. 汽车智能辅助操作系统中的障碍物检测 [J] . 重庆大学学报, 2000, 23 (4): 123- 126.
[4] 章毓晋. 图像处理与分析 [M] . 北京: 清华大学出版社, 2000.
[5] Massimo Bertozzi, Alberto Broggi, etc. Obstacle and Lane Detection on

ARGO [J] . IEEE, 1998: 1010- 1015.
[6] 廖传锦, 等. 基于边缘提取和特征跟踪的道路检测算法 [J] . 重庆大学学报 (自然科学版), 2002, 25 (1).
[7] 章毓晋. 图像分割 [M] . 科学出版社, 2001
[8] 苏开娜, 等. 公路汽车视觉导航中运动目标的检测与跟踪方法的研究 [J] . 计算机工程, 2002, 27 (4): 46- 48.
[9] 严超华, 等. 灰度图像的直接 Hough 变换方法 [J] . 南昌航空工业学院学报, 2000, 14 (3): 36- 39.