

单交叉口交通信号自适应控制系统及其拓展^①

罗金玲

(娄底职业技术学院 电子信息工程系, 娄底 417000)

摘要: 由于目前交叉口信号控制主要采用传统的控制方式, 大都不具备智能性, 很难实现对随机变化的交通流进行有效控制. 针对这种不足, 本文从模糊控制和自适应控制方法两个角度出发研究该问题, 并进行仿真分析, 所得结果表明, 自适应控制系统比模糊控制和传统控制方法的控制效果更佳. 最后将单交叉口拓展到多路口的交通信号控制的研究.

关键词: 单交叉口交通信号; 自适应控制; 模糊控制; 多路口

Adaptive Control System of Traffic Signal at the Intersection and its Extension

LUO Jin-Ling

(Loudi Vocational College of Electronic Information Engineering, Loudi 417000)

Abstract: Due to the current intersection signal control is mainly controlled by the traditional way, most do not have intelligence, it's difficult to achieve on the random change of traffic control effectively. In order to solve the problem, this paper from two aspects of the fuzzy control and adaptive control starts to study the problem, and analyzes its simulation, the results show that, the adaptive control system is better than the control effect of fuzzy control and traditional control system. At last, it extends single intersection to the multi-intersection traffic signal control.

Key words: intersection signal; adaptive control; fuzzy control; multi-intersection

引言

由于我国城市化建设速度越来越快、质量越来越高, 群众汽车拥有量越来越大, 导致城市交通情况越来越恶化. 这种状况在一线、二线城市已司空见惯, 而且已波及到三线甚至更小规模城市. 当然政府已采取多样化的解决措施, 然而车辆的增长速度已超过建设速度, 根本无法解决问题. 因此本文更多的从时间因素上考虑该问题, 即利用信号配时的方法解决交通拥堵问题. 而单交叉口作为城市交通网络中的重要组成部分, 是城市交通拥挤的主要发生地, 所以对单交叉口信号控制方法进行研究, 对于改善城市道路交通拥堵状况、提高道路通行能力、减少交通事故具有十分重要的现实意义. 同时本文也将该问题的研究拓展到多路口的情况.

1 现有单交叉口交通信号控制方法简要分析

目前单交叉口交通信号控制方法^[1]很多, 就发展历程和控制原理上划分, 单交叉口交通信号控制可分为定时控制和感应控制, 本文就两者的具体理论和方法做简要阐述.

(1) 定时控制

虽然定时控制简单易于操作, 但它不是需求响应式的, 只要信号定时参数一旦确定, 就不会随着交通流的变化而调整, 因此它不能满足实际交通需求. 有时会发生这样的现象: 亮绿灯的车道没有车辆通行, 而亮红灯的车道却有车辆排队.

(2) 感应控制

感应控制克服了定时控制的不足, 在一定程度上能够适应交通需求的随机变化. 但是在传统的感应控

^① 基金项目: 湖南省教育厅科学研究课题(14C0953); 湖南省科技计划重点项目(2015SK20782)

收稿时间: 2015-11-01; 收到修改稿时间: 2016-04-05 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005441]

制方法中，绿时特别是绿延时仍可能不被充分利用。随着通信与计算机的发展，针对这一情况，各国研究人员逐步研究并总结出了流量-密度感应控制；基于绿时有效利用率的感应控制；基于模糊控制和绿时有效利用率的全感应控制；具有跳相功能的全感应控制；具有相序优化功能的全感应控制；优化感应控制等等。

2 模糊控制

考虑到城市的差异，单交叉路口也存在着差异。本文以最普遍的路口为研究对象，见图 1。众所周知，相位的多少与交通安全系数呈正比，与车辆通行率呈反比^[2]。所以本文采用四相位模式进行研究，见图 2。

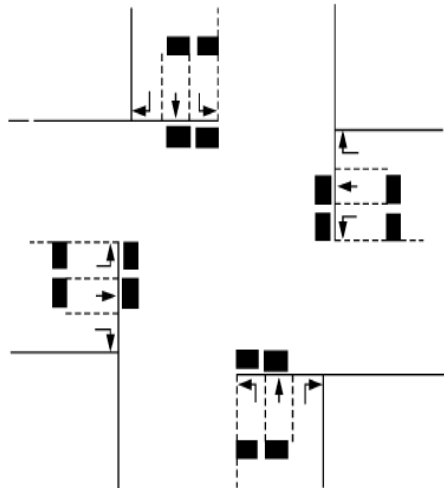


图 1 路口示意图

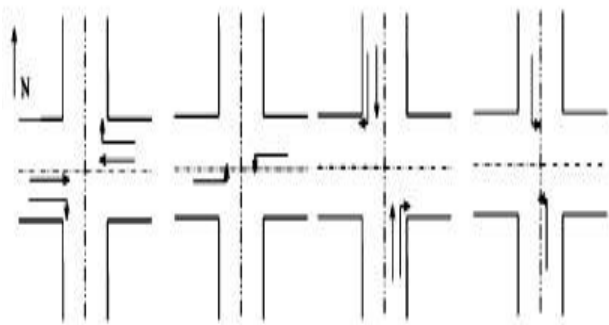


图 2 四相位示意图

本文首先采用模糊控制的方法^[3]，见图 3。系统包括红灯相位选择模块、绿灯相位观察模块和决策模块三个模块。在该系统下，绿灯最短的时间在直行相位和左转相位分别是 30s 和 20s。又考虑到车辆不能等的

时间过长，时间设定为 100s。

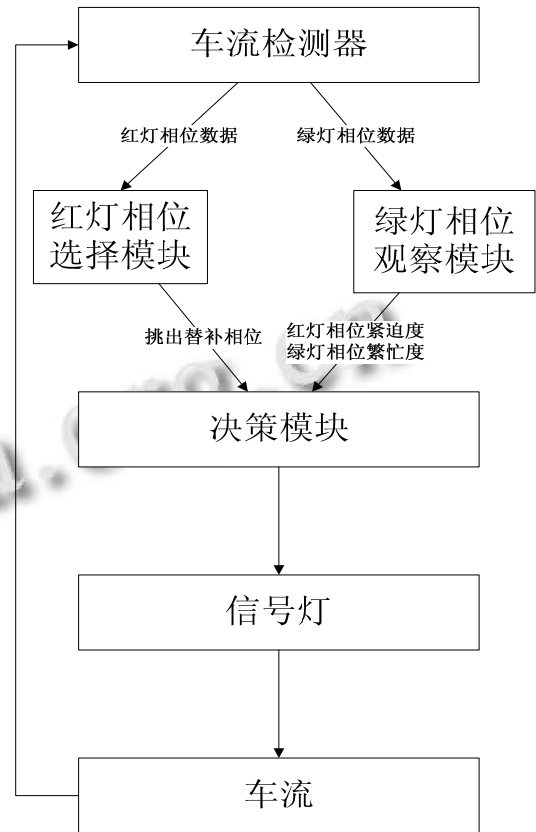


图 3 模糊控制系统

红灯相位选择模块根据车辆检测器收集到的交通流信息对当前绿灯相位的交通状况进行评价，计算出当前绿灯相位的繁忙度，将这个繁忙度传给决策模块作为输入；当决策模块计算出来的绿灯延长时小于某一阈值，说明绿灯相位的紧迫度比当前绿灯相位的繁忙度高，决策模块就切换绿灯相位，否则就按照计算出的延长时当前绿灯相位时间进行延长。对于红灯相位选择模块，本文分析所有输入相位的紧迫度，然后将对应最高紧迫度的相位作为替补相位。由图 2 可知，对于相位 3 包括南、北方向的车流，所以通过模糊推理^[4]计算南、北方向的紧迫度，然后所得到的最大值是相位 3 的紧迫度。令 D_r 表示相位紧迫度， n_r 表示等候车辆的个数， t_r 表示红灯的时长， n_r 的基本论域是 $\{0,1,\dots,20\}$ ，离散域 M_{n_r} 是 $\{0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20\}$ ，那么模糊集合 $O_{n_r} = \{VF, F, G, M, VM\}$ ，也就是 {很少, 少, 一般, 多, 很多}。 t_r 的基本论域是 $(0,100)$ ，离散域 M_{t_r} 是 $\{0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100\}$ ，那么模糊集合

$O_{t_r} = \{VS, S, G, E, VE\}$ ，也就是{很少，少，一般，多，很多}。 D_r 的基本论域是 $(0,9)$ ，离散域 M_{D_r} 是 $\{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$ ，那么模糊集合 $O_{D_r} = \{VL, L, G, H, VH\}$ ，也就是{很低，低，一般，高，很高}。 本文建立如下模糊控制规则，见表 1。 然后建立 D_r 与 n_r 、 t_r 的函数关系，函数图形见图 4。

表 1 模糊控制规则

O_{t_r}	O_{n_r}				
	VF	F	G	M	VM
VS	VL	VL	L	L	G
S	VL	VL	L	G	H
G	VL	L	G	H	VH
E	L	G	H	VH	VH
VE	H	VH	VH	VH	VH

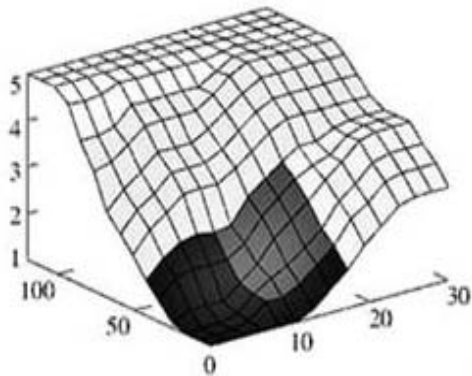


图 4 红灯相位紧迫度函数关系图

对于绿灯相位观察模块，模糊控制的规则是若剩下车辆变少则降低繁忙度；若增加绿灯时长则降低繁忙度。令 D_g 表示繁忙度， n_g 表示剩下车辆的个数， t_g 表示绿灯时长，本文得到 D_g 与 n_g 、 t_g 的函数关系，函数图形见图 5。

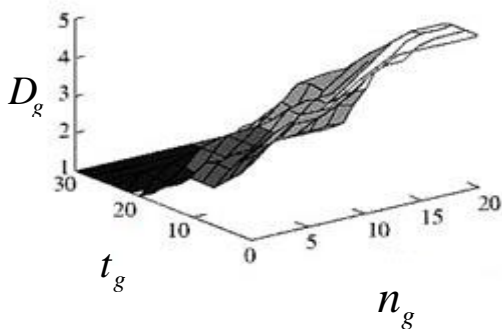


图 5 绿灯相位繁忙度函数关系图

对于决策模块，模糊控制的规则是当绿灯相位的繁忙度比较低或者替补相位的紧迫度比较高时，替补相位的车辆通行。令 D_m 表示决策，则可得到它与 D_r 、 D_e 函数关系，函数图形见图 6。

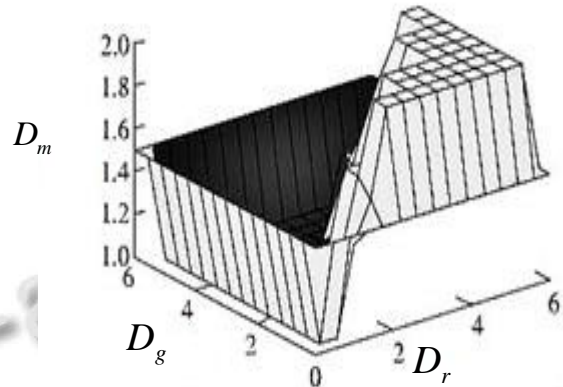


图 6 决策函数关系图

3 自适应控制

自适应控制系统包括车流量感知系统、信号控制规则集和判定器，见图 7。

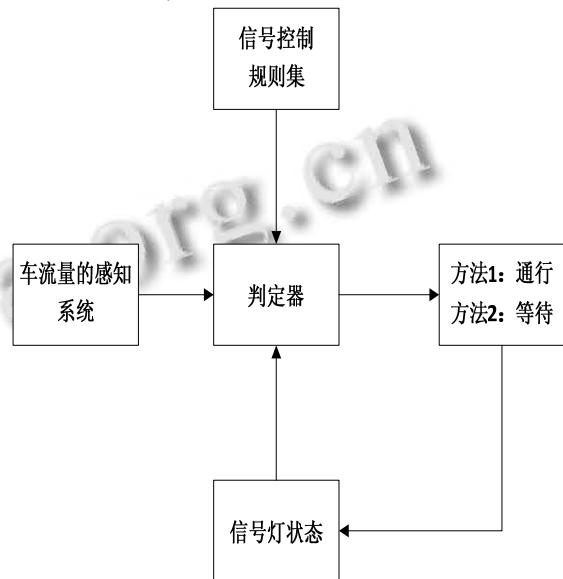


图 7 自适应控制系统

控制系统的基本思路为:首先计算车辆增多的个数 x ，车辆增多的倍数 y ；然后利用二维正态云发生器计算方法^[5]得到正态云图；然后利用前件云发生器计算方法^[6]，赋予特定值 a 即可算出确定度；然后再赋予 0 与 1 区间里的均匀分布随机数，对比它与 (x, y)

的确定度数值的大小, 最终判定出对应的解决方法. (x, y) 和它的确定度的分布图见图 8. 整个控制过程的流程图, 见图 9.

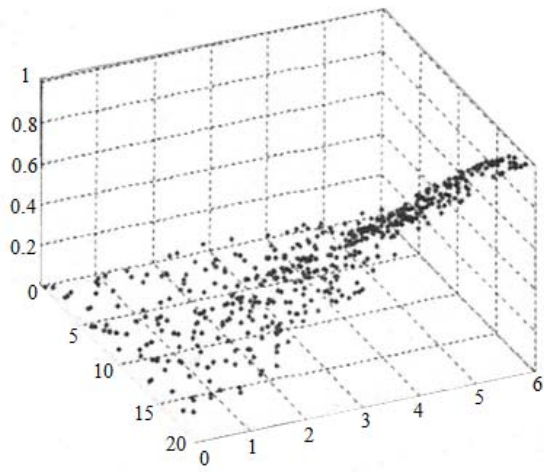


图 8 分布图

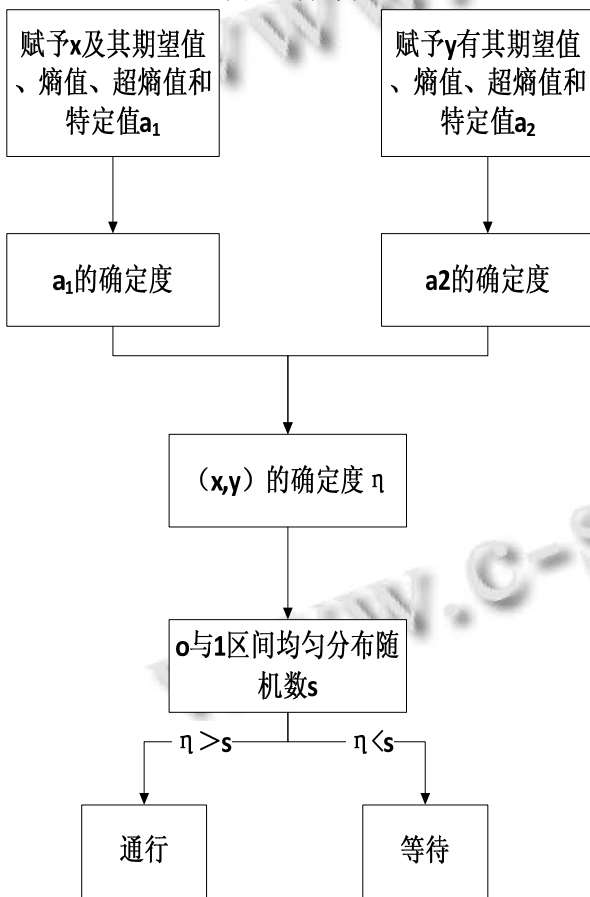


图 9 控制系统流程图

因此, 当确定度的数值越大时车流量增大, 应继续通行; 当确定度数值越小时车流量减少, 应转换为红灯等待.

4 仿真实验

最后本文将模糊控制方法^[7]、自适应控制方法^[8]与传统控制方法进行对比分析. 本文将同一个单交叉路口作为仿真目标, 选取仿真时间为 90 分钟, 将车辆的延误时间为评判标准, 结果见图 10.

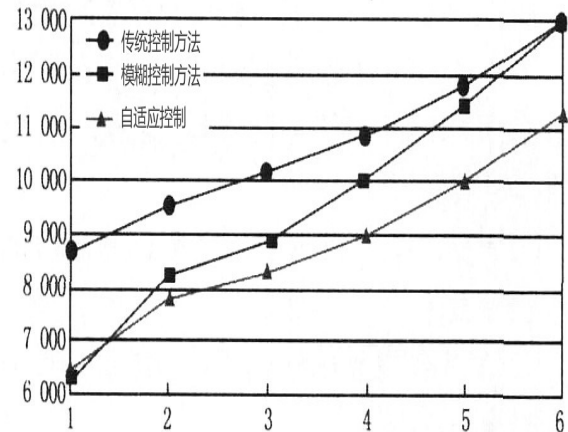


图 10 对比分析图

由此可见自适应控制系统的控制效果较好, 降低了车辆的延误时间, 较大程度地保持车辆顺畅通行.

5 拓展研究

在以上结论的启发下, 本文将单交叉路口推广到多交叉路口^[9]的情形. 基本思路是: 对于某一个相位, 首先设定绿灯的最短时间, 如果该时间即将用完, 通过决策模块决定信号灯的转换, 是延续到绿灯的最长时间还是转换成红灯. 评估模块通过决策模块的数据和实际情形提供建议和完善. 见图 11.

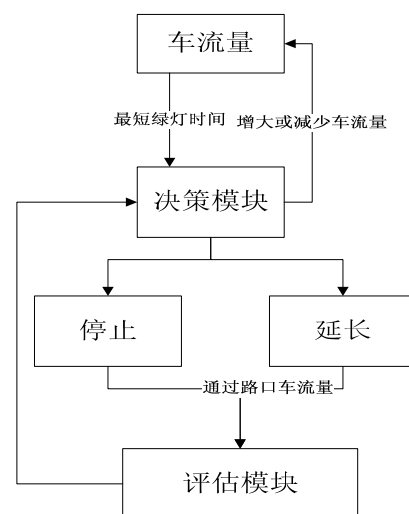


图 11 思路图

对于决策模块, 令 $x(t)$ 表示路口等待的车流量, $u(t)$ 表示通过路口的车流量. 为了尽可能降低本系统的性能指标 $\hat{J}(t)$ 与控制目标 $U_c(t)$ 的误差, 本文采取如下做法

$$\|E_a\| = \sum_i E_a(t) = \frac{1}{2} \sum_i [\hat{J}(t) - U_c(t)]^2$$

$$w_a(t+1) = w_a(t) - l_a(t) \frac{\partial E_a(t)}{\partial w_a(t)}$$

对于控制目标而言, 我们要求车辆的延误时间最小. 因此我们对 $u(t)$ 做如下改善, 当 $u(t) < \frac{1}{2}$ 时, $u'(t) = 0$ 表示停止通行; 反之, $u'(t) = 1$ 表示延长绿灯通行时间, 继续通行.

对于评估模块, 本文利用瞬时效用函数^[10]来完成系统的完善和提供最佳的建议.

$$r_0(t) = \alpha_0 rl_0(t) + \sum_{i=1}^m \alpha_i rl_i(t), \quad \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$$

其中 $rl_0(t)$ 表示多路口的控制性能评估函数, $rl_i(t)$ 表示第 i 个交叉路口的控制性能评估函数, α_0 表示瞬时效用函数的影响因子, $\alpha_i, i = 1, \dots, m$ 表示控制性能评估函数的影响因子.

当每个 $rl_i(t)$ 的数值越小时, 表明第 i 个交叉路口车流量控制的越理想, 车辆的延误时间越短. 所以 $r_0(t)$ 表明该多路口的总体控制程度越理想.

为了 $\hat{J}(t)$ 能够最佳逼近 $J(t)$, 降低与性能指标函数值 $J(t)$ 的误差, 本文采取如下做法

$$\|E_c\| = \sum_i E_c(t) = \frac{1}{2} \sum_i [\hat{J}(t) - r(t) - \gamma \hat{J}(t+1)]^2$$

$$w_c(t+1) = w_c(t) - l_c(t) \frac{\partial E_c(t)}{\partial w_c(t)}$$

为了验证该方法的可行性, 本文进行必要的仿真分析, 下面以四交叉路口^[11]为例.

假设绿灯的最短时间为 30s, 最长时间为 100s, 每个路口车流量为 50. 选择两种不同交通路况, $\alpha_1 = \frac{1}{2}(1 - \alpha_0), \alpha_2 = \frac{1}{3}(1 - \alpha_0)$. 结果见图 12.

6 结论

对于单交叉路口的控制系统, 本文从模糊控制方法和自适应控制方法两个角度研究该问题, 随后给出

仿真分析, 所得结果表明自适应控制系统比模糊控制和传统控制方法的控制效果较佳. 最后受到以上结论启发将单交叉路口情形推广到多路口情形, 并得到良好的结果.

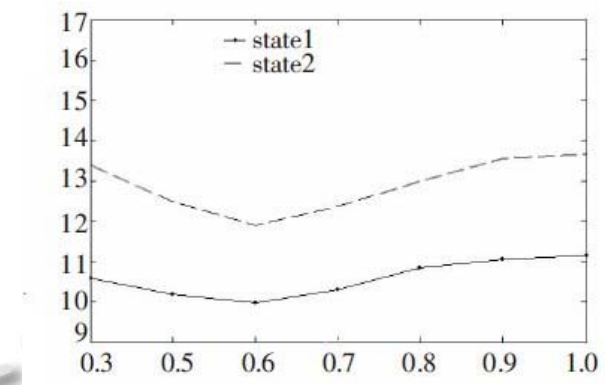


图 12 结果图

参考文献

- 刘祥鹏, 隋树林. 单交叉路口交通信号控制方法现状及其展望. 科技信息, 2012, 32: 124-125.
- 刘罗仁. 基于云模型的单路口交通信号自适应控制方法研究. 计算机测量与控制, 2011, 19: 2157-2159.
- 杨文臣, 张轮, 何兆成. 城市单路口交通信号两级模糊优化控制与仿真. 中山大学学报, 2012, 6(11): 128-132.
- 赵建玉, 郭仲林, 郑显臣. 基于模糊逻辑的单交叉路口交通信号控制方法设计及实现. 交通信息与安全, 2013, 31(5): 131-135.
- Chen H, Rakha H. Data-driven particle filter for travel time prediction. Proc. of the 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, 2013.
- Platho MH, GroB M, Eggert J. Traffic situation assessment by recognizing interrelated road users. Proc. of the 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Anchorage, 2012. 1339-1344.
- 周宇林. 基于两级模糊控制的单交叉路口信号配时研究. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2015, 35(3): 258-262.
- 温凯歌, 曲仕茹, 张玉梅. 城市单交叉路口信号多相位自适应控制模型. 系统仿真学报, 2012, 21(10): 3066-3070. doi:10.4271/2012-01-0280.
- 何兆成, 杨文臣, 梁诗. 城市单交叉路口交通信号实时优化控制与仿真. 计算机工程与应用, 2013, 46(33): 239-243.
- 夏朋亮. 基于城市公路干线交叉口的信号控制算法研究与仿[学位论文]. 西安: 西南交通大学, 2013.
- 邵维. 基于 TD 方法的单交叉路口信号配时优化研究[学位论文]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.