



# 本科毕业设计(论文)

题目：城市道路交通信号模糊控制的研究

院（系）：电子信息工程学院

专    业：电气工程及其自动化

班    级：120424

学    生：成锐林

学    号：120424102

指导教师：孙钊，贺为婷

2016 年 6 月

# 城市道路交通信号模糊控制的研究

## 摘 要

模糊控制是一种无模型的智能控制方法，它靠结合人的思维和经验进行交通控制来满足实时性的要求，是一种大有前途的城市交通控制方式。自从 1977 年希腊学者 C. P. Mamdani 提出单交叉路口交通信号灯模糊控制方法以来，模糊控制技术在交通方面的研究逐步得到认可，但该方面的研究大多集中在单交叉路口的两相位模糊控制方面。

基于上述考虑，本文提出了一种交叉路网交通灯的可变相位的模糊控制方法。该方法根据通行权转移度来确定通行相位及通行时间。仿真结果表明，该算法具有良好的控制效果。

1. 方法是建立在相位顺序可变的基础上，即由当前交通情况决定相位的轮换次序，同时控制绿灯时延的长短，将有利于提高交叉路口的通行效率。改善模糊控制性能的最有效的方法是优化模糊控制规则，通常，模糊控制规则是通过将人的操作经验转化为模糊语言形式获得，带有相当的主观性，可运用遗传算法优化规则。

2. 模糊控制方法，控制规则少，控制效果有一定的提高，是一种城市单交叉路口交通信号灯模糊控制的有效方法，分析和计算机仿真表明，它优于感应式控制方法。

**关键词：**交通量, 信号灯, 模糊控制, 仿真, 交叉口。

# **Fuzzy control of urban road traffic signal**

## **Abstract**

Fuzzy control is an intelligent model-free method of controlling it by binding to human thinking and experience traffic control to meet real-time requirements, is a promising urban traffic control. Since 1977, the Greek scholar C.P.Mamdani proposed single intersection traffic signal fuzzy control method since Fuzzy technology in traffic control gradually recognized, but research in this field are mostly concentrated in the intersection of the two single-phase Fuzzy Control.

Based on these considerations, we propose a fuzzy variable phase control method cross the road network of traffic lights. The method to determine the degree of transfer of right of way access phase and transit time. The simulation results show that the algorithm has good control effect.

1. The method is based on the phase sequence variable, based on the current traffic situation that is determined by the phase of the order of rotation, while controlling the length of the green light delay, it will help to improve the efficiency of traffic intersection. The most effective way to improve performance is to optimize the fuzzy control fuzzy control rules, in general, fuzzy control rules by the human experience into fuzzy linguistic form obtained with quite subjective, can use the genetic algorithm optimization rules.
2. fuzzy control method, less control rules to control the effect some improvement, is an effective method of urban single intersection traffic signal fuzzy control, analysis and computer simulations show that it is superior induction control method.

**Key Word:** traffic,lights,fuzzy control,simulation,intersection.

# 目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
1 绪论.....	1
1.1 研究的背景.....	1
1.2 国内外的研究状况.....	2
1.3 研究的意义.....	3
2 交通信号控制基本理论.....	4
2.1 交通信号及通行行为控制.....	4
2.2 交通流基本理论.....	5
2.2.1 交通流的基本参数与关系.....	5
2.2.2 简单城市道路交通流模型.....	5
2.2.3 交通流的分布规律.....	5
2.3 交通信号控制参数和方式.....	6
2.3.1 交通信号控制的基本参数.....	6
2.3.2 交通信号的控制方式.....	6
2.4 交通信号相位控制.....	7
2.4.1 四相位交叉口模型描述.....	7
2.4.2 交叉口车辆平均延误计算模型.....	8
2.5 交通信号控制的性能评价指标.....	9
3 交通信号模糊控制.....	11
3.1 模糊控制基本原理.....	11
3.2 模糊集合及其隶属函数.....	12
3.3 城市交叉口及现行控制方法分析.....	12

3.4 交通信号模糊控制器设计.....	12
3.4.1 交叉口相位及感应器设置.....	12
3.4.2 模糊控制系统设计.....	13
3.4.3 交通信号灯仿真流程描述.....	20
4 交通信号模糊控制的仿真实现.....	21
4.1 随机车流发生模型.....	21
4.2 交通信号控制模型.....	22
4.3 车辆延误计算模型.....	25
5 结论.....	26
参考文献.....	27
致谢.....	28
毕业设计（论文）知识产权声明.....	29
毕业设计（论文）独创性声明.....	30
附录1 仿真原理图.....	31
附录2 源程序清单.....	32
附录3 外文原文及翻译.....	37

# 1 绪论

## 1.1 研究的背景

交通是由人类社会生产活动和生活活动而产生的,人类的社会行为与交通息息相关。汽车的出现和汽车工业的发展,使整个交通运输格局发生了巨大变化,极大的推动了人类社会的进展。

然而,现代交通工具也是一把“双刃剑”,它在提高人们生活水平的同时,也带来了各种各样的城市交通问题。随着经济的发展,汽车保有量急剧增加,交通所带来的负面效应已成为全球共同面临的问题。

在国外,特别是西方国家,由于经济发展起步较早,20世纪60年代时交通问题就已经非常突出,纽约、巴黎、伦敦等城市的中心街道上,平均车速每小时只有十多公里。美国德州运输研究所对美国39个主要城市的研究,估计美国每年因交通阻塞造成的经济损失约为410亿美元,12个最大城市每年的损失超过10亿美元;日本东京每年因交通事故、交通拥挤和环境污染造成的经济损失分别达到500亿欧元、5000亿欧元和50~500亿欧元<sup>[1-2]</sup>。

在我国,从80年代中期开始,随着我国国民经济的持续高速发展、城市化进程的加快以及机动化水平的提高,导致交通供需矛盾日益尖锐,城市交通状况日渐恶化,出行难已成为困扰人们生活的首要问题。随着轿车大量进入家庭,交通供需更加不平衡,交通拥挤更加严重,尤其是在一些大中城市,交通拥挤以及由此形成的社会公害,已成为我国城市面临的及其严重的“城市病”之一,严重时甚至导致城市整体或局部功能瘫痪。城市交通问题在一定程度上已成为制约城市经济、社会可持续性发展的瓶颈。

交通拥挤不仅带来了交通系统的服务水平下降,交通延误增加,行车速度降低,出行时间大幅度增加等直接危害,还导致交通事故频繁,能源浪费严重,汽车尾气排放量增大,环境恶化等诸多问题。而交通事故的发生往往又使交通阻塞加剧,形成恶性循环。因此,城市道路交通已成为备受关注的社会问题。

由于城市交通系统具有随机性,不确定性及相当的复杂性,传统的交通信号定时控制方案已难以满足当今社会大流量的复杂的交通状况。因此,专家们提出了采用模糊控制方法实现交通信号的控制。模糊控制不需要建立被控对象的精确数学模型,特别适用于随机的,复杂的城市交通控制。模糊控制模仿交通警察的实际指挥经验,根据交通流量的实际情况执行交通的智能控制,保证了最优的交叉路口利用率,缩短了车辆的平均延误时间。基于模糊控制的交叉路口信号控制系统的研究,对解决交叉路口车辆堵塞具有重要的现实意义,因此文本主题为城市道路交通信号模糊控制的研究。

## 1.2 国内外的研究状况

作为工业革命的发源地的英国首先意识到交叉口在城市交通中的枢纽地位以及交通信号对交叉口通行能力的作用,1868年,英国的 J.P.Knight 发明了一种红绿两色壁板式燃气信号灯,并将其运用于伦敦的 Westminster 街口,这次创举标志着交通信号灯的问世。美国人在 1918 年发明了一种手动控制的三色信号灯,并安装在纽约街头使用,这就是现代交通信号的雏形<sup>[3]</sup>。汽车行业的迅猛发展,传统的手动控制信号灯已难以满足交叉口的通行需求。人们开始通过其他工程领域的技术方法改进交通信号的控制问题。英国人于 1926 年设计了一种机械式交通信号灯,并安装在 Wolverhampton 街口使用<sup>[4]</sup>,该信号灯结构简单,通过对红绿灯单时段定周期的切换实现车辆通行控制。这种机械式红绿灯在历史上首次实现了对交通信号的自动控制,标志着城市交通控制系统的诞生。

近几年,欧盟、美国和日本开展的大型 ITS 研发计划反映了车路一体化的发展趋势。美国交通部 2009 年启动了 IntelliDrive 计划,研究内容主要覆盖了车载通讯及其安全应用等方面,为美国实施下一代 ITS 的重要战略目标打下基础。日本政府目前正在着手研发 SMARTWAY 智能交通系统,计划用 5 年的时间在重要道路上覆盖路况认知传感器、构建智能汽车系统、智能道路系统、车路间协调系统,实现交通信息的实时发布<sup>[5]</sup>。

相对于我国城市快速增长的交通需求,我国交通基础设施发展较为缓慢。因此,如何在现有的交通设施的条件下,采用合理的交通控制手段,保证交通的畅通运行是我国交通信号控制领域的研究目标。二十世纪八十年代,我国引入了交叉口信号控制系统的概念。该领域早起的研究方向定位于实时控制,通过建立精确的数学模型反应交叉口的交通状况,并根据模型确定信号配时方案以及绿信比等信号控制参数<sup>[6]</sup>。

随着城市交通的发展,定时控制的方式缺陷逐渐暴露。由于信号相位、配时方案等参数既定,不能跟随交通量的变化,导致交叉口常存在绿灯方向无车辆通行,而红灯方向等待车辆较多的情况,降低了通行率。目前,我国交通研究者侧重于感应式信号控制方式,并结合智能算法,自适应调节交叉口信号,以期合理分配交叉口交通流,减小延误率。

模糊逻辑算法在交通信号控制系统中应用较为广泛。1992 年,徐冬玲设计了一种由神经网络算法优化的牧户控制器控制单路口信号灯的变化。该方法中,给定了绿灯最短时间,并且通过检测器检测绿灯方向的等待车辆,模糊控制器根据等待车辆调节绿灯的延长时间并决定是否切换相位。相对于其他交通控制方法而言,该方法具有更快的控制时间,使得路口每秒通行车辆得到明显改善。

近年来,算法在信号控制系统中也得到了广泛应用。张宗华等人采用了遗传算法优化控制交通网络信号。该方法根据美国联邦高级公路管理局的交通模拟管理软件设置信号时间,采用遗传算法模拟交通网络,获得延时时间,并以此作为对应染色体的适应度评价值。其中,公路网络的一个交通信号对应遗传算法中的

一个染色体。采用该方法对三个路口的信号灯进行仿真实验，仿真结果证实了其能有效地联动控制路口信号灯的变化<sup>[7]</sup>。

马莹莹等结合道路交通控制的多目标性，建立交通信号周期时长多目标优化模型，采用多目标连续蚁群算法求解模型，实现交叉口信号优化控制。该模型综合考虑了交叉口的各种交通需求，弥补了传统交叉口交通指标的单一性所产生的信号控制方法的缺陷<sup>[8]</sup>。

吴明晖等针对单交叉口交通状况，提出了一种多种智能控制方法结合的交叉口信号控制模型。该模型采用三层 BP 神经网络预测口车辆到达率，以交通流饱和度理论为基础利用模糊控制器调整交叉口绿灯信号时间<sup>[9]</sup>。

### 1.3 研究的意义

智能交通系统（ITS, intelligent transport system）是指人们将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子控制技术、传感器技术以及计算机处理技术等有效地综合运用于整个运输体系中，从而建立起的一种在大范围内、全方位发挥作用的实时、准确、高效的运输综合管理系统<sup>[10-12]</sup>。

当前我国大多数城市的平均行车速度已降至 20km/h 以下，同时，由于车辆速度过慢、尾气排放增加，使得城市的空气质量进一步恶化。为了缓解经济发展给交通带来的压力，使现有的资源发挥出最大作用，我国政府加大了智能交通系统的研究和建设力度。采用智能交通系统的交叉口具有两大优点：

首先，有效提高了交通运输效益，使得交通拥挤降低 20%，延误损失减少 10%~25%，车祸降低 50%~80%，油料消耗减少 30%；

其次，对解决道路交通拥堵、减少财产损失、减少环境污染，增强交通安全性，合理利用土地与能源<sup>[13-15]</sup>。

交叉路口城市机动车辆的不断增加，使得车辆堵塞现象越来越严重，当前大部分城市仍然采用的定时控制十字路口交通灯的控制方法。交通控制就是确定交叉路口红绿的信号时，使通过交叉的车辆延误尽可能小。传统的控制一般是采用模型控制或预先认为地设定多套方案，由于道路上的车流量具有较大的随机性，所实施的相位控制也应随车流量的不同而相应变化，但是交通警察在实际的交通指挥中可以根据实际情况来控制交通，如果东西方向的车流量大，则其放行时间长；南北方向车流量小，则其放行时间短。

模糊控制理论在交通系统中的应用模仿了交警的控制经验实现智能控制，可以使车辆等待延误时间最小，因此基于模糊控制理论的交叉路口信号灯控制系统的研究对解决交叉路口车辆堵塞具有重要意义。



## 2 交通信号控制基本理论

交通信号是在空间上无法实现车辆分离的地方，在时间上对交通流分配通行权的一种交通指挥措施。灯光信号通过交通信号灯的红色来指挥交通。目前世界各国信号灯的含义基本上进行了统一规定。我国规定如下：

- (1) 红灯：表示禁止该灯面对方向的车辆和行人通行；
- (2) 绿灯：表示允许该灯所面对方向的车辆和行人通行，而转弯的车辆在不妨碍直行车辆以及已经进入人行通道的行人可以继续通行；
- (3) 黄灯：表示不允许该灯所对方向的车辆和行人同通行。但是，已经越过停止线的车辆以及已经进入人行通道的行人可以继续通行；
- (4) 绿色箭头：表示该灯对应方向的车辆可以按照箭头所指方向通行。

在道路右边没有人行横道和直行车辆的情况下，右转车辆在遇到黄灯或红灯时，可以在不妨碍放行车辆和行人通行的条件下通行。

### 2.1 交通信号及通行行为控制

交叉路口通行行为控制是道路的交通控制的重点。使用交通信号灯对交叉路口处人和车辆的通行行为控制是道路交通系统中最具代表性的控制方法。这种控制方法借助自动化设备来控制交通信号灯等色的变换，针对人发出通行停止的行为控制命令，实现对交叉路口人和车辆通行行为的实时控制。交通信号灯是指用于指示车辆、行人通行或停止的专用指示灯具，它安置在道路交叉路口等车辆行人通行冲突的场合，实现控制系统主导的对通行行为的控制。信号灯在信号控制机的控制下可以独立运行变换颜色。交通信号灯对通行行为的控制权力由相关法律赋予，并由相关技术标准来规范，是一种建立在交通制度控制，要素控制和行为约束基础上的控制方法。

交叉路口机动车按交通规则直行、右转、左转自由通行交叉路口，不同车辆通行行驶轨迹在交叉点区域形成了多个冲突点，这些冲突点分为交叉点和合流点。如图 2.1 所示。

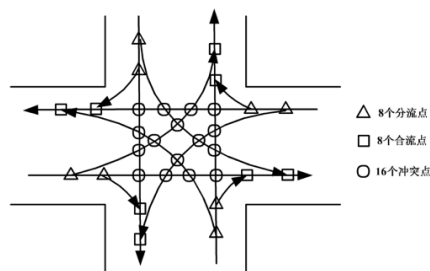


图 2.1 交叉路口冲突示意图

## 2.2 交通流基本理论

交通流理论是分析研究道路上行人和机动车辆（主要是汽车）在个别或成列行动中的规律，探讨车流流量、流速和密度之间的关系，以求减少交通时间的延误、事故的发生和提高道路交通设施使用效率的理论。始于 50 年代。是交通工程理论的基础和其新发展的领域之一。

### 2.2.1 交通流的基本参数与关系

交通流是指各个进道口的车辆，主要参数有交通量  $q$ ，车流密度  $k$ ，行驶速度  $v$ 。

交通量  $q$  是指在一段时间内通过某进道口断面的车辆数，单位是“辆/车道”。车流密度  $k$  是指一段时间内某车道的平均车辆数，单位是“辆/千米/车道”。行驶速度  $v$  指的是一段时间内某车道车辆行驶速度的平均值，单位是“km/h”。他们的关系是

$$q = k \cdot v$$

### 2.2.2 简单城市道路交通流模型

城市道路的特点是存在大量的平面交叉口，不同方向车流的冲突也在发生。在研究城市道路交通重点应该集中在交叉路口的交通特性上。如图 2.2 为单交叉路口的道路交通流模型。

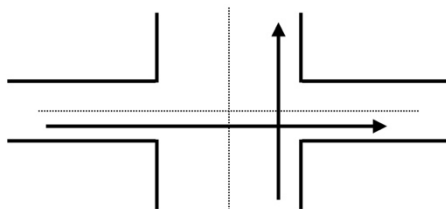


图 2.2 单交叉路口的道路交通流模型

### 2.2.3 交通流的分布规律

交通流在一定的观测周期内到达的车辆数服从泊松分布、二项分布、负二项分布等离散型分布规律。

(1) 泊松分布：车辆（或人）的到达时随机的，相互之间影响不大，也不受外界干扰，这种情况发生在交通流密度不大的时候。

(2) 二项分布：车辆比较拥挤、自由行使机会不多的车流。

(3) 负二项分布：到达量波动很大的车流。

## 2.3 交通信号控制参数和方式

### 2.3.1 交通流控制的基本参数

交通信号控制主要有相位、周期、绿信比三个参数。交通控制系统的控制目标就是通过确定控制参数来达到调控道路流量的目的。

#### (1) 相位

同一时刻，某段道路的使用权只能被一辆车独享，否则就出交通事故。在交叉路口更是如此。为了避免冲突需要在时间和空间上划分车流，空间有例如高架桥，而时间则是分时通行。某段时间交叉口的某一支车流或者多支车流有通行权，这一时间段成为信号相位，简称就是相位。相位时间包括绿灯时间和黄灯时间。

#### (2) 周期

周期是各个信号灯全部显示一遍的时间和。周期是决定点控制定时信号交通效益的关键控制参数。周期时间不能太短，否则不能保证各个方向的车流通行。周期时间也不能够太长，会导致司机错误的判断，导致不可预料的危险。理想情况是每个相位绿灯时间恰好该入口等待车辆全部放行完毕。

#### (3) 绿信比

绿信比是一个信号相位的有效绿灯时长与该相位所属周期时长的比值。设某相位有效绿灯时长为 $T_{gi}$ ，该相位所属周期时长为 $C$ ，则绿信比 $\lambda$ 为：

$$\lambda = \frac{T_{gi}}{C}$$

显然  $0 < \lambda < 1$ ，绿信比对疏通交通流十分重要。合理的绿信比可以使各个方向车流停车次数和等待延误时间减至最小。

### 2.3.2 交通信号的控制方式

依据不同的角度，有以下几种控制方式：

①从控制策略来看分为：定时控制、半感应控制、全感应控制。半感应控制与全感应控制的区别在于半感应控制只在部分进道口设置感应器，全感应控制则在全部进道口设置感应器。

②从控制范围来看分为：单个交叉口的交通控制（点控制）、干道交叉口信号联动控制（线控）、区域交通信号控制（面控）。单交叉口信号控制（点控制）是指每个交叉口的交通控制信号只按照该交叉口的交通情况独立运行，不与其邻近交叉口的控制信号有任何联系的，称为单个交叉口交通控制，即“点控制”。这是交叉口交通信号控制的最基本形式。

③从控制方式来看分为：方案选择和方案生成。方案选择是在控制系统中储存多种控制方案，根据路况选择相应的方案。方案生成则是根据路况生成适当的控制参数，灵活控制。

本文所示项目为单交叉口的全感应控制，采用方案生成的控制方式。

## 2.4 交通信号相位控制

信号灯给出指令，用来控制交通行为主体的通行停止、交通行为。对于信号灯来说，需要按事先设计好的控制程序，在每个方向上通过红、绿、黄色循环点亮显示，指挥车辆通行或静止，实现在时间上隔离冲突的交通流。交通规则规定：红灯—停止通行，绿灯—放行，黄灯—警告正在通行的车辆、尽快通行。

在一个信号变化周期内，把每一种可能通过的控制（即对各进口通道不同方向所显示的不同信号灯颜色的组合）成为一个信号相位。信号相位方案即信号灯轮流给某些方向的车辆或行人分配通行权的一种顺序安排。一般信号灯控制多采用两个相位，即二项制：东西向通行，显绿灯，而南北向禁止，显红灯，这是第一相位；东西向禁止，显红灯，南北向通行，显绿灯，这是第二相位。显然二相位的信号灯控制消除了一些通行冲突点，但没有完全消除通行的冲突。信号灯的通行控制与冲突消除了通行的直角冲突，但没有消除“左-直”之间的通行冲突。显然，当左转交通量比较大时，左转车辆与直行车辆的冲突可能性加剧。此时可以设置专用信号灯相位，采用三相位信号灯控制方案。实际上一个相位实际上代表一次通行权分配，相位越多，通行权分配就越细，冲突点就越少。通过增加信号灯相位数量，可以有效减少和完全消除通行行为的冲突。

### 2.4.1 四相位交叉口模型描述

如图 2.3 所示，这是一个典型的四相位交叉口交通流模型，该交叉口有四个进口道，每个进口道有三支车流（左转，直行和右转），除了比较特殊的情况，右转车辆可以不受信号灯的约束通过交叉路口。实施多相位控制可以消除直行车辆和左转车辆的冲突，提高行车的安全性。相位越少延迟时间越短，通行效率提高，但危险性增加；相反，相位越多，对于车辆来说会更安全，但通行效率降低。

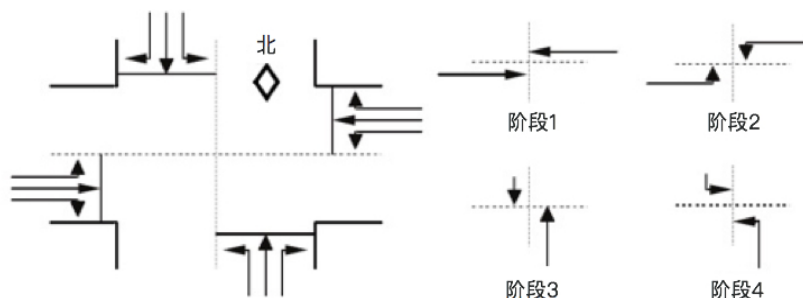


图 2.3 四相位交叉口交通流模型

为了实现交通的实时控制，需要在每个车道上安装两个感应线圈检测器来获得实时的交通流信息。第一个检测器放在停车线的位置，第二个检测器安装在距离第一个检测器 100 米的位置，交叉口车辆检测器的安装如图 2.4 所示设

置。一般一辆车占据的距离为 5 米（包括车长和两车间距），则检测器可以检测的车辆可达 20 辆/车道，能够满足实际交叉口排队长度的要求。为了方便对比，一般交通信号感应控制检测器安装如下图 2.5 所示设置。

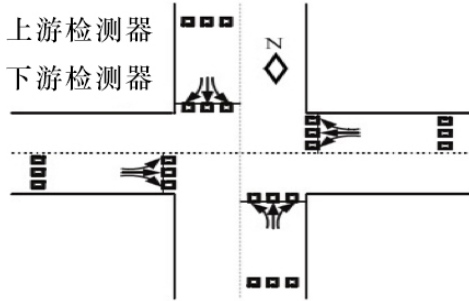


图 2.4 模糊控制方法的检测器设置

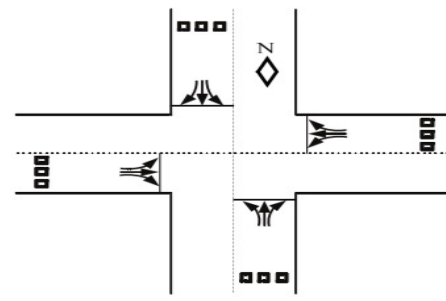


图 2.5 感应控制方法的检测器设置

#### 2.4.2 交叉口车辆平均延误计算模型

交通信号的控制是为了减小车辆通过交叉口的延误，车辆的平均延误也在一定程度上反映了交叉口的通行能力，这里以车辆的平均延误作为交叉口信号控制的性能评价指标，平均延误小代表控制性能好。

到达交叉口各个方向车辆是随机的，非拥挤交通流的车辆数服从泊松分布，拥挤交通流车辆数服从二项分布。在每个相位中，信号周期有“有效红灯”、“有效绿灯”和“黄灯”。假设当在红灯变为绿灯后排队的车辆以饱和流率驾驶离开交叉口，车辆的延误计算模型为：

$$q_m = \begin{cases} 1, & \text{如果在第 } m \text{ 秒内有 } 1 \text{ 辆车到达} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

令  $Q_{mr}$  为红灯相位第  $m$  秒的排队车辆数，则

$$Q_{mr} = \sum_{i=1}^k \left( Q_{ig} + \sum_{j=1}^m q_{ij} \right)$$

式中： $Q_{ig}$  为当前红灯相位中第  $i$  支车流在前绿灯信号结束时滞留的车辆数； $q_{ij}$  为当前红灯相位第  $i$  支车流在红灯信号第  $j$  秒内到达的车辆数； $k$  为红灯相位车流数，对于四相位交叉口，不考虑右转车流，则  $k=6$ 。

若  $n$  为当前红灯相位本周期的红灯时间（秒），则红灯相位的车辆总延误  $D_r$  为：

$$D_r = \sum_{m=1}^n \left[ \sum_{i=1}^k (Q_{ig} + \sum_{j=1}^m q_{ij}) \right]$$

设 $q_i$ 为饱和流量，则当前绿灯相位在绿灯信号第 $m$ 秒时，还未通过交叉口车辆数为：

$$Q_{mg} = \sum_{i=1}^k (Q_{ir} + \sum_{j=1}^m q_{ij} - q_s m)$$

式中： $Q_{ir}$ 为当前绿灯相位第 $i$ 支车流在前红灯时间等待的车辆数； $q_{ij}$ 为当前绿灯相位第 $i$ 支车流在本周期绿灯信号第 $j$ 秒内到达的车辆数； $k$ 为绿灯相位车流数，对于四相位交叉口，不考虑右转车流， $k=2$ 。

$$z_i = \begin{cases} 1, & Q_{ir} + \sum_{j=1}^m q_{ij} - q_s m > 0 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

绿灯相位车辆总延误 $D_g$ 为

$$D_g = \sum_{m=1}^g \left[ \sum_{i=1}^k z_i (Q_{ir} + \sum_{j=1}^m q_{ij} - q_s m) \right]$$

式中： $g$ 为该周期内绿灯时间（秒）。第 $x$ 个周期的总延误为：

$$D_x = D_r + D_g$$

$y$ 个周期的车辆平均延误为：

$$d = \frac{\sum_{x=1}^y D_x}{A}$$

式中： $A$ 为 $y$ 个周期交叉口所有方向到达的车辆数。

## 2.5 交通信号控制的性能评价指标

评价交通控制的效益主要有以下几个指标：通行能力、车辆平均延误、饱和度和、车辆排队长度、停车次数或停车率、油耗、行程时间等。本系统选择延误时间、通行能力、平均排队长度这三个评价指标。

### ① 延误时间

延误时间是指车辆在交叉口行程等效为直线行程时通过所需要的时间和当前通过所需时间的差值。延误时间分为平均延误和总延误。总延误是一定时间（通常一个周期）通过交叉口所有车辆延误时间的总和，平均延误是指每辆车的平均延误时间。延误时间是衡量路口通行效果重要参数之一，也是交通参与人员，尤其是驾驶员最为关心的参数指标。

### ② 通行能力

通行能力指的是交叉口在交通控制系统的调控下一段时间能通过的最大车辆数。该参数影响条件较多，除了交通控制系统外，还与道路状况（如道路宽度，转弯长度等），行人干扰和车辆种类相关。本设计不考虑除了控制系统以外的干扰因素。

### ③ 平均排队长度

平均排队长度是指一个周期内各车道最大排队长度的平均值。各车道最大排队长度一般是在该车道绿灯开始时的车辆排队长度。该参数以周期计算，与此周期平均车辆延误基本一致。设车道数为  $n$ ，则平均排队长度  $L_{ave}$  为

$$L_{ave} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{n}$$

### ④ 停车次数

停车次数是指在一个信号周期时长内车辆停车次数的总和。停车率就是在一个信号周期时长内停车的车辆数占通过交叉路口即停车线车辆总数的比率。

### ⑤ 旅行时间

旅行时间是指通过某个区间所需的总时间，包括停车等引起的延误时间，但不包括车道以外的延误时间和在车道上的停车时间。根据旅行时间指标，可判定被测路线上的瓶颈地点和信号的系统时间排列是否合适。旅行时间的测量方法有实验车行走法、车牌号识别等。

### ⑥ 拥挤时间

拥挤长度是滞留在作为瓶颈口的交叉口（或某个地点）进口道车队长度。通常根据每 5min 的车辆检测器的数据来推算。统计时间是某个时间范围内拥挤长度的时间积分，采用如下公式计算：

$$L_T = \sum l_t \times \Delta T$$

式中  $L_T$  代表拥挤时间，单位是 s； $l_t$  代表时刻拥挤长度，单位是 km； $\Delta T$  代表测量时间间隔，通常为 5min。拥挤时间作为表示拥挤总量的指标，用于拥挤对策的事前、事后评价。调查地点可选瓶颈交叉口、路段、区域等。

有些指标与设立交叉口信号灯的目标是一致的，但也会有负面影响。例如车辆平均延误时间越少，代表着单位时间通过交叉口的车辆越多，停车的次数越少以及能耗越低，但是交通可能就越不安全。提高通行能力是高效缓解交通矛盾的关键，通行能力越高就越有力的避免交通事故。所以说平均延误是大多数国家评价交叉口通行能力的主要指标。能够使单个交叉路口或者整个交通网络得到良好的信号时间分配市交通信号控制的最终目标。

### 3 交通信号模糊控制

#### 3.1 模糊控制基本原理

在常规控制方法中，人们用传递函数或逻辑方程来准确地描述系统的输入输出特性。而在模糊控制中，则通过模糊逻辑近似推理方法来实现对系统的控制。模糊控制流程如图 3.1。



图 3.1 模糊控制流程图

##### （1）模糊化

通常输入量都是连续变化的值，是非模糊量，必须先转化为模糊量才能进行模糊推理。模糊化就是将输入量变化范围划分成几个有限的级别，使得输入量对应几个有限个模糊集，在根据隶属函数的定义求出输出量对模糊集的隶属度，这样就把输入变量转化成了模糊变量。

##### （2）模糊推理

模糊推理是模糊控制的核心。模糊推理采用语言型模糊控制的方法对输入做出决策，采用"IF...TEHN..."的语言形式。IF 部分是规则的前提，THEN 部分是规则的结论。已知前提求结论是前向推理，反之为后向推理。模糊推理由条件集合，推理和累加三部分组成。首先根据模糊输入计算每条规则的满足程度（聚合），然后根据满足程度推断单一规则的输出大小（推断），最后把所有规则的输出累加，得到总的输出大小（累加）。

##### （3）反模糊化

反模糊化是将模糊推理的输出模糊值转化为控制系统的精确的输出变量，这样才能采用控制。其实质是将模糊集合映射到普通集合的过程。常见的反模糊化方法有加权平均法、最大隶属度法和取中位数法。



加权平均法又称为面积重心法，简称为重心法。通过取出模糊集合隶属度函数曲线与横坐标轴所围成的面积所对应的中心作为精确的输出。

模糊控制的特点：不需要建立控制系统精确的数学模型，具有良好的稳定性与鲁棒性，设计简单，调试方便。

### 3.2 模糊集合及其隶属函数

在模糊逻辑中，事物不以集合的极限值分类，而是给每个元素赋予一个介于 0 和 1 之间的实数，来描述元素属于某个集合的强度。该实数即成为元素属于一个集合的隶属度。集合中所有元素隶属度的全体构成集合的隶属度函数。相比于古典逻辑中每个集合都定义好一个具有明确界限的区域，模糊集合则没有明确的界限。每个元素或多或少属于某个集合。

准确的数字定义如下：给定论域  $X$  中的一个模糊集  $A$ ，对任意元素  $x \in X$ ，都有一个数  $\mu_A(x) \in [0,1]$  与之对应，这个数成为  $x$  对  $A$  的隶属度。则有映射如下：

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1], x \rightarrow \mu_A(x)$$

则  $\mu_A$  为  $A$  的隶属度函数。

要是  $\mu_A(x)$  的值越接近 1，表示  $x$  从属于  $A$  的程度越高，反之则越低。当  $\mu_A(x)$  取  $[0,1]$  时，则模糊集蜕化为普通集合。由此可见普通集合是模糊集合的一个特殊形式，模糊集合是普通集合概念上的推广。隶属度函数则是特征函数的推广。

### 3.3 城市交叉口及现行控制方法分析

交叉口是城市交通流最常见的冲突地段。为了减少冲突，提高通行效率，建立了交通灯信号调控的制度，从时间上分割相互冲突的交通流。通过红绿黄三色的交通灯来表示通行许可与否，基本无需人工接入，提高了效率，降低了人力成本。但是目前广泛采用的定时配时方法存在着如下的问题：

①当某一车道没有车辆到达时，绿灯仍需过固定时长后才能转换灯色，造成了其他车道不必要的等待。

②对任一交叉口而言，其不同时段的车流量不同。如在早晚上下班时间车流量很大，而在其他时段车流量很小。而定时配时只有一种调配方案，无法满足不同时段交通量的通行需求。

总而言之，由于定时配时方案无法感知道路的状况，因此其控制方法无法灵活变化以应对不同的通行需求。针对这些缺点，我们设计了新的控制方法。

### 3.4 交通信号模糊控制器设计

#### 3.4.1 交叉口相位及感应器设置

交叉口交通流分布在东南西北四个方向上，每个方向上又有直行车，左转车

和右转车。早期一般采用将东西和南北两个相对方向的车流分别划分为一个相位的两相位每周期的设计方案。但是我们考虑到左转车流对于车流通行的影响，将交叉口相位划分为如图 3.2 的四个相位：

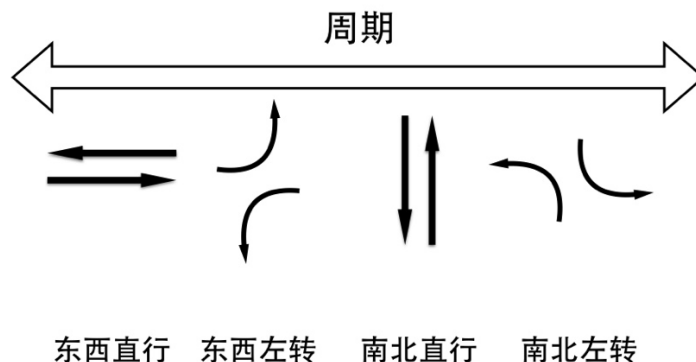


图 3.2 交通流相位划分图

一般来说，交叉口车流控制相位越多越安全。对于车流很大的交叉口，应将右转车流也单独划分成一个相位，即采用六相位控制。但就目前我国而言，四相位的控制方案依然广泛使用，目前大部分研究也是针对四相位车流的。

为了实现车流的实时控制，需要在每个相位的车道口设置传感器以检测实时车流。需要在每个相位的车道口设置传感器以检测实时车流。根据我们设计方案的需求，每个车道口需要设置两个传感器。一个设置在车道口停车线处，成为前端传感器；另一个设置在距车道口 80~120m 处。可以通过这两个传感器统计出每个车道的车辆到达率，同时可以计算出两个传感器之前的车辆排队长度。

### 3.4.2 模糊控制系统设计

针对上述分析中目前实施的定时配时系统的缺点，在参考前人研究的基础上，我们设计了两级模糊控制系统来控制信号灯。其系统框图如图 3.3 所示：

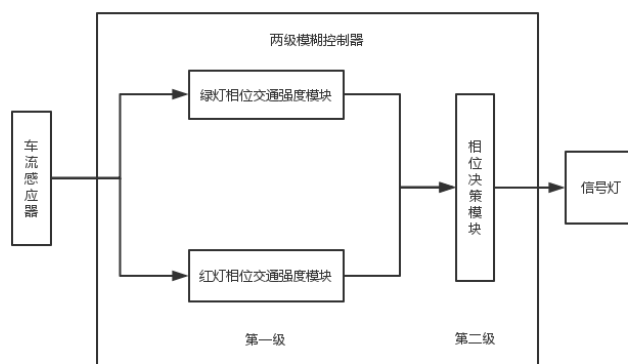


图 3.3 模糊控制系统框图

系统总的设计思路是对每个绿灯相位，首先给予一个初始绿灯时间，然后根据当前绿灯相位和红灯相位的车流量强度来判断是否延长当前相位绿灯时间还是将绿灯转换至下一相位。系统组成是第一级由绿灯相位交通强度模块和红灯相位交通强度模块组成，第二级则有相位转换模块组成。每个模块均是一个模糊控制器。第一级模块将当前流量信息传递给第二级模块，第二级模块来决定是否转换相位还是继续延长当前相位的绿灯时间。下面对每个模块进行详细介绍。

### I 绿灯相位交通强度模块

这个模块用于计算当前绿灯相位的交通强度。其输入变量为转换至此相位时的排队长度  $queue$  和此相位车辆到达率  $rate$ ，输出变量为交通强度  $TR_{green}$ 。对于每个相位，都有至少两个车道。如东西直行相位有从东向西的车流和从西向东的车流。每个相位的交通强度就是每个车道交通强度的最大值。

设两个感应器之间的距离为 100m，一般一辆车占据的距离为 5m（包括车长和两车间距），则一个车道可以检测到的最大排队长度为 20 辆/车道。以此定义车辆排队长度  $queue$  的论域为  $[0,20]$ （辆/车道）。变换至离散论域为  $(0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20)$ 。设模糊集合语言值为{很短（VS），短（S），中等（M），长（L），很长（VL）}，由专家经验制定排队长度  $queue$  的隶属度函数为三角形，其隶属度表和隶属度函数见下：

表 3.1 绿灯相位排队长度隶属度表

隶属度		排队长度 $queue$ 论域元素										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
隶属度模糊集	VS	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0.4	0.8	0.8	0.4	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0
	L	0	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0.8	0.4	0
	VL	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1

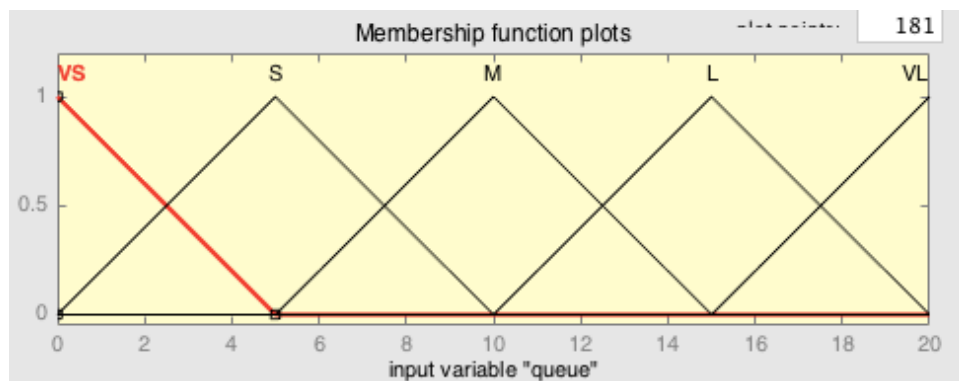


图 3.4 绿灯相位排队长度隶属度函数

车辆到达率的论域为 $[0,1]$ ，变换至离散论域为 $(0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1)$ ，设模糊集合语言值为{很小（VS），小（S），中等（M），大（B），很大（VB）}，其隶属度函数为三角形，其隶属度表和隶属度函数图见下：

表 3.2 绿灯相位到达率隶属度表

隶属度		车辆到达率 rate 论域元素										
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
隶属度模糊集	VS	1	0.6	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
	S	0	0.4	0.8	0.8	0.4	0	0	0	0	0	0
	M	0	0	0	0.2	0.6	1	0.6	0.2	0	0	0
	L	0	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0.8	0.4	0
	VL	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	1

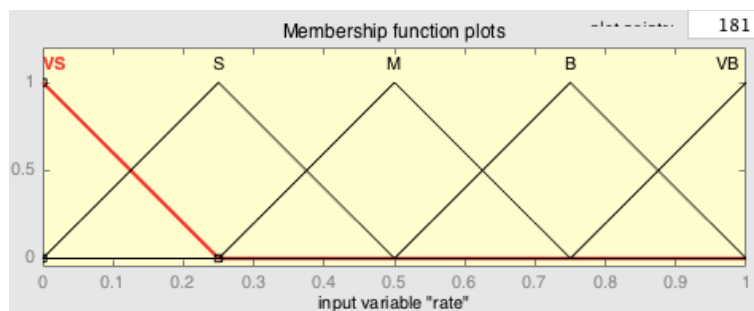


图 3.5 绿灯相位到达率隶属度函数

交通强度的论域为 $[0,5]$ ，变换至离散论域为 $(0, 1, 2, 3, 4, 5)$ ，设模糊集合语言值为{很小（VS），小（S），中（M），高（H），很高（VH）}，其隶属度函数为三角形，其隶属度表和隶属度函数图见下：

表 3.3 绿灯相位交通强度隶属度表

隶属度		绿灯相位交通强度 $TR_{green}$					
		0	1	2	3	4	5
隶属度模糊集	VS	1	0.2	0	0	0	0
	S	0	0.8	0.4	0	0	0
	M	0	0	0.6	0.6	0	0
	H	0	0	0	0.4	0.8	0
	VH	0	0	0	0	0.2	1

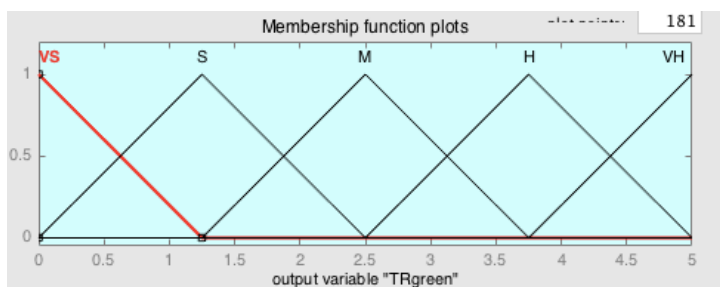


图 3.6 绿灯相位交通强度隶属度函数

在将上述输入和输出均离散化后，接下来需要制定模糊逻辑规则。该模块模糊逻辑规则总的原则是：当排队长度增长或车辆到达率增大时，交通强度应该增大。经过反复试验，总结出如下表 25 条模糊规则：

表 3.4 绿灯相位模糊逻辑规则

$TR_{green}$		queue				
		VS	S	M	L	VL
Rate	VS	VS	VS	S	M	H
	S	VS	S	S	M	H
	M	S	S	M	H	VH
	B	M	M	H	H	VH
	VB	M	H	H	VH	VH

根据模糊规则，可求出相应的模糊关系矩阵 R：

$$R_{ij} = (queue)_i \times (rate)_j \times (TR_{green})_k$$

在得到 R 之后，对于不同的 queue 和 rate 输入就可以计算出  $TR_{green}$ ：  
 $TR_{green} = (queue \times rate) \cdot R$ 。此时得到的  $TR_{green}$  是模糊子集，需用重心法进行反模糊化，从而得到精确的交通强度。

## II 红灯相位交通强度模块

此模块用于计算下一相位的交通强度。因为此时没有车辆通行，只有排队长度的变化，因此输入变量为排队长度 queue，输出变量为交通强度  $TR_{red}$ 。其过程和绿灯相位交通强度模块类似。建立了如下 5 条规则：

表 3.5 红灯相位模糊控制规则

queue	VS	S	M	L	VL
TRred	VS	S	M	H	VH

同理计算模糊关系 R，应用重心法后，可以得到精确的交通强度。

### III 相位决策模块

相位决策模块的作用是根据两个相位的交通强度来决定是否转换相位至下一相位。其输入是第一级得到的两个交通强度  $TR_{green}$  和  $TR_{red}$ ，输出则为决策量  $control$ 。决策量的论域为  $(0, 1)$ ，其模糊语言集合为{否 (N)，是 (Y)}，其隶属度函数为三角形函数，如下图所示：

表 3.6 相位决策表

隶属度		决策量论域元素	
		0	1
隶属度模糊集	N	1	0
	Y	0	1

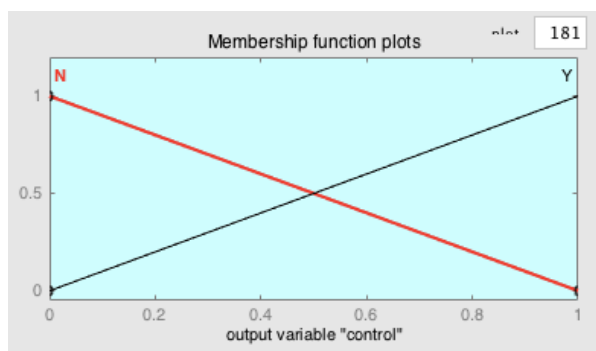


图 3.7 相位决策隶属度函数

反模糊化后输出为  $[0, 1]$  的值，设置一阈值 0.5，若超过该阈值则转换相位至下一相位，否则就维持当前相位为绿灯。经反复试验，总结如下 25 条模糊规则：

表 3.7 相位决策模糊规则

control		TR <sub>green</sub>				
		VS	S	M	H	VH
TR <sub>red</sub>	VS	Y	N	N	N	N
	S	Y	Y	N	N	N
	M	Y	Y	Y	N	N
	H	Y	Y	Y	Y	N
	VH	Y	Y	Y	Y	Y

建立模糊控制规则表的基本思想是：综合考虑两个相位的交通强度来决定是否转换相位至下一相位。使车辆通过交叉路口的总延误尽可能小，具体如下：

(1) 两个相位对应方向的交通强度为同一量级时，转换相位至下一相位，其目的是在双方流量相差不多的情况下、尽快地均衡疏散。

(2) 当前相位交通强度大、下一相位等待通过的车辆排队长度较少时，不切换相位，使当前相位的车辆尽可能多的通过，而下一相位延误的车辆又不至于太多。

(3) 当前相交通强度较少时，说明当前相位等待通过的车辆已经比较少，应尽快进入下一相位。

### 3.4.3 信号灯模糊控制与定时配时的流程描述

步骤 1：进行系统初始化

步骤 2：根据随机车流发生模型产生随机车流

步骤 3：进行模糊控制情况下信号灯控制流程

步骤 4：进行定时配时情况下的信号灯控制流程

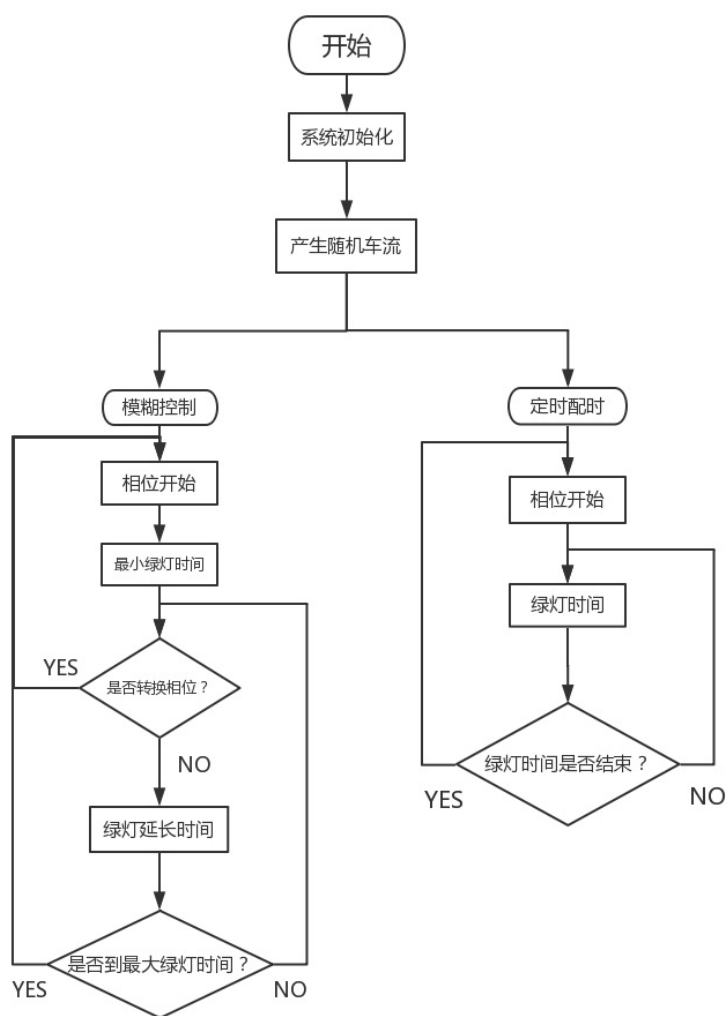


图 3.8 仿真流程图

## 4 交通信号模糊控制的仿真实现

交通控制仿真软件设计是上世纪 60 年代开始进行使用的交通控制研究方法，是交通工程中极为重要的领域。通过计算机所建立的数字模型，可以复现交通流时间和空间上的变化。本设计使用 Matlab 来进行仿真和对比验证。整个仿真模型由随机车流发生模型，交通信号控制模型和车辆延误计算模型三个部分组成。

### 4.1 随机车流发生模型

进行交通系统仿真最基本的模型是车辆生成模型，它所解决的主要问题是交通流的输入问题。现实生活中交叉路口的车流到达是随机的、离散的。车流的到达是个比较复杂的随机过程，因此只有通过大范围长时间的统计才能得到规律。一般一个观察周期内，交通流的到达车辆数一般符合泊松分布或者二项分布。泊松分布用于描述时间间隔短，车流密度不大，车辆相互间的干扰比较小的车流。二项分布用于描述车流密度大，车辆较少有自由行使机会的车流。

泊松分布所描述的交通流一般指的是车流的密度小，车辆之间几乎没有相互影响，基本不受其他外界干扰的情况，也就是说车流是随机的。在这种情况下，采用泊松分布处理交通观测数据比较正确，能够得到较为准确的拟合数据。其计算公式为：

$$P(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

其中  $P(x)$  是指单位计时时间  $t$  内到达  $x$  辆车的概率， $\lambda$  表示单位时间车辆的平均到达率。则  $\lambda t$  表示的是计时时间  $t$  内平均到达的车辆数。

在车辆比较拥挤时，车辆不能自由的行驶，所观测的数据的方差比较小。此时车辆到达数的分布符合二项分布，其计算公式为：

$$P(x) = C_n^x p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots$$

其中  $n$ 、 $p$  是分布参数， $p = \frac{\lambda t}{n}$  表示某一辆车出现的概率， $0 < p < 1$ 。 $n$  为正整数，表示单位时间  $t$  内可到达的最大车辆数。

为了保证仿真模型更具实际意义，通过分析和观测数据，确定车辆生成模型。在车辆的到达率低于 0.4 辆/s 时服从泊松分布，在车辆到达率大于 0.4 辆/s 时服从二项分布。建立如图 4.1 所示的随机车流产生模型：



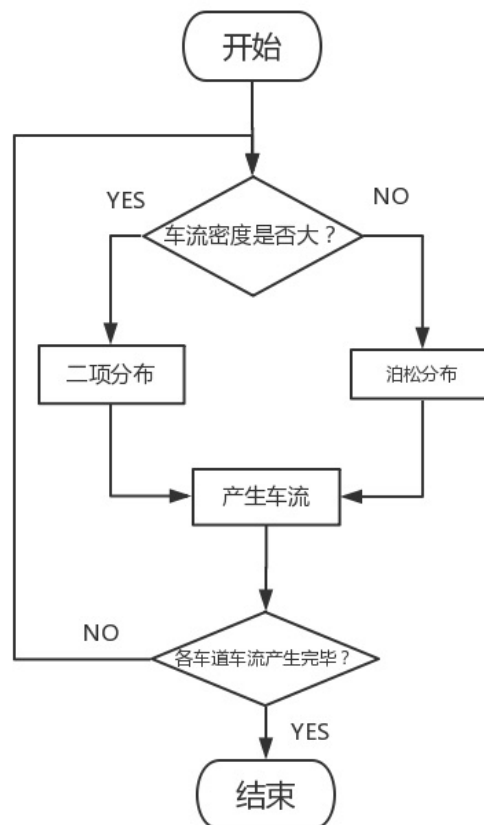


图 4.1 车辆生成模型的仿真流程

## 4.2 交通信号控制模型

交通信号控制模型由 3 个模糊逻辑控制器组成，因此利用 Matlab 的模糊逻辑设计器（Fuzzy logic Designer）中的 FIS Editor Gui 来进行设计。

以绿灯相位交通强度模块的设计为例子，本设计定义了两个输入变量（当前排队长度 *queue* 和车流到达率 *rate*），一个输出变量（模糊交通强度值  $TR_{green}$ ）。在这个页面可以编辑各个逻辑规则方法，其中模糊逻辑方法（Defuzzification）选择重心法，其余为默认设置，界面如图 4.2 所示：

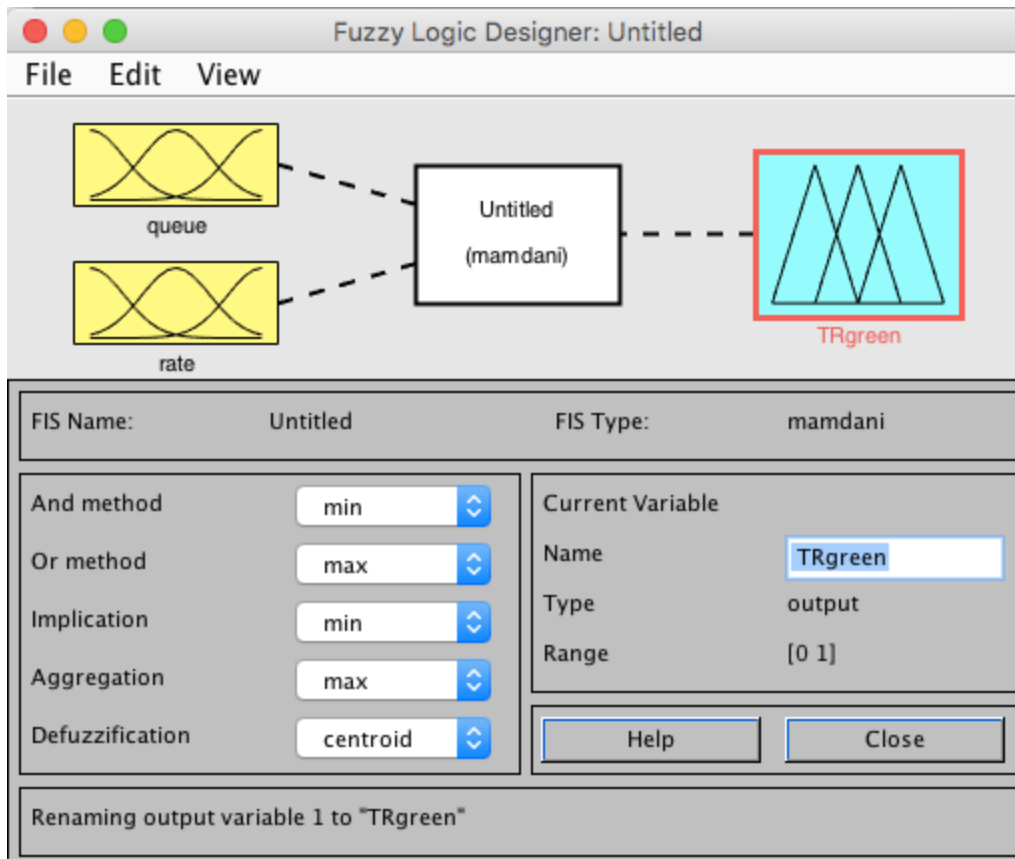


图 4.2 模糊逻辑设计器主界面

双击其中任一变量，可进入隶属度函数编辑界面，在此界面中可以编辑各变量隶属度函数，例如论域（Range），隶属度函数类型（Type，本设计中为三角形”trimf”）以及函数参数（Params），如下图 4.3 所示：

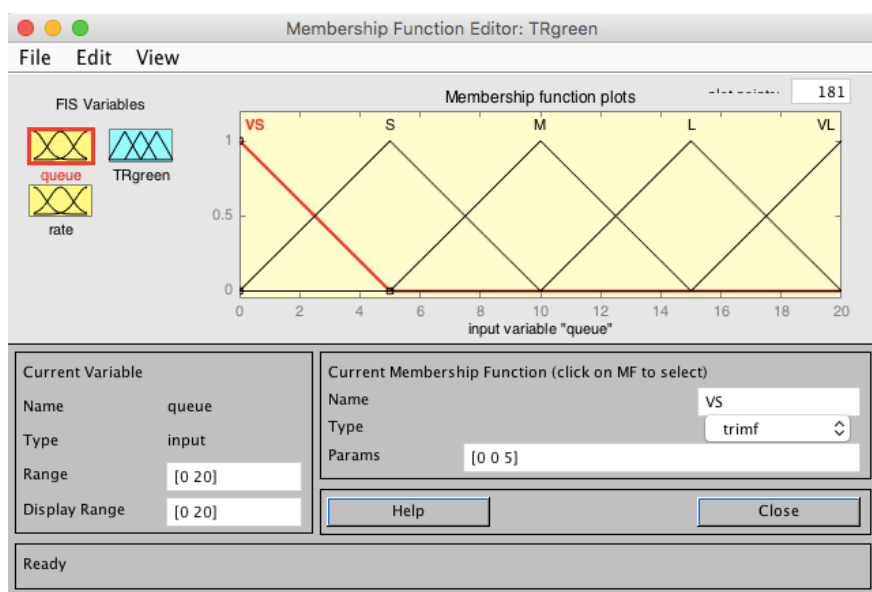


图 4.3 模糊逻辑设计器隶属度函数编辑界面

双击上图中中间白色方框，即可进入逻辑推理规则的编辑界面（本次设计采用”mamdani”型推理）。在该界面中，可编辑逻辑规则。逻辑规则为”If-Then”形式，本次设计中每个变量有 5 个隶属度函数，因此共有 25 条规则，通过”Delete rule”、”Add rule”和”change rule”按钮可进行删除、增加和编辑规则的操作，如下图所示：

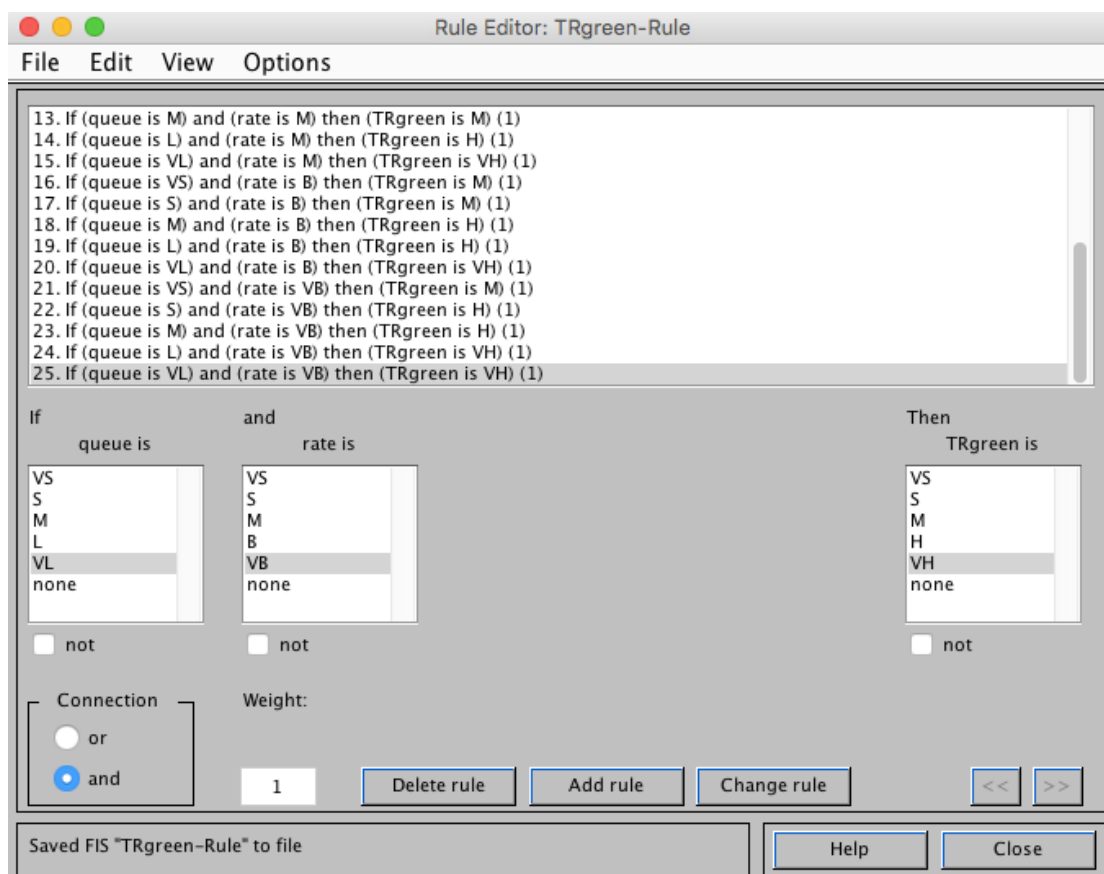


图 4.4 模糊逻辑设计器逻辑推理规则编辑界面

按照上述方法分别生成 GreenLntensity, RedLntensity 和 Control 三个 fis 文件，分别对应三个模块。在仿真程序中通过 readfis 命令和 evalfis 命令可以调用这三个模块。

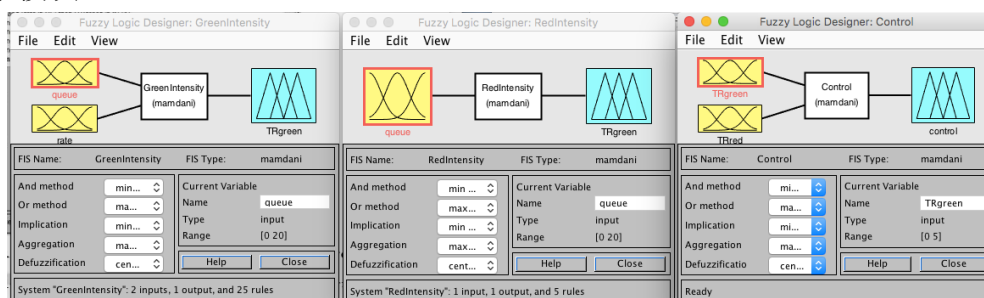


图 4.5 生成三个 FIS 模块文件

### 4.3 车流延误计算模型

延误是评价交叉口通行效率的重要指标，通过这一指标还可以计算出诸如尾气排放量，燃油消耗等指标。因本次设计中，绿灯时间不固定，周期亦不固定，因此前人理论中的计算延误的模型已不再适用，需要建立新的延误计算模型。

根据延误的定义，首先计算总延误。设周期开始时，每一车道已有排队车辆数为 $q_0$ ，则在 $\Delta t$ 内红灯相位每一车道的排队车辆数为

$$Q_r = q_0 + \Delta t \cdot \lambda$$

设 $\Delta t$ 内每一车道离去车辆数为 $q_L$ ，绿灯相位每一车道的排队车辆数为：

$$Q_g = q_0 + \Delta t \cdot \lambda - q_L$$

其中 $\lambda$ 为车辆到达率，设绿灯相位车道数为 $N_g$ ，红灯相位车道数为 $N_r$ ，则在 $\Delta t$ 内总延误 D 为：

$$D = \Delta t \cdot (N_g \cdot Q_g + N_r \cdot Q_r)$$

设周期为 T，则一个周期的平均延误 d 为

$$d = \frac{D \cdot \frac{T}{\Delta t}}{\sum_{i=1}^{\frac{T}{\Delta t}} N_g \cdot q_L}$$

## 5 结论

设置仿真参数如下：时间间隔长度：4s；每车道最大排队数量：20 辆；每相位开始时损失时间：4s；最小绿灯时长：8s；最大绿灯时长：40s；每车道初始排队车辆：1 辆；驶离率：1 辆/s；仿真时长 3600s。车道设置为每相位每方向分为直行和右转车道，左转车道两个车道。

在产生相同的车流的情况下分别应用定时配时方案和本方案，得到如下控制效果对比：

表 5.1 控制效果对比表

仿真次数 平均延误	1	2	3	4	5	6
定时配时	47.38	53.47	52.94	52.6	51.4	53.79
本设计	20.2	24.42	23.31	24.61	25.48	26.79

定时感应平均延误为 51.93，本设计为则为 24.135，整体效率提高 53%左右。若应用本系统，可使得通行效率大幅提升。

本设计也有一定的不足，在仿真中通过统计周期次数发现，本设计中在固定时长内周期数约为定时配时方案的两倍。这说明本设计的周期长度小于定时配时方案，这意味着相位切换的速度较快，在极端条件下可能导致停车次数大幅增加。

目前还有一种基于 FDES（模糊离散事件系统）的交通控制系统，其系统运行效率相比于定时配时最高可达 80%以上。本系统相比之下，仍需要改善和调整。

## 参考文献

- [1]陆化普. 城市交通现代化管理. 人民交通出版社, 1999.
- [2]郑祖武. 现代城市交通. 人民交通出版社, 1998.
- [3]Ahmad,Azrulnor. Development of traffic light control system using programmable logic controller[D].Malaysia Pahang University. 2007.
- [4]Tillotson H T. The automatic control of urban road traffic[J]. Physics in Technology. 1984, 15(3):136~142.
- [5]李红梅. 基于 MATLAB 的短时交通预测及分析[D]. 山东科技大学, 2007.
- [6]杨兆升. 城市智能公共交通系统理论与方法[M]. 中国铁道出版社, 2002.
- [7]张宗华, 张伟, 赵霖. 利用遗传算法实现交通控制系统优化方法[J]. 计算机工程, 2003, 29(12):53~54.
- [8]马莹莹, 李晓彤, 杨晓光. 基于路径的信号控制交叉口关联计算模型[J]. 统计大学学报(自然科学版). 2009, 37(11):1462~1466.
- [9]吴明辉, 黄辉先, 谭志辉等. 一种交叉路口信号控制模型的研究与仿真[J]. J 系统仿真学报(自然科学版). 2006, 18(7):1866~1869.
- [10]黄卫, 陈里得. 智能运输系统(ITS)概论[M]. 人民交通出版社. 2001.
- [11]柴磊. 基于感应式车辆检测技术的交通自适应控制研究[D]. 浙江大学. 2006.
- [12]J.RWootton,A G Ortiz,S M Amin. Intelligent transportation system:a global market prespective[J]. Mathematical Comput. Modelling. 1995,22:295~268.
- [13]刘志勇, 梁渭清. 城市交通信号控制的进展[J]. 公路交通科技. 2003, 20(6):121~125.
- [14]金稳. 多相位智能交通控制器的研究[D]. 浙江大学. 2007.
- [15]杜鹃. 智能交通系统中交叉口的模糊控制及算法[D]. 辽宁工学院. 2007.

## 致谢

完成这次设计及这篇论文以后我大学生涯也即将结束，在做此次设计的日子  
里我得到了指导教师的悉心指导，在此向我的指导教师贺老师致以诚挚的谢意。  
也同时感谢在此次设计过程中帮助我的同学，在我对相关软件使用一筹莫展时，  
你们给我提供了相关的资料，给了我很多无私的帮助和支持，我在此深表谢意。  
没有你们的帮助，我不可能顺利地完成大学的学习，更不可能完成本次毕业设计。  
我要由衷地感谢指导老师老师和答辩老师给予的意见和建议，感谢同学给予的帮助。  
这次设计让学习掌握 MATLAB/SIMULINK 软件的基本用法，进而掌握其中模糊  
工具箱的用法，用 MATLAB/SIMULINK 软件对传统的交通信号定时控制方法和本文  
研究的模糊控制方法进行建模仿真，依据仿真结果对两种控制方法进行评价。在  
这次毕业设计中通过查找大量的模糊控制、交通信号灯控制的相关资料，锻炼了  
文献检索的能力，资料的整合能力，提高了分析设计能力。同时积累了模糊控制  
思维的相关经验和动手能力。本设计将书本知识和实物结合在了一起，提高了我  
查找相关资料和撰写论文的能力，培养了认真的态度和分析解决问题的能力，培  
养了耐心，以及做一件事要持之以恒，这一次的设计经历会对今后的学习和工作  
产生积极重大的影响。

## 毕业设计（论文）知识产权声明

本人完全了解西安工业大学北方信息工程学院有关保护知识产权的规定，即：本科学生在校攻读学士学位期间毕业设计（论文）工作的知识产权属于西安工业大学信息工程学院。本人保证毕业离校后，使用毕业设计（论文）工作成果或用毕业设计（论文）工作成果发表论文时署各单位仍然为西安工业大学信息工程学院。学校有权保留送交的毕业设计（论文）的原文或复印件，允许毕业设计（论文）被查阅和借阅；学校可以公布毕业设计（论文）的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存毕业设计（论文）。

（保密的毕业设计（论文）在解密后应遵守此规定）

毕业设计（论文）作者签名：

指导教师签名：

日期：



## 毕业设计（论文）独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的毕业设计（论文）是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，毕业设计（论文）中不包含其他人已经发表或撰写过的成果，不包含他人已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了致谢。

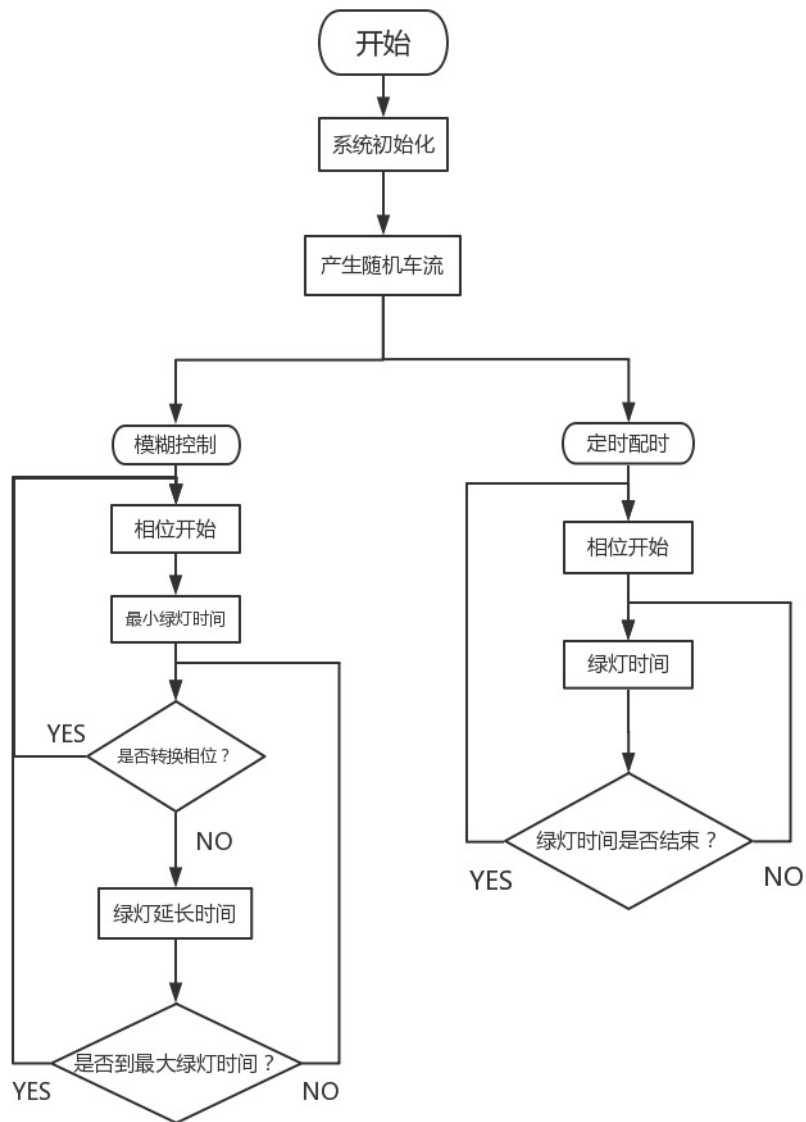
毕业设计（论文）与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

毕业设计（论文）作者签名：

指导教师签名：

日期：

## 附录 1 仿真流程图



---

## 附录 2 源程序清单

### I 初始化

```
global phaseA;
global phaseB;
global phaseC;
global phaseD;
global queue;
global period;
global min_green;
global max_green;
global sim_time;
global sim_time_set;
global cur_phase;
global period_green;
global cars_arri;
global greenlist;
global redlist;
global control_list;
phaseA = 1;
phaseB = 2;
phaseC = 3;
phaseD = 4;
queue = ones(8,1);
period = 4;
min_green = 8;
max_green = 40;
sim_time = 0;
sim_time_set = 3600;
cur_phase = phaseA;
cur_phase_green = 0;
period_green = 0;
avg_green = 40;
round_count = 1;
round_time = 0;
round_car_left = 0;
total_wait_time = 0;
avr_wait_time = 0;
```

```

cars_left_total = 0;
greenlist = green();
redlist = red();
control_list = control(greenlist,redlist);
cars_arri = car_reach();

```

## II 车辆到达函数

```

cars_arri = zeros(8,900);
for k = 1:12
    for i = 1:8
        for j = (((k-1)*75)+1):75*k
            if rate(k,i) <= 0.4
                cars_arri(i,j) = poissrnd(4*rate(k,i));
            else
                cars_arri(i,j) = binornd(5,rate(k,i));
            end
        end
    end
end
end

```

## III 模糊控制计算（以绿灯相位为例）

```

TRgreen = readfis('GreenLntensity');
greenlist = zeros(21,11);
for i = 1:1:21;
    for j = 1:11;
        rate = (j-1)/10;
        queue = i-1;
        greenlist(i,j) = evalfis([queue,rate],TRgreen);
    end
end
end

```

## IV 模糊控制程序

```

while sim_time < (sim_time_set-8)
    cur_phase_green = 0;
    sim_time = sim_time + min_green;
    cur_phase_green = cur_phase_green + min_green;
    queue = queue + cars_arri(:,sim_time/4 - 1) + cars_arri(:,sim_time/4);
    for i_pos = 1:8

```

---

```

        if queue(i_pos,1) > 20
            queue(i_pos,1) = 20;
        end
    end
    car_left = zeros(8,1);
    if cur_phase_green == min_green
        car_left(cur_phase,1) = min(min_green,queue(cur_phase,1));
        car_left(cur_phase+4,1) = min(min_green,queue(cur_phase+4,1));
    else
        car_left(cur_phase,1) = min(period,queue(cur_phase,1));
        car_left(cur_phase+4,1) = min(period,queue(cur_phase+4,1));
    end
    cars_left_total = cars_left_total + sum(car_left);
    round_car_left = round_car_left + sum(car_left);
    queue = queue - car_left;
    total_wait_time = queue*4 + total_wait_time;
    while (cur_phase_green < max_green) && (sim_time < sim_time_set) &&
        (control_list(max(queue(cur_phase,1),queue(cur_phase+4,1))+1,round(10*rate
        (floor(sim_time/300)+1,((queue(cur_phase) >= queue(cur_phase+4)) * cur_phase +
        (queue(cur_phase) < queue(cur_phase + 4)) * (cur_phase + 4)))) +
        1,max(queue(((cur_phase == 4) * phaseA + (cur_phase ~= 4) * (cur_phase +
        1)),1),queue(((cur_phase == 4) * (phaseA + 4)+(cur_phase ~= 4) * (cur_phase + 5)),1))
        + 1) < 0.5)
        sim_time = sim_time + period;
        cur_phase_green = cur_phase_green + period;
        queue = queue + cars_arri(:,sim_time/4);
        for i_phase = 1:8
            if queue(i_phase,1) > 20
                queue(i_phase,1) = 20;
            end
        end
        car_left = zeros(8,1);
        if cur_phase_green == min_green
            car_left(cur_phase,1) = min(min_green,queue(cur_phase,1));
            car_left(cur_phase+4,1) = min(min_green,queue(cur_phase+4,1));
        else
            car_left(cur_phase,1) = min(period,queue(cur_phase,1));
            car_left(cur_phase+4,1) = min(period,queue(cur_phase+4,1));
        end
    end

```

```

end
queue = queue - car_left;
total_wait_time = queue * 4 + total_wait_time;
car_left_total = cars_left_total + sum(car_left);
round_car_left = round_car_left + sum(car_left);
end
if cur_phase == phaseD
    cur_phase = phaseA;
    avr_wait_time = sum(total_wait_time) / round_car_left;
    disp(avr_wait_time)
    round_count = round_count + 1;
    round_car_left = 0;
    total_wait_time = 0;
else
    cur_phase = cur_phase + 1;
end
end
end

```

## V 定时配时程序

```

while sim_time < sim_time_set
    cur_phase_green = 0;
    sim_time = sim_time + max_green;

    while (cur_phase_green < max_green) && (sim_time < sim_time_set)
        cur_phase_green = cur_phase_green + period;
        queue = queue + cars_arri(:,sim_time/4);
        for i_phase = 1:8
            if queue(i_phase,1) > 20
                queue(i_phase,1) = 20;
            end
        end
        end
        car_left = zeros(8,1);

        car_left(cur_phase,1) = min(period,queue(cur_phase,1));
        car_left(cur_phase+4,1) = min(period,queue(cur_phase+4,1));

        queue = queue - car_left;
        total_wait_time = queue * 4 + total_wait_time;
    end
end

```

```
cars_left_total = cars_left_total + sum(car_left);
round_car_left = round_car_left + sum(car_left);
end

if cur_phase == phaseD
    cur_phase = phaseA;
    avr_wait_time = sum(total_wait_time) / round_car_left;
    disp(avr_wait_time)
    round_count = round_count + 1;
    round_car_left = 0;
    total_wait_time = 0;
else
    cur_phase = cur_phase + 1;
end
end
```

### 附录 3 外文原文及翻译

## Fuzzy Logic

Welcome to the wonderful world of fuzzy logic, the new science you can use to powerfully get things done. Add the ability to utilize personal computer based fuzzy logic analysis and control to your technical and management skills and you can do things that humans and machines cannot otherwise do.

Following is the base on which fuzzy logic is built: As the complexity of a system increases, it becomes more difficult and eventually impossible to make a precise statement about its behavior, eventually arriving at a point of complexity where the fuzzy logic method born in humans is the only way to get at the problem. Fuzzy logic is used in system control and analysis design, because it shortens the time for engineering development and sometimes, in the case of highly complex systems, is the only way to solve the problem. Although most of the time we think of "control" as having to do with controlling a physical system, there is no such limitation in the concept as initially presented by Dr. Zadeh. Fuzzy logic can apply also to economics, psychology, marketing, weather forecasting, biology, politics ..... to any large complex system.

The term "fuzzy" was first used by Dr. Lotfi Zadeh in the engineering journal, "Proceedings of the IRE," a leading engineering journal, in 1962. Dr. Zadeh became, in 1963, the Chairman of the Electrical Engineering department of the University of California at Berkeley. That is about as high as you can go in the electrical engineering field. Dr. Zadeh thoughts are not to be taken lightly. Fuzzy logic is not the wave of the future. It is now! There are already hundreds of millions of dollars of successful, fuzzy logic based commercial products, everything from self-focusing cameras to washing machines that adjust themselves according to how dirty the clothes are, automobile engine controls, anti-lock braking systems, color film developing systems, subway control systems and computer programs trading successfully in the financial markets. Note that when you go searching for fuzzy-logic applications in the United States, it is difficult to impossible to find a control system acknowledged as based on fuzzy logic. Just imagine the impact on sales if General Motors announced their anti-lock braking was accomplished with fuzzy logic! The general public is not ready for such an announcement.

Objectives of the following chapters include:

(1) To introduce to individuals in the fields of business, industry, science, invention



and day-to-day living the power and benefits available to them through the fuzzy logic method and to help them understand how fuzzy logic works.

(2) To provide a fuzzy logic "how-to-do-it" guide, in terms everyone can understand, so everyone can put fuzzy logic to work doing something useful for them.

This book is being written so "Just Plain Folks" can understand the concept of fuzzy logic sufficiently to utilize it, or to at least determine if they need to dig deeply into the subject in the great quantity of Ph.D. level literature existing on the subject. This book is a guide, so you can do something with fuzzy logic, even if you are not a Ph.D. specializing in the field or an advanced digital systems electronics engineer. It should be noted there is controversy and criticism regarding fuzzy logic. One must read various sides of the controversy and reach their own conclusion. Personally, the author, who has been both praised and reviled for his writings regarding fuzzy logic, feels the critics are too rigid in their grasp of the universe and "just do not get it." But, do not take my word for it. You must look at all sides and make up your own mind. The paragraphs directly below say in a few short words, "what fuzzy logic is." But, reading much of the rest of this book and other publications on the subject will be helpful for a fuller understanding.

Suppose you are driving down a typical, two way, 6 lane street in a large city, one mile between signal lights. The speed limit is posted at 45 Mph. It is usually optimum and safest to "drive with the traffic," which will usually be going about 48 Mph. How do you define with specific, precise instructions "driving with the traffic?" It is difficult. But, it is the kind of thing humans do every day and do well. There will be some drivers weaving in and out and going more than 48 Mph and a few drivers driving exactly the posted 45 Mph. But, most drivers will be driving 48 Mph. They do this by exercising "fuzzy logic" - receiving a large number of fuzzy inputs, somehow evaluating all the inputs in their human brains and summarizing, weighting and averaging all these inputs to yield an optimum output decision. Inputs being evaluated may include several images and considerations such as: How many cars are in front. How fast are they driving. Any "old clunkers" going real slow. Do the police ever set up radar surveillance on this stretch of road. How much leeway do the police allow over the 45 Mph limit. What do you see in the rear view mirror. Even with all this, and more, to think about, those who are driving with the traffic will all be going along together at the same speed.

The same ability you have to drive down a modern city street was used by our ancestors to successfully organize and carry out chases to drive woolly mammoths into pits, to obtain food, clothing and bone tools.

Human beings have the ability to take in and evaluate all sorts of information from the physical world they are in contact with and to mentally analyze, average and summarize all this input data into an optimum course of action. All living things do this,

but humans do it more and do it better and have become the dominant species of the planet.

If you think about it, much of the information you take in is not very precisely defined, such as the speed of a vehicle coming up from behind. We call this fuzzy input. However, some of your "input" is reasonably precise and non-fuzzy such as the speedometer reading. Your processing of all this information is not very precisely definable. We call this fuzzy processing. Fuzzy logic theorists would call it using fuzzy algorithms (algorithm is another word for procedure or program, as in a computer program). Fuzzy logic is the way the human brain works, and we can mimic this in machines so they will perform somewhat like humans (not to be confused with Artificial Intelligence, where the goal is for machines to perform EXACTLY like humans). Fuzzy logic control and analysis systems may be electro-mechanical in nature, or concerned only with data, for example economic data, in all cases guided by "If-Then rules" stated in human language.

The fuzzy logic analysis and control method is, therefore:

(1)Receiving of one, or a large number, of measurement or other assessment of conditions existing in some system we wish to analyze or control.

(2)Processing all these inputs according to human based, fuzzy "If-Then" rules, which can be expressed in plain language words, in combination with traditional non-fuzzy processing.

(3)Averaging and weighting the resulting outputs from all the individual rules into one single output decision or signal which decides what to do or tells a controlled system what to do. The output signal eventually arrived at is a precise appearing defuzzified, "crisp" value.

Measured, non-fuzzy data is the primary input for the fuzzy logic method. Examples: temperature measured by a temperature transducer, motor speed, economic data, financial markets data, etc. It would not be usual in an electro-mechanical control system or a financial or economic analysis system, but humans with their fuzzy perceptions could also provide input. There could be a human "in-the-loop." In the fuzzy logic literature, you will see the term "fuzzy set." A fuzzy set is a group of anything that cannot be precisely defined. Consider the fuzzy set of "old houses." How old is an old house? Where is the dividing line between new houses and old houses? Is a fifteen year old house an old house? How about 40 years? What about 39.9 years? The assessment is in the eyes of the beholder. Other examples of fuzzy sets are: tall women, short men, warm days, high pressure gas, small crowd, medium viscosity, hot shower water, etc. When humans are the basis for an analysis, we must have a way to assign some rational value to intuitive assessments of individual elements of a fuzzy set. We must translate from human fuzziness to numbers that can be used by a computer.

We do this by assigning assessment of conditions a value from zero to 1.0. For "how hot the room is" the human might rate it at .2 if the temperature were below freezing, and the human might rate the room at .9, or even 1.0, if it is a hot day in summer with the air conditioner off. You can see these perceptions are fuzzy, just intuitive assessments, not precisely measured facts. By making fuzzy evaluations, with zero at the bottom of the scale and 1.0 at the top, we have a basis for analysis rules for the fuzzy logic method, and we can accomplish our analysis or control project. The results seem to turn out well for complex systems or systems where human experience is the only base from which to proceed, certainly better than doing nothing at all, which is where we would be if unwilling to proceed with fuzzy rules.

Novices using personal computers and the fuzzy logic method can beat Ph.D. mathematicians using formulas and conventional programmable logic controllers. Fuzzy logic makes use of human common sense. This common sense is either applied from what seems reasonable, for a new system, or from experience, for a system that has previously had a human operator. Here is an example of converting human experience for use in a control system: I read of an attempt to automate a cement manufacturing operation. Cement manufacturing is a lot more difficult than you would think. Through the centuries it has evolved with human "feel" being absolutely necessary. Engineers were not able to automate with conventional control. Eventually, they translated the human "feel" into lots and lots of fuzzy logic "If-Then" rules based on human experience. Reasonable success was thereby obtained in automating the plant. Objects of fuzzy logic analysis and control may include: physical control, such as machine speed, or operating a cement plant; financial and economic decisions; psychological conditions; physiological conditions; safety conditions; security conditions; production improvement and much more.

This book will talk about fuzzy logic in control applications - controlling machines, physical conditions, processing plants, etc. It should be noted that when Dr. Zadeh invented fuzzy logic, it appears he had in mind applying fuzzy logic in many applications in addition to controlling machines, such as economics, politics, biology, etc. Thank You Wozniak (Apple Computer), Jobs (Apple Computer), Gates (Microsoft) and Ed Roberts (the MITS, Altair entrepreneur) for the Personal Computer.

Without personal computers, it would be difficult to use fuzzy logic to control machines and production plants, or do other analyses. Without the speed and versatility of the personal computer, we would never undertake the laborious and time consuming tasks of fuzzy logic based analyses and we could not handle the complexity, speed requirement and endurance needed for machine control. You can do far more with a simple fuzzy logic BASIC or C++ program in a personal computer running in conjunction with a low cost input/output controller than with a whole array of expensive,

conventional, programmable logic controllers. Programmable logic controllers have their place! They are simple, reliable and keep American industry operating where the application is relatively simple and on-off in nature.

For a more complicated system control application, an optimum solution may be patching things together with a personal computer and fuzzy logic rules, especially if the project is being done by someone who is not a professional, control systems engineer.

A Milestone Passed for Intelligent Life On Earth. If intelligent life has appeared anywhere in the universe, "they" are probably using fuzzy logic. It is a universal principle and concept. Becoming aware of, defining and starting to use fuzzy logic is an important moment in the development of an intelligent civilization. On earth, we have just arrived at that important moment. You need to know and begin using fuzzy logic.

The discussion so far does not adequately prepare us for reading and understanding most books and articles about fuzzy logic, because of the terminology used by sophisticated authors. Following are explanations of some terms which should help in this regard. This terminology was initially established by Dr. Zadeh when he originated the fuzzy logic concept.

Fuzzy - The degree of fuzziness of a system analysis rule can vary between being very precise, in which case we would not call it "fuzzy", to being based on an opinion held by a human, which would be "fuzzy." Being fuzzy or not fuzzy, therefore, has to do with the degree of precision of a system analysis rule. A system analysis rule need not be based on human fuzzy perception. For example, you could have a rule, "If the boiler pressure rises to a danger point of 600 P as measured by a pressure transducer, then turn everything off. That rule is not "fuzzy".

Principle of Incompatibility (previously stated; repeated here) .

As the complexity of a system increases, it becomes more difficult and eventually impossible to make a precise statement about its behavior, eventually arriving at a point of complexity where the fuzzy logic method born in humans is the only way to get at the problem.

Fuzzy Sets - A fuzzy set is almost any condition for which we have words: short men, tall women, hot, cold, new buildings, accelerator setting, ripe bananas, high intelligence, speed, weight, spongy, etc., where the condition can be given a value between 0 and 1. Example: A woman is 6 feet, 3 inches tall. In my experience, I think she is one of the tallest women I have ever met, so I rate her height at .98. This line of reasoning can go on indefinitely rating a great number of things between 0 and 1.

In fuzzy logic method control systems, degree of membership is used in the following way. A measurement of speed, for example, might be found to have a degree

of membership in "too fast of" .6 and a degree of membership in "no change needed" of .2. The system program would then calculate the center of mass between "too fast" and "no change needed" to determine feedback action to send to the input of the control system. This is discussed in more detail in subsequent chapters. Summarizing Information - Human processing of information is not based on two-valued, off-on, either-or logic. It is based on fuzzy perceptions, fuzzy truths, fuzzy inferences, etc., all resulting in an averaged, summarized, normalized output, which is given by the human a precise number or decision value which he or she verbalizes, writes down or acts on. It is the goal of fuzzy logic control systems to also do this.

The input may be large masses of data, but humans can handle it. The ability to manipulate fuzzy sets and the subsequent summarizing capability to arrive at an output we can act on is one of the greatest assets of the human brain. This characteristic is the big difference between humans and digital computers. Emulating this human ability is the challenge facing those who would create computer based artificial intelligence. It is proving very, very difficult to program a computer to have human-like intelligence.

Fuzzy Variable - Words like red, blue, etc., are fuzzy and can have many shades and tints. They are just human opinions, not based on precise measurement in angstroms. These words are fuzzy variables.

If, for example, speed of a system is the attribute being evaluated by fuzzy, "fuzzy" rules, then "speed" is a fuzzy variable.

Linguistic Variable - Linguistic means relating to language, in our case plain language words.

Speed is a fuzzy variable. Accelerator setting is a fuzzy variable. Examples of linguistic variables are: somewhat fast speed, very high speed, real slow speed, excessively high accelerator setting, accelerator setting about right, etc. A fuzzy variable becomes a linguistic variable when we modify it with descriptive words, such as somewhat fast, very high, real slow, etc. The main function of linguistic variables is to provide a means of working with the complex systems mentioned above as being too complex to handle by conventional mathematics and engineering formulas. Linguistic variables appear in control systems with feedback loop control and can be related to each other with conditional, "if-then" statements. Example: If the speed is too fast, then back off on the high accelerator setting.

Universe of Discourse - Let us make women the object of our consideration. All the women everywhere would be the universe of women. If we choose to discourse about (talk about) women, then all the women everywhere would be our Universe of Discourse. Universe of Discourse then, is a way to say all the objects in the universe of a particular kind, usually designated by one word, that we happen to be talking about or working with in a fuzzy logic solution. A Universe of Discourse is made up of fuzzy

sets. Example: The Universe of Discourse of women is made up of professional women, tall women, Asian women, short women, beautiful women, and on and on.

The World's First Fuzzy Logic Controller, In England in 1973 at the University of London, a professor and student were trying to stabilize the speed of a small steam engine the student had built. They had a lot going for them, sophisticated equipment like a PDP-8 minicomputer and conventional digital control equipment. But, they could not control the engine as well as they wanted. Engine speed would either overshoot the target speed and arrive at the target speed after a series of oscillations, or the speed control would be too sluggish, taking too long for the speed to arrive at the desired setting,

The professor, E. Mamdani, had read of a control method proposed by Dr. Lotfi Zadeh, head of the electrical engineering department at the University of California at Berkeley, in the United States. Dr. Zadeh is the originator of the designation "fuzzy", which everyone suspects was selected to throw a little "pie in the face" of his more orthodox engineering colleagues, some of whom strongly opposed the fuzzy logic concept under any name.

Professor Mamdani and the student, S. Assilian, decided to give fuzzy logic a try. They spent a weekend setting their steam engine up with the world's first ever fuzzy logic control system ..... and went directly into the history books by harnessing the power of a force in use by humans for 3 million years, but never before defined and used for the control of machines. The controller worked right away, and worked better than anything they had done with any other method. The steam engine speed control graph using the fuzzy logic controller appeared .

As you can see, the speed approached the desired value very quickly, did not overshoot and remained stable. It was an exciting and important moment in the history of scientific development. The Mamdani project made use of four inputs: boiler pressure error (how many temperature degrees away from the set point), rate of change of boiler pressure error, engine speed error and rate of change of engine speed error. There were two outputs: control of heat to the boiler and control of the throttle. They operated independently.

A fuzzy logic system does not have to include a continuous feedback control loop as in the above described Mamdani system in order to be a fuzzy-logic system, an impression you might receive from reading much of the fuzzy logic literature. There could be continuous feedback loop control, a combination of feedback loop control and on-off control or on-off control alone. A fuzzy logic control system could be as simple as: "If the motor temperature feels like it is too hot, turn the motor off and leave it off." Or, "If the company's president and all the directors just sold every share of stock they own, then WE sell!"

A fuzzy logic system does not have to be directed toward electro-mechanical systems. The fuzzy logic system could be, for example, to provide buy-sell decisions to trade 30 million US dollars against the Japanese yen. Fuzzy logic controllers can control solenoids, stepper motors, linear positioners, etc., as well as, or concurrently with, continuous feedback control loops. Where there is continuous feedback control of a control loop, the response for varying degrees of error can be non-linear, tailoring the response to meet unique or experience determined system requirements, even anomalies.

Controllers typically have several inputs and outputs. The handling of various tasks, such as monitoring and commanding a control loop and monitoring various inputs, with commands issued as appropriate, would all be sequenced in the computer program. The program would step from one task to the other, the program receiving inputs from and sending commands to the converter/controller. Inputs for a fuzzy logic controlled mechanical/physical system could be derived from any of thousands of real world, physical sensors/transducers. The Thomas Register has over 110 pages of these devices. Inputs for financial trading could come from personal assessments or from an ASCII data communication feed provided by a financial markets quote service.

Progress in Fuzzy Logic, From a slow beginning, fuzzy logic grew in applications and importance, until now it is a significant concept worldwide. Intelligent beings on the other side of our galaxy and throughout the universe have probably noted and defined the concept. Personal computer based fuzzy logic control is pretty amazing. It lets novices build control systems that work in places where even the best mathematicians and engineers, using conventional approaches to control, cannot define and solve the problem. A control system is an electronic or mechanical system that causes the output of the controlled system to automatically remain at some desired output (the "set point") set by the operator. The thermostat on your air conditioner is a control system. Your car's cruise control is a control system. Control may be an on-off signal or a continuous feedback loop.

In Japan, a professor built a fuzzy logic control system that will fly a helicopter with one of the rotor blades off! Human helicopter pilots cannot do that. And, the Japanese went further and built a fuzzy logic controlled subway that is as smooth as walking in your living room. You do not have to hang on to a strap to keep your balance. If you did not look out the window at things flashing by, you would hardly know you had started and were in motion.

In the United States, fuzzy logic control is gaining popularity, but is not as widely used as in Japan, where it is a multi-million dollar industry. Japan sells fuzzy logic controlled cameras, washing machines and more. One Internet search engine returns over 16,000 pages when you search on "fuzzy-logic". Personal computer based fuzzy

logic control follows the pattern of human "fuzzy" activity. However, humans usually receive, process and act on more inputs than the typical computer based fuzzy logic controller. (This is not necessarily so; a computer based fuzzy logic control system in Japan trades in the financial markets and utilizes 800 inputs.)

Fuzzy Logic Control Input - Human and Computer, Computer based fuzzy logic machine control is like human fuzzy logic control, but there is a difference when the nature of the computer's input is considered. Humans evaluate input from their surroundings in a fuzzy manner, whereas machines/computers obtain precise appearing values, such as 112 degrees F, obtained with a transducer and an analog to digital converter. The computer input would be the computer measuring, let's say, 112 degrees F. The human input would be a fuzzy feeling of being too warm. The human says, "The shower water is too hot." The computer as a result of analog input measurement says, "The shower water is 112 degrees F and 'If-Then' statements in my program tell me the water is too warm." A human says, "I see two tall people and one short one." The computer says, "I measure two people, 6' 6" and 6' 9", respectively, and one person 5' 1" tall, and 'If-Then' statements in my program tell me there are two tall people and one short person."

Even though transducer derived, measured inputs for computers appear to be more precise, from the point of input forward we still use them in a fuzzy logic method approach that follows our fuzzy, human approach to control. For a human, if the shower water gets too warm, the valve handle is turned to make the temperature go down a little. For a computer, an "If-Then" statement in the program would initiate the lowering of temperature based on a human provided "If-Then" rule, with a command output operating a valve. To create a personal computer based fuzzy logic control system, we:

(1) Determine the inputs.

(2) Describe the cause and effect action of the system with "fuzzy rules" stated in plain English words.

(3) Write a computer program to act on the inputs and determine the output, considering each input separately. The rules become "If-Then" statements in the program. (As will be seen below, where feedback loop control is involved, use of graphical triangles can help visualize and compute this input-output action.)

(4) In the program, use a weighted average to merge the various actions called for by the individual inputs into one crisp output acting on the controlled system. (In the event there is only one output, then merging is not necessary, only scaling the output as needed.)

The fuzzy logic approach makes it easier to conceptualize and implement control systems. The process is reduced to a set of visualizable steps. This is a very important point. Actually implementing a control system, even a simple control system, is more



difficult than it appears. Unexpected aberrations and physical anomalies inevitably occur. Getting the process working correctly ends up being a "cut and try" effort.

Experienced, professional digital control engineers using conventional control might know how to proceed to fine tune a system. But, it can be difficult for us just plain folks. Fuzzy logic control makes it easier to visualize and set up a system and proceed through the cut and try process. It is only necessary to change a few plain English rules resulting in changing a few numbers in the program. In reading about fuzzy logic control applications in industry, one of the significant points that stands out is: fuzzy logic is used because it shortens the time for engineering development. Fuzzy logic enables engineers to configure systems quickly without extensive experimentation and to make use of information from expert human operators who have been performing the task manually. Perhaps your control need is something a lot more down to earth than flying helicopters or running subways. Maybe all you want to do is keep your small business sawmill running smoothly, with the wood changing and the blade sharpness changing. Or, perhaps you operate a natural gas compressor for some stripper wells that are always coming on and going off, and you need to have the compressor automatically adjust in order to stay on line and keep the suction pressure low to get optimum production. Perhaps you dream of a race car that would automatically adjust to changing conditions, the setup remaining optimum as effectively as the above mentioned helicopter adjusts to being without a rotor blade.

There are a million stories, and we cannot guess what yours is, but chances are, if there is something you want to control, and you are not an experienced, full time, professional control engineer financed by a multi-million dollar corporation, then fuzzy logic may be for you. If you are all those things, it still may be for you. Some of the greatest minds in the technical world try to explain to others why fuzzy logic works, for us just plain folks, the fact is fuzzy logic does work, seems to work better than many expensive and complicated systems and is understandable and affordable.

## 模糊逻辑

欢迎进入模糊逻辑的精彩世界，你可以用新科学有力地实现一些东西。在你的技术与管理技能的领域中，增加了基于模糊逻辑分析和控制的能力，你就可以实现除此之外的其他人与物无法做到的事情。

以下就是模糊逻辑的基础知识：随着系统复杂性的增加，对系统精确的阐述变得越来越难，最终变得无法阐述。于是，终于到达了一个只有靠人类发明的模糊逻辑才能解决的复杂程度。模糊逻辑用于系统的分析和控制设计，因为它可以缩短工程发展的时间；有时，在一些高度复杂的系统中，这是唯一可以解决问题的方法。虽然，我们经常认为控制是和控制一个物理系统有关系的，但是，扎德博士最初设计这个概念的时候本意并非如此。实际上，模糊逻辑适用于生物，经济，市场营销和其他大而复杂的系统。

模糊这个词最早出现在扎德博士于 1962 年在一个工程学权威刊物上发表论文中。1963 年，扎德博士成为加州大学伯克利分校电气工程学院院长。那就意味着达到了电气工程领域的顶尖。扎德博士认为模糊控制是那时的热点，不是以后的热点，更不应该受到轻视。目前已经有了成千上万基于模糊逻辑的产品，从聚焦照相机到可以根据衣服脏度自我控制洗涤方式的洗衣机等。如果你在美国，你会很容易找到基于模糊的系统。想一想，当通用汽车告诉大众，她生产的汽车其反刹车是根据模糊逻辑而造成时，那会对其销售造成多么大的影响。

以下的章节包括：

(1) 介绍处于商业等各个领域的人们他们如果从模糊逻辑演变而来的利益中得到好处，以及帮助大家理解模糊逻辑是怎么工作的。

(2) 提供模糊逻辑是怎么工作的一种指导，只有人们知道了这一点，才能运用它用于做一些对自己有利的东西。

这本书就是一个指导，因此尽管你不是电气领域的专家，你也可以运用模糊逻辑。需要指出的是有一些针对模糊逻辑的相反观点和批评。一个人应该学会观察反面的各个观点，从而得出自己的观点。我个人认为，身为被表扬以及因写关于模糊逻辑论文而受到赞赏的作者，他会认为，在这个领域中的这种批评有点过激。但是，请不要总相信我的观点。你应该耳听四方，然后做出自己的看法。

这一本书还未正式出版，如此“正直的简单人们”能充分地了解模糊逻辑的观念并且利用它，或至少决定如果他们需要深深地深入在主题上存在的博士水平文学的很不错的主题。这一本书是引导者，因此，你能对模糊逻辑做某事，即使你不是一个专攻领域或一个先进的数传系统电子学工程师的博士。我们应该被注意有论争和关于模糊逻辑的批评。一定要读争论的各种不同立场并且达成他们自己的结论。亲自地，为他的关于模糊逻辑的写作，两者都已经被称赞而且辱骂，感觉批评家是太硬的在他们的宇宙把握中并且“不应该那么做的”。但是，为它大家可以不用在意我所说的话。你一定看所有的立场而且组成你自己的思想。段

落直接地在下面在一些短字中说,“什么是模糊逻辑”。但是,我们看看这一本书的余下部分和其他的相关文章,相信会对我们进一步理解模糊逻辑有所帮助。

假设你开着车行驶在传统的双向道,6个车道的公路上,交通灯之间距离是1公里。车速限制在45M之内,而最好的速度应该在48M。你如何定义“遵守交通规则”呢?很难!但是,这却是人类经常要做并且做的很好的事情。将会有一些车手的车速总是在48M前后,也有一些人的车速总是定在45M。实际上,大部分的人会将车速控制在48M,他们用的就是模糊推理。在交通中还存在着一系列此类的案例。

你在城镇中驾驶车辆的这个模糊推理能力,也曾被我们的祖先用于获得食物,衣服,骨具等。

人类和外界的物理世界相接触的时候,有能力吸纳和分清从物理世界中得到的信息。并且综合它们而得到最好的行为方式。所有的动物都会这么做,只不过,人类做的比较好,因此他成为了地球的主宰者。

你想一想,我们摄入的大部分信息都是不精确的。比如:汽车的冲刺速度。我们将这称为模糊输入;但是也有一些是很合理的,精确的输入,比如:你的阅读速度。我们称为模糊处理。模糊学理论家就会建议运用所谓的模糊推理。

模糊逻辑是人脑工作的方式。我们可以将这移植到机器身上,所以,有时,机器具有了人脑的相似思维。模糊逻辑和分析系统可以使自然界中的电气自动化。比如经济数据等内,人类语言中总是含有:“如果-那么”的规则。

模糊逻辑分析和控制的过程是:

(1) 接受一个或者多个我们希望去分析的数据量或者其他的变量。

(2) 综合传统的非模糊系统,用简便的“如果-那么”模式来表示,并将要处理的量进行处理。

(3) 从由不同规则里得到的输出结果中进行平衡。得出的结果要求芯片如果工作。最后得到的就是一个不再是模糊而是精确的量。

模糊就是一种用于估算无法精确测量的系统的概念。事实上,在宇宙中,人们评估任何事情都存在一定的模糊。不论你对某工具的测量是多么的精确,模糊概念始终是模糊逻辑中模糊分析和控制的基础。

对模糊逻辑系统来说,可测量的,非模糊的输入数据是最主要的。例如:温度传感器检测到的温度,经济数据。人类进行模糊控制的时候,应该将模糊转化成为计算机可以识别的信号。我们将它的值域定在0到1之间。比如,房屋内部的温度是多少,人们可能定在0.2,如果温度处于零下,那么可能定为0.9甚至1。你可以看出来,这些就是模糊概念。通过模糊评估,值域定在0到1之间。这就给我们进行模糊推理提供了一种规则,这样,我们就可以完成控制工程。

诺瓦瓷利用运用模糊逻辑的电脑就可以打败数学家们靠公式和传统编程的控制器。模糊逻辑利用人们的一般思维;这种一般思维对一个新的系统来说合情合理,并且对一个曾有人控制的系统来说,它又能显示出很有经验。这里有一个将人类的一般思维运用到一个控制系统的例子。元件产品的难度远远超出了你的

想象。最后，他们将人类的大量经验通过“如果-那么”的规则输入机器中。

模糊逻辑分析和控制的部件包括：物理控制，比如机器速度或者操作一个元件；经济和财政决策；心理情景；安全状态以及其他一些改善产品的众多例子。

这本书要探讨的是模糊逻辑在控制机器，经济决策等方面的应用。看起来，当初，扎德博士发明模糊逻辑时，想将它运用到经济，政治等各个方面。

如果没有个人电脑，就很难将模糊逻辑运用于控制机器和其他一些地方。没有了个人电脑的速度，就很难运用人力控制机器以及具有足够的持久力去控制机器。你用一台内含模糊逻辑的 BASIC 或者 C++ 的个人电脑比用一台其他的电脑更节省钱。编程逻辑控制器拥有了自己的地方，他们简单，可靠，并且维持着美国工业的运转。

对于一个更为复杂的系统，最好的方法就是用电脑和模糊逻辑将系统组合，尤其当一个非专业人士来主持重大工程项目的时候。

这是地球上智能生命里的一个里程碑：

在宇宙任何地方出现的智能生命，都可能应用到模糊逻辑。它是一个广泛的规则和概念。我们开始认识到在智能化的进程中，定义和应用模糊逻辑是一个重要的阶段。在地球上，我们只是刚刚到达那个时刻，你需要知道并开始应用模糊逻辑。

至今的争论并没有使我们适应和理解模糊逻辑的大部分书籍和论文。因为，那些作者大多是圆滑老练的。以下是一些可以帮助我们理解的解释性语言。这些最早是由扎德博士发明模糊逻辑的时候建立的。

模糊—系统分析可以精确区分的模糊的程度。在这里我们不能称之为模糊，因为是基于一个人的观点的。因此，模糊还是不模糊就和系统分析精确的程度有关。一个系统分析规则的精确与一个人的模糊意念不相干。不如你有一个这样的规则：如果气压上升到 600P，那么关掉一切设备。这个规则就不是模糊的。

随着系统复杂性的增加，对系统精确的阐述变得越来越难，最终变得无法阐述。于是，终于到达了一个只有靠人类发明的模糊逻辑才能解决的复杂程度。

模糊集合—模糊集合几乎存在于任何场合，比如：高的，矮的，速度快，慢等。我们给它们定了一个从 0 到 1 的值域。例如，我遇到了一个 6 尺 3 寸的人，我认为他是我见过的最高的人了。于是，我将值定位在 0.98。

在一个模糊控制系统中，模糊集是以下列方法进行的。以测量速度来作为例子。系统编程便会在“太快”和“无须改变”之间选择，最终进行反馈并将数据输入系统当中。这样的情况我们在以下的章节中将会有进一步的谈讨。

摘要信息—人们处理信息不是基于开关的两个端点，而是基于模糊概念的。所有的输入最后处理得到精确的数值输出，这些可以指导人们进行行动。模糊逻辑控制系统的目的也是在此。

输入的数据可能是极大的，但是人们可以处理它。操纵这些并最终变成人们可以执行的输出是人类大脑的特有功能。这是人类和电脑之间存在的一个重要特性。人们创造基于人工智能的电脑来挑战人类的这种能力，但是很难建造一种这

样的电脑。

模糊多样化—一些概念如红色等，都是模糊的，他们都是基于人类概念的，而不是精确的。这些词就具有模糊多样化。

语言多样化—这些语言和我们平常用的语言有关联。

速度是一种模糊多样化。模糊多样化变成语言多样化，这是当我们应用语言去描述它的时候。比如：非常快，极慢等。语言多样化最主要的功能就是，它可以处理那些靠公式等难以处理的复杂系统。语言多样化在控制系统中带有反馈的功能以及和其他的状态相联系。比如：速度太快，则关掉加速器。

讨论范围—拿女人当例子，如果我们谈到女人，那么各个地方的女人都成了我们谈论的对象。讨论范围是一种将同类的物质组合在一起的概念。它是由模糊集合组成的。比如：女人的讨论范围是由专业女士，高的女人等组成的。

世界上的第一个模糊逻辑控制器。

1973年，英国伦敦大学的师生正试图稳定一个先前制造的流动动力机，虽然，他们拥有各种不同的先进物质，但是却无法按照自己的意愿来控制动力机。它的速度不是太快，就是太慢，无法与其他器件相配套。玛达尼教授读了一篇扎德博士写的文章，扎德博士是加州大学伯克利分校电气工程学院院长。那就意味着达到了电气工程领域的顶尖。他是模糊方面的权威，但是当时有一些人以不同名义反对模糊概念。玛达尼教授和他的学生决定用模糊逻辑来试一试。在周末，他们给自己的流动动力机安装了世界上第一个模糊系统。并且载入了历史。这个模糊控制器运行的相当好，比以往他们用过的各个方案都要好。流动动力机运行的速度控制的很好。正如你想的那样，它运行的不错，总是可以定在某个区域，不会抖动并且总处于稳定。这是科学发展历史上一个令人兴奋并且重要的时刻。

玛达尼教授的模糊控制系统有四个输入：温度检测偏差纠正，速度，气压等的纠正等。并且，这个系统有两个输出。他们是独立工作的。

要想制造一个模糊系统，我们无须上述玛达尼教授的模糊控制系统中的持续反馈系统。你能从模糊逻辑文章中得到不少深刻的印象。一个模糊逻辑控制系统应该简单成“如果摩托车的缸体温度有点太高，那么就应该关掉热源如发动机等。”或者“公司的老总和其他高层人士正在出售公司的股票，那么我们也应该尽快卖掉”。

模糊逻辑系统无须变成一个电子机械系统。比如，模糊逻辑系统可以用于3千万美元和日元的兑换决策。模糊逻辑控制器可以控制摩托车和其他的一些东西并进行持续的反馈控制。

控制器典型的有多输入和多输出。在计算机中输入了各个适当的程序，那么模糊逻辑控制器就可以进行监测和控制各种输入。程序可以从一个任务跳转到另外一个任务，程序获得数据输入并且向命令控制器发出指令。

向模糊逻辑控制系统输入的各种输入数据是由现实世界中得来的。向财政交易系统输入的也是从人们的评估中得到的。

模糊逻辑的进步，从一开始，模糊系统就是在不断应用和重要性中发展起来

的,现在,这已经是应用广泛的概念。基于模糊逻辑的个人电脑是很迷人的。用从前的传统方法是无法定义和解决这些问题的。

一个系统是一个电子和机械的系统,它能使被控制系统的输出能够自动地停留在操作者所预定的位置上。在你空调里面的温度检测器是一个控制系统。你车上的线路控制是一个控制系统。控制可能是间断的信号或者是持续的控制流。在日本,一个教授创立了一个可以控制直升飞机的模糊逻辑控制系统。而这是人类直升飞机飞行员无法作到的。并且日本在这方面研究深入,建立了一个舒适的就像卧室里面通道一样的地铁。

在美国,模糊逻辑控制正在得到名声,但是不是同样地广泛地使用,像在日本一样。日本卖被控制的照相机,洗衣机和更多的模糊逻辑。一个英特网搜寻引擎归还超过 16,000 页,当你搜寻的时候在模糊+逻辑。被建立控制跟随人类"模糊"的式样活动的模糊逻辑的个人计算机。然而,人类通常接受,处理而且有所反应较多的输入超过被建立模糊逻辑控制器的典型计算机。(这是不一定如此;一部在日本被建立模糊逻辑控制系统的计算机在财政的市场中交易并且利用 800 输入)。模糊逻辑控制输入-人类和被建立模糊逻辑机器控制的计算机,计算机像人类的模糊逻辑控制,但是当计算机的输入性质被考虑的时候有一种不同的特性。人类以模糊样子评估来自他们的环境输入,然而机器/ 计算机获得像 112 度 F 这样的精确价值,以对数转换器器的一个转换器和一个类比获得。计算机输入会是计算机测定,让我们说,112 度 F。人类的输入会是太温暖的模糊感觉。人类的发言权:雨水太热。计算机类比输入测量的结果说,雨水是我的计划 112 度和“如果 - 然后”陈述告诉我水太温暖。一个人类的发言权:我见到二个高的人和一个短的。计算机说:我测量二个人,6'6" 和 6'9",分别比一个人 5'1" 高和如果-然后我的计划陈述告诉我有二个高的人和一个矮人。

即使测量了输入因为计算机变得更精确,转换器源自输入的点向前地我们仍然在模糊逻辑方法方式中使用他们追从我们的模糊,人类接近控制。对于一个人,如果阵雨水太温暖,那么就准备稍微使温度下降下去。对于一部计算机,"如果 - 然后"计划的陈述会开始以一个被提供的人类为基础的温度降低人“如果-然后”规则,藉由操作一个活瓣的指令输出。

为了要产生一部被建立模糊逻辑控制系统的个人计算机,我们:

- (1) 决定输入。
- (2) 用“描述因素和效果系统的行动模糊规则”在简单的英文字中陈述。
- (3) 写一个电脑程式给对输入有所反应而且决定输出,分开的考虑每个输入。规则变成“如果-然后”计划的陈述。(当将会在下面被见到之时,回应使控制成环哪里被牵涉,图解式三角形的使用能帮助看得见而且计算这个输入- 输出的行动)。
- (4) 在计划中,使用被重量的平均合并进入不同的输出在受约束的系统方面的演戏之内被个别的输入要求的各种不同的行动(在事件中只有输出,然后合并并不是必需的,当作需要的唯一计数输出)。

模糊逻辑方式概念化并实现控制系统是比较容易。程序被转为一系列 visualizable 步骤。这是非常重要的一点。实际上实现一个控制系统, 甚至一个简单的控制系统, 出现也很困难。料想不到的越轨和实际的反常事物不可避免发生。得到正确地工作的程序最后作为一个削减和尝试努力。

在工业中读关于模糊逻辑控制应用的有关方面, 突出的重要点之一是: 因为它弄短工程发展的时间, 所以模糊逻辑被用。模糊逻辑使工程师能够不需要广泛的实验就很快地配置系统并且利用来自用手已经表演工作的专家人类的操作员的数据。也许超过飞的直升飞机或流动的地下铁更下来对地球你的控制需要是某事很多。也许全部你想要做是生计你的平滑地跑的小生意锯木厂, 藉由木材变更和变更的刀锋锐利。也许你操作一个天然气压缩物, 因为一些工具总是涌出那受到在之上的影响而且爆炸, 而且你需要有压缩物自动地为了要低下地停留在线上而且保存吸强迫拿最适宜的制造, 调整。也许你梦到一辆会自动地调整的比赛汽车到变更情况, 像上述的直升飞机对没有转子刀锋的存在调整一样的有效地的保持最适宜的装备。

那有一个百万个故事, 而且我们不能够猜测什么是你的故事, 但是机会是, 如果那里是某种你想要控制的, 而且你不是富有经验的专业人士和有数百万元供给经费的公司工程师, 然后模糊逻辑可能为你做到那些。如果你真的处于这种情况, 它仍然可能适用于你。在技术的世界中一些最好的思想家试着解释模糊逻辑为什么工作。对我们这些平常的人, 事实是模糊逻辑确实工作, 似乎更有效率于许多贵的和复杂的系统并且是可以理解的和能负担的。