

【文章编号】1672-5328(2005)01-0075-04

# 交通信号配时脱机优化和实时评价系统

冯宣东

(南京市公安局交通管理科学与技术研究所, 南京 210001)

**【摘要】** 使用脱机信号配时方案是目前常用的交通信号控制方法, 信号相位之间“绿冲突”检验是配时方案的安全保证。通过引入“间隔矩阵法”的概念, 详细阐述了一个在计算机中易于实现的“绿冲突”检验算法以及使用该方法开发的交通信号脱机配时系统; 介绍了“跟车法”计算机辅助调查系统, 用于收集配时参数、检测和评价信号配时效果, 为交通工程师设计、评价和优化信号配时提供了一个简单和实用的方法。

**【关键词】** 相位; 间隔矩阵; 信号配时; 绿波; 跟车法

**【中图分类号】** U491.5 **【文献标识码】** A

## Off-line Optimization and On-line Evaluation System of Signal Timing Plans

FENG Xuandong

(Nanjing Research Institute of Public Security Traffic Science & Technology, Nanjing 210001, China)

**Abstract:** Off-line signal timing plans is one of the most common traffic signal control plans currently. And the Green Conflict testing between two phases is the safe guarantee of the timing plans. This paper firstly introduces the concept of interim matrix to describe an easy executable way of Green Conflict testing and its application in signal timing software. Secondly, it also introduces a way of on-line speed survey method called Car Following Method(CFM) to collect timing parameter and evaluate the effect of timing plans. The paper offers a simple and applied method for traffic engineer to design, evaluate and optimize signal timing plans.

**Keywords:** phase; interim matrix; signal timing plan; green-wave; car following method

交通信号控制是城市交通管理的重要内容。目前, 定时控制仍是采用较多的控制方式, 主要用于单点和干路交通信号协调控制(绿波)。其中, 相位之间“绿冲突”检验和双向绿波方案调整是交通信号配时系统的重要内容。在各种“绿冲突”检验中, “间隔矩阵法”是一个简便而实用的检测模型。运用这个模型开发的系统被称为交通信号脱机配时计算机辅助设计系统<sup>[1]</sup>, 以下称配时系统。通常, 设计一个好的交通信号配时方案还需要进行大量交通调查工作, 以建立配时方案参数和调整信号配时。在南京交通管理工作中, 使用“跟车法”计算机辅助调查系统对道路

上的车辆运行状态进行调查。调查数据包括交叉口之间车辆行驶速度、路段平均速度、交叉口停车延误、排队长度等等, 这些数据为优化交叉口信号控制提供了依据。

## 1 单点信号配时

### 1.1 信号相位

相位是信号配时方案的基本元素。在配时系统中存有一个基本相位表, 它包括如下信息:

收稿日期: 2004-04-29

作者简介: 冯宣东(1959—), 女, 南京市公安局交通管理科学与技术研究所, 工程师。E-mail: feng\_xd@sohu.com

- 1) 相位名称 由机动车相位、自行车相位和行人相位组成。例如：A、B、C、D分别与东、西、南、北直行相位对应；AL、BL、CL、DL与东、西、南、北左转相位对应；东、西行人相位被定义为E；南、北行人相位被定义为F；
- 2) 黄灯时间 绿灯结束至红灯开始的间隔时间；
- 3) 红黄时间 红灯结束至绿灯开始的间隔时间。

1.2 间隔矩阵

“绿冲突”是指信号控制路口不同交通流在各自绿灯放行期间产生的交通冲突，通常是由于相位绿信号之间间隔不够产生的。交通流的“绿冲突”将给交叉口带来安全隐患，因此，检验“绿冲突”是信号配时的安全保证。配时系统采用了德国交通信号设计规范中“间隔时间”的定义： $t_z = t_0 + t_i - t_c$ ，其中， $t_z$  (Zwischenzeit)为间隔时间； $t_0$  (ü berfahrzeit)是与通过速度有关的量； $t_i$  (Einfahrzeit)是离开冲突点所需要的时间； $t_c$ 是到达冲突点所需要的时间。

根据上述公式，定义由n个相位组成的间隔矩阵为  $n \times n$  矩阵Z，n是已设信号相位的总数， $Z_{(i, j)} = T_v + T_{r(i)} - T_{e(j)}$  ( $Z_{(i, j)} > 0, i \neq j$ )，其中， $T_v$ 是和速度有关的常量； $T_{r(i)}$ 是i相位离开冲突点所需要的时间。

在表1中， $Z_{(C, A)}$ 表示C相位(南直行)与A相位(西直行)的间隔时间，其长度计算过程为：先根据设计车速，计算A相位车辆从停车线 $S_a$ 开始直到驶离冲突点 $K_1$ 的行驶时间为8 s；再计算C相位车辆从停车线 $S_b$ 开始直到驶入冲突点 $K_1$ 的行驶时间，为5 s，则 $Z_{(C, A)} = 5$  s，见图1。

1.3 信号配时检验

配时系统提供数字和图形两种编辑方式调整相位绿信号时间，并进行“绿冲突”检验。检验的方法是将两相位各自的绿信号时间与间隔矩阵数据进行对比。检验算法被称为绿头绿尾检验法<sup>[2]</sup>。

1) 绿头检验法

当给出第x相位的放行时间后，计算机将检查矩阵元素 $Z(x, 1)$ 到 $Z(x, n)$ 所有不为0的相关相位的绿灯时间，即检查矩阵中第x行数据。例如，A相位绿灯时间为第12 s至52 s，CL相位绿灯时间为第57 s至87 s，如果现在调整CL的放行时间为50 s至65 s，表1中 $Z_{(CL, A)} = 5$  s。即A腾空，CL进入需要5 s的安全时间。而现在A相位绿灯结束时间是周期的第52 s，显

然与CL相位绿头有“绿冲突”。调整后的相位放行时间为：A相位绿灯被系统修改为第12 s至第45 s；CL绿灯为第50 s至第65 s。

2) 绿尾检验法

与绿头检验法相似，绿尾是检查矩阵中第x列数据，即 $Z(1, x)$ 到 $Z(n, x)$ 所有不为0的相关相位的绿灯时间。例如，CL相位绿灯为第12 s至52 s，A相位绿灯为第56 s至87 s。如果现在调整CL的放行时间为20 s至60 s。系统检验出 $Z_{(A, CL)} = 4$  s。即CL腾空，A进入需要4 s安全时间。所以调整后的相位放行时间为：CL绿灯为第20 s至60 s，A绿灯时间被系统修改为第64 s至87 s。

2 绿波方案设计

2.1 子区

配时系统将绿波方案所包含的相关节点的集合称为1个子区。如果一条道路有5个交叉口，子区数据就包括5个路口的信号配时数据。例如，一条东西方向道路的子区数据包括：

- 1) i号路口的A相位停车线到i+1号路口的A相位

表1 间隔矩阵  
Tab.1 Interim matrix

	A	C	AL	CL	E1	F1
A		5	5	4	20	
C	5		4	5		20
AL	4	5		7	20	
CL	5	4	7			20
E1	5		3			
F1		5		3		

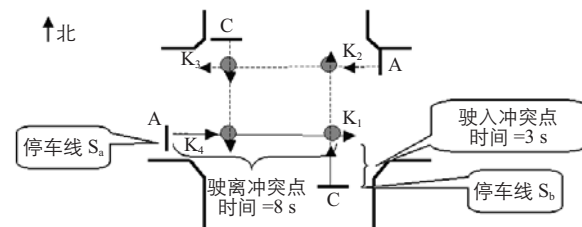


图1 计算间隔过程示意图

Fig.1 The process of computing the interim

停车线距离, 定义为  $AA$ ;

2)  $i$ 号路口的B相位停车线到 $i+1$ 号路口的B相位停车线距离, 定义为  $BB$ ;

3)  $i$ 号路口的A相位停车线到B相位停车线距离, 定义为  $AB$ 。

## 2.2 时距图

配时系统根据前面所述单个交叉口相位表、间隔矩阵、信号配时和子区数据绘制子区双向时距图, 以便于交通工程师在计算机上调整双向绿波。每一次对路口的调整, 都影响绿波带宽和相位差, 而绿波带宽的变化将导致相应相位之间的“绿冲突”。因此, 配时系统根据该路口的间隔矩阵自动进行一次绿头和绿尾检验, 以保证该交叉口调整后没有信号冲突。

## 3 配时系统软件功能

配时系统参考了德国交通信号设施规范中相位的定义、配时方案描述、间隔矩阵的定义等。系统开发于1992年<sup>[1]</sup>, 软件系统运行环境为Dos/Windows/Macintosh, 其运行程序大小为34 K, 在True Basic环境下运行。配时系统软件功能示意图2。

## 4 “跟车法”计算机辅助调查系统

“跟车法”是区间(路段)车速观测的一种方法<sup>[3]</sup>。根据此原理开发的“跟车法”计算机辅助调查系统, 借助一个车辆传感器收集车辆运

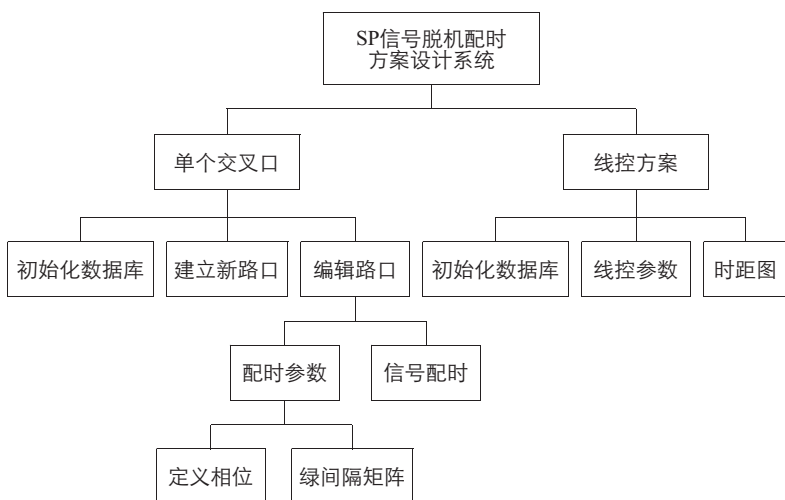


图2 配时系统软件功能示意图

Fig.2 Software structure block diagram

行数据, 并传送到计算机, 调查者在计算机上对车辆运行状态进行区分, 计算机系统再对数据进行存储、计算、分类和统计, 从而得到各种调查数据<sup>[4]</sup>。

### 4.1 系统工作原理

“跟车法”计算机辅助调查系统使用车辆传感器检测车辆的启动和停止信号, 并不断发送车轮转动的脉冲信号, 其工作原理与出租车计价器相似。传感器通过一个并行接口将数据发送到计算机中, 计算机通过预先给定的车轮直径计算行走的距离  $d = \pi \varphi p$ , 式中,  $d$ 为车辆行驶距离,  $\varphi$ 为车轮直径,  $p$ 为车轮转动脉冲数<sup>[5]</sup>。

在车辆行驶中, 如果车辆传感器在一段时间内未发出车轮转动的脉冲信号, 系统判断为停车信号, 并自动弹出一个人机对话框, 这时需要人工干预, 输入停车原因。系统提供两种选择: 一是路口等红灯, 定义为正常停车; 二是其他干扰, 定义为非正常停车。如果车辆在两个交叉口间的行驶时间分为  $n$  段, 用  $t_1(i)$  表示第  $i$  次行车时间, 则合计行车时间为  $\sum_{i=1}^n t_1(i)$ 。设车辆在两个交叉口间共停车  $m$  次, 用  $t_2(j)$  表示第  $j$  次停车时间, 则合计停车时间为  $\sum_{j=1}^m t_2(j)$ 。车辆行驶在两个交叉口间路段的行驶车速

$$v = d / \sum_{i=1}^n t_1(i),$$

行程车速

$$\bar{v} = d / \left( \sum_{i=1}^n t_1(i) + \sum_{j=1}^m t_2(j) \right),$$

式中,  $d$ 为两个交叉口间的距离。

表2和表3是2003年9月15日使用该系对南京市龙蟠中路调查的

表2 路段行车状况统计表  
Tab.2 Statistic of road section speed

开始时间	路段号	旅行时间 / s	行程车速 / (km/h)	行驶车速 / (km/h)	旅行距离 / km	停车次数 / 次	停车延误 / s	排队长度 / m
15:20:55	枫丹白鹭	66	38.37	38.37	0.70	0	0	0
15:22:01	大中桥	274	7.39	22.26	0.56	4	183	201
15:26:35	常府街	149	16.95	34.12	0.70	1	75	26
15:29:04	西华巷	243	13.11	27.71	0.89	3	128	207
15:33:07	珠江路	157	13.18	22.01	0.57	1	63	34
15:35:44	军区	76	23.46	33.65	0.50	1	23	36
15:37:00	北京东路	196	16.52	31.74	0.90	2	94	148

表3 道路行车状况统计表  
Tab.3 Statistic of road speed

路名	路段数	用户	司机	起始时间	星期	天气状况	风力 / 级	气温 / °C	旅行时间 / s	行驶方向	旅行距离 / km	正常停车次数 / 次	行程车速 / (km/h)	行驶车速 / (km/h)	停车时间 / s
龙蟠中路	7	冯工	贾师傅	15:20:55	星期一	多云	2	30	1 161	下行	4.82	12	14.95	29.18	566

数据记录。

#### 4.2 软、硬件结构

软件使用 Visual C++6.0 编写，数据库采用 Access2000，用来保存道路相关信息和系统调查参数，并实时记录调查数据。

系统运行环境：CPU Pentium 133MMX 以上，RAM 16M 以上，操作系统 Windows95/98。系统硬件结构见图3。

### 5 结语

采用固定配时加多相位控制是目前城市交通信号控制广泛采用的控制方式。由于在我国相关规范中没



图3 硬件结构图

Fig.3 Hardware structure block diagram of CFM system

有明确定义城市交叉口信号控制方式的相位间隔时间，缺少统一标准去检测配时方案中隐含的相位“绿冲突”。本文引入了德国交通信号设计规范中的“间隔矩阵法”的概念，并具体描述其在配时软件设计中的应用。基于此概念开发的配时系统能够方便检测信号配时中隐含的相位“绿冲突”。

使用“跟车法”计算机辅助调查系统便于取得配时参数和搜集车辆运行的相关信息，为进一步优化交通信号控制提供了基础数据。

#### 参考文献

- 冯宣东. 开发多相位多时段交通信号配时软件系统的尝试[J]. 道路交通管理, 1992, (9): 36
- 冯宣东. 浅谈信号配时“绿冲突”检验——“绿间隔矩阵法”[J]. 交通信息产业, 2003, (9): 91~92
- 中国公路学会《交通工程手册》编委会. 交通工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998. 305~306
- 冯宣东, 顾怀中. “跟车法”计算机辅助调查系统[J]. 交通信息产业, 2002, (12): 70~71