

城市交通的计算机仿真 —两种新的仿真程序及初步应用¹⁾

薛劲松 陈大海 佟巨山

(中国科学院沈阳自动化研究所)

摘 要

本文基于蒙特卡罗法提出了两种仿真程序。这两种仿真程序能给出较多的有用信息，可仿真多种道路条件下的交通情况和各种控制算法等，使用方便且占内存较少，可在小型机或微型机上实现。这两种仿真程序较适用于我国目前城市交通管理的需要。文中给出了两种控制算法在大连某一交通干线上的仿真结果。

一、引 言

城市交通网络错综复杂，随机因素很多，目前还没有完善的数学模型。因此，在建立城市交通控制系统过程中，从方案确定到具体控制参数的选择，以及对整个控制系统的评价，均没有可靠的数据资料和有效方法，往往需要借助于系统仿真。计算机仿真不仅可以节省大量人力物力和时间，而且能避免因设计错误而造成的事故和许多不应有的损失^[1, 2]。

近年来，我国研制了许多城市交通控制装置，其中应用较多的是定周期信号机、感应式信号机、干线绿波带控制信号机。各种计算机交通控制系统^[3]也正在研制之中。为配合这些研制工作，本文根据我国城市交通特点，提出了两种仿真程序。

二、仿真程序功能和输入输出数据

文中介绍的仿真程序可以模拟交通干线内车辆的随机到达、转弯、速度的随机变化以及车辆在各路口排队等待、行驶通过等运动过程，可以仿真各种交通控制器的功能，进行城市交通数据的统计，比较分析各种交通控制方案的效果，调整和确定控制参数，并为改进现有交通设施、制定道路规划提供有用信息。仿真程序可用于单个交叉路口或交通干线。

仿真程序输入数据：

1) 道路条件。交叉路口数、路口间距、路口宽度、车道数等；2) 车辆数据。交通流量、流向、车速分布规律，转弯概率，车头间距等；3) 控制方式。定周期控制、感应控制、最优绿波控制等；4) 控制参数。控制周期、绿信比、相位差、最小绿灯时间、最大绿灯时间等。

本文于1984年2月15日收到。

1) 该文曾在1983年全国第四次系统仿真学术会议上宣读。

仿真程序输出数据:

1) 各路口车辆到达时间、车队长度; 2) 受阻车次数; 3) 等待时间; 4) 车辆旅行时间; 5) 绿波通过率及绿灯空闲时间。

仿真程序均用BASIC语言编写,扫描时间为1秒,并已分别在ND-100小型机和TRS-80微处理机上实现。

三、原理简介和程序框图

两种仿真程序均采用蒙特卡罗法产生车辆的随机到达和转弯,以及行驶速度的分布,并根据交通干线的环境条件和控制策略建立了随机仿真模型。

SIM-1仿真程序集中研究车流中的一点(即一辆车),并追随它通过全部旅程。用这种方法能准确统计出每辆车的受阻次数、总的旅行时间、等待时间,给出绿波通过率。此方法适于定时及绿波控制的仿真。

SIM-2仿真程序(图1)研究的重点是道路网络中的某些固定点(如交叉路口停车线附近)的交通情况。它不仅模拟定周期、绿波控制,还能模拟感应控制和感应协调控制。其特点是程序相对简单,易于扩展到复杂网络的仿真。

下面仅对仿真程序的几个问题作一简略说明。

1. 车辆到达及转弯

对外部到达车辆,计算机每秒产生一个(0, 1)之间均匀分布的随机数,与该方向的流量和转弯概率比较后,确定是否有车到达和将来车的去向。

对内部到达的车辆, SIM-1按其等待时间、行驶速度和各路口的灯色,逐一进行计算。而SIM-2为适应感应控制的要求,灯色不能预置,所以采用一矩阵存储上游路口车辆离开时间,并根据下游路口的车队长度、车辆行驶速度、路口间距,随时检验是否有内部车辆到达。

2. 车辆速度分布

我国的车辆构成复杂、速度差异较大,还要受到行人、自行车干扰。作者用正态分布的速度,综合考虑这些因素的影响,使仿真更逼近真实物理过程^[4]。

仿真程序采用“舍选法”,给出满足正态分布 $n(m, \sigma)$ 的随机序列 $V(N)$ 。 $V(N)$ 是第 N 辆车的行驶速度。 m, σ 分别为车速均值和均方差,可从现场采样数据中得到。

为使 $V(N)$ 满足

$$f(V(N)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(V(N) - m)^2}{2\sigma}\right], \quad (1)$$

计算机首先产生一对(0, 1)区间的均匀分布随机数 r, r' , 然后计算:

$$\xi = 2ar' - a. \quad (2)$$

其中 a 为 ξ 的取值区间,可依计算精度要求而定。再判断

$$r \leq e^{-\xi^2/2} \quad (3)$$

是否成立。若(3)式成立,则取

$$V(n) = \sigma \xi + m; \quad (4)$$

若(3)式不成立,另取 $-r, r'$ 重新计算,直到满足(3)式为止。

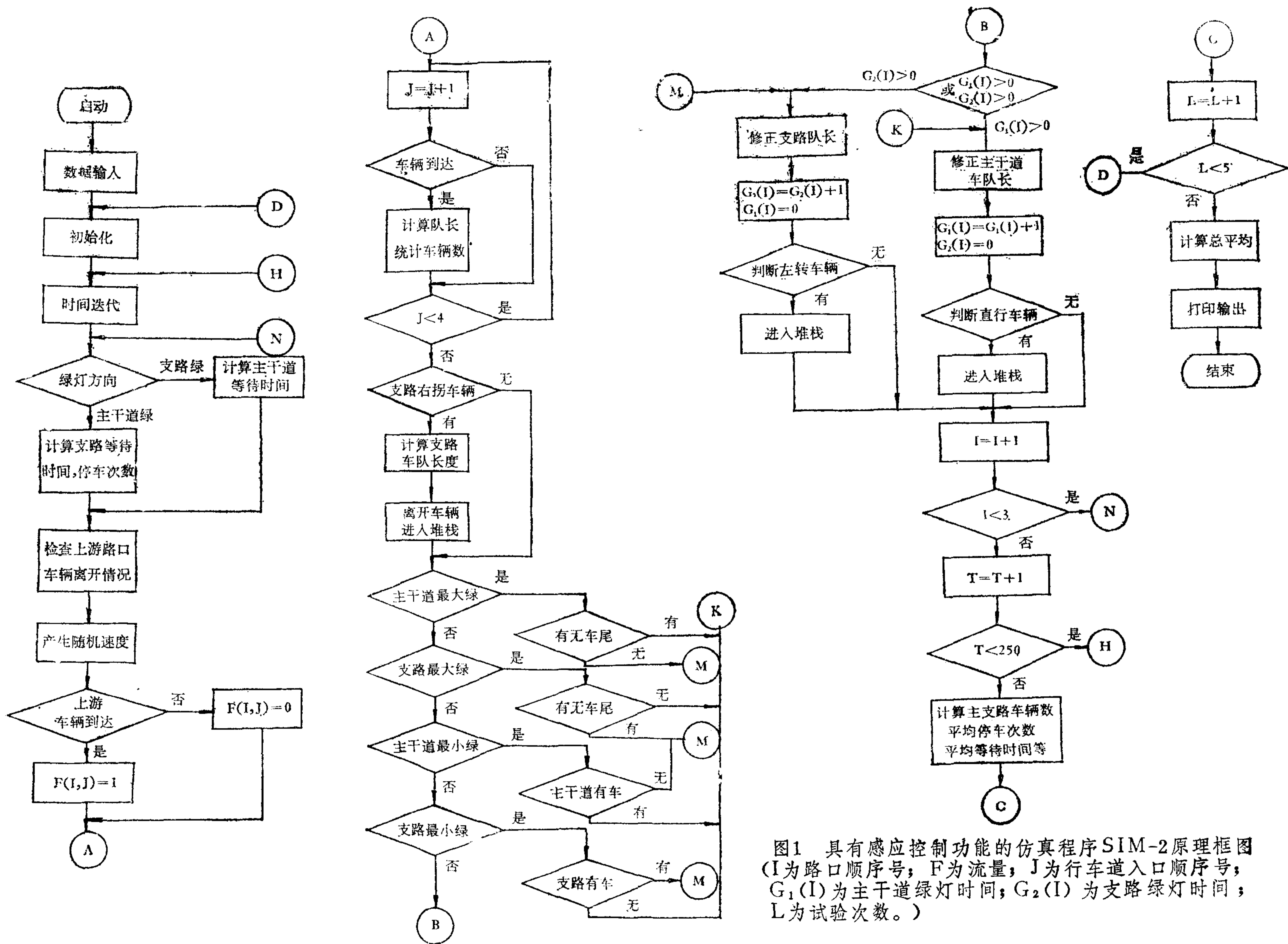


图1 具有感应控制功能的仿真程序SIM-2原理框图
(I为路口顺序号; F为流量; J为行车道入口顺序号;
 $G_1(I)$ 为主干道绿灯时间; $G_2(I)$ 为支路绿灯时间;
L为试验次数。)

3. 超车处理

由于车辆速度不同，可能会产生超车现象。仿真程序利用堆栈原理，不断对连续发出的四辆车逐一比较，随时调整栈指示器的指针位置，给出车辆先后到达的顺序和时刻。

4. 信号变化和相位差处理

程序中对定时信号根据给定的周期、绿信比及相位差，计算各路口灯色变化规律。SIM-2附有感应控制的仿真功能，可根据最小绿、最大绿、车辆通行情况确定灯色变换。

5. 整车判断

车辆在停车线附近以车长（车头间距）出现在车队中。为保证整车通过或排队，要在规定绿灯时间内进行判断，只让能在绿灯结束前整车通过的车辆放行。这样也在一定程度上考虑了黄灯信号的作用。

四、仿真可信度验证

为了验证这套仿真程序的可信度，作者在大连市某交叉路口进行了人工现场实测，也在ND-100小型机上进行了仿真试验，其结果比较列于表1。表1给出了一个时间段内（11:15—11:30）车辆受阻次数的现场实测数据和计算机仿真结果，两者的数据是接近的。

表 1

比较内容 采用方式	主 干 线 平 均 受 阻 次 数	支 路 平 均 受 阻 次 数	总 的 平 均 受 阻 次 数
现场实测	0.458	0.528	0.480
仿真结果	0.466	0.556	0.484
误 差	+0.008	+0.028	+0.004

单位：受阻次数/辆。

五、应用举例

应用上述两种仿真程序，对大连市某段交通干线（包括三个交叉路口）进行了仿真试验，分析了采用绿波控制和感应控制所得的控制效果。

1. 数据预处理

通过人工统计，取得各路口的有关交通参数，并将一天（6:30—18:30）分成48个时段（每段为15分钟），从中选取大、中、小三种典型流量，得到下列数据：

1) 流量和转弯率

时段	8:30	11:30	18:30
$F(i, j)$:	$\begin{pmatrix} .12 & .01 & .12 & .02 \\ .10 & .03 & .12 & .03 \\ .07 & .07 & .12 & .03 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} .08 & .001 & .08 & .02 \\ .06 & .03 & .09 & .03 \\ .05 & .05 & .08 & .02 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} .027 & .007 & .03 & .005 \\ .027 & .007 & .041 & .005 \\ .021 & .01 & .034 & .009 \end{pmatrix}$

时段	8:30	11:30	18:30
$NT(i, j)$:	$\begin{pmatrix} .086 & .086 & .74 \\ .87 & .93 & .34 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} .83 & .89 & .8 \\ .84 & .91 & .93 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} .59 & .75 & .87 \\ .6 & .94 & 1 \end{pmatrix}$
$TR(i, j)$:	$\begin{pmatrix} .65 & .34 & .24 \\ .86 & .44 & .03 \end{pmatrix}^T$	$\begin{pmatrix} .77 & .35 & .1 \\ 1 & .4 & .09 \end{pmatrix}^T$	$\begin{pmatrix} .4 & .19 & .2 \\ 1 & .29 & 0 \end{pmatrix}^T$
$TL(i, j)$:	$\begin{pmatrix} .25 & .14 & .04 \\ .07 & .22 & .46 \end{pmatrix}^T$	$\begin{pmatrix} .14 & .15 & .05 \\ 0 & .2 & .5 \end{pmatrix}^T$	$\begin{pmatrix} .2 & .37 & .27 \\ 0 & .14 & .44 \end{pmatrix}^T$

其中 $F(i, j)$ 为第 i 路口第 j 入口处的流量 (车辆数/秒)。 $NT(i, j)$ 为第 i 个路口主干道上下行的直行车概率。 $TR(i, j)$, $TL(i, j)$ 分别为第 i 个路口支路的右 转车和左 转车的概率。 各路口的饱和流量均取 $S = 0.25$ 辆/秒。 图 2、图 3 给出了流量示意图和应 考虑的转弯车流示意图。

2) 车速统计, 根据在现场进行的70次跑车试验得到平均车速:

$$m_{\downarrow\text{上行}} = 5.39 \text{ 米/秒};$$

$$m_{\downarrow\text{下行}} = 5.1 \text{ 米/秒}.$$

车速均方差的相对值

$$\delta = \frac{\sigma}{m} = 0.1 .$$

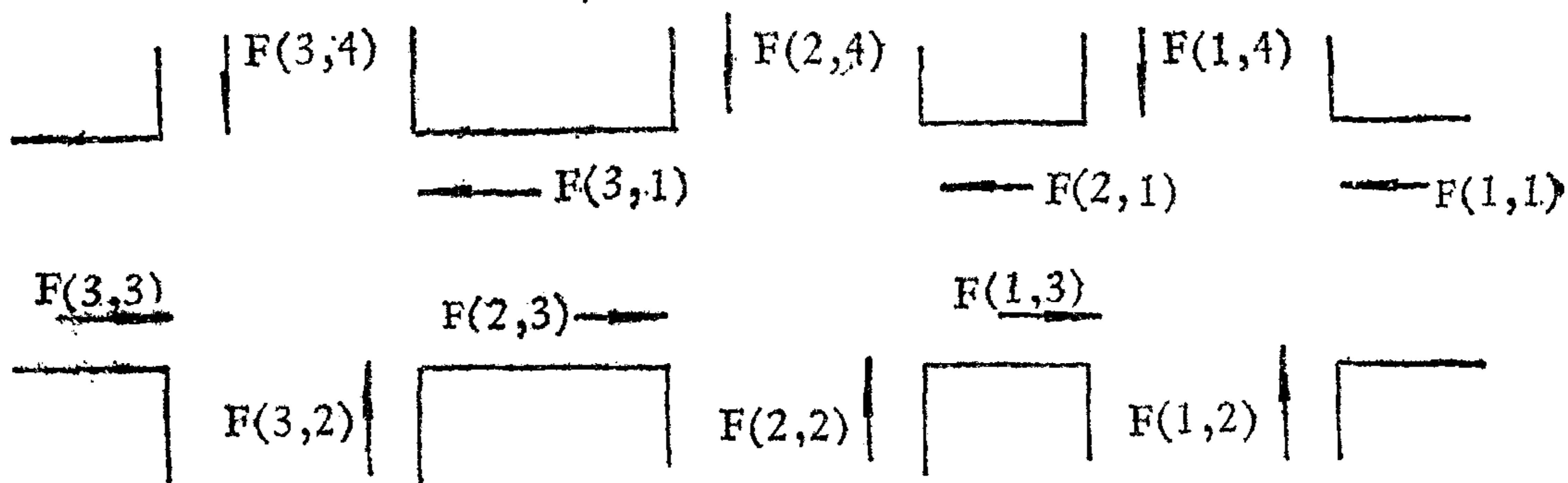


图 2 大连市某干线交通流量示意图

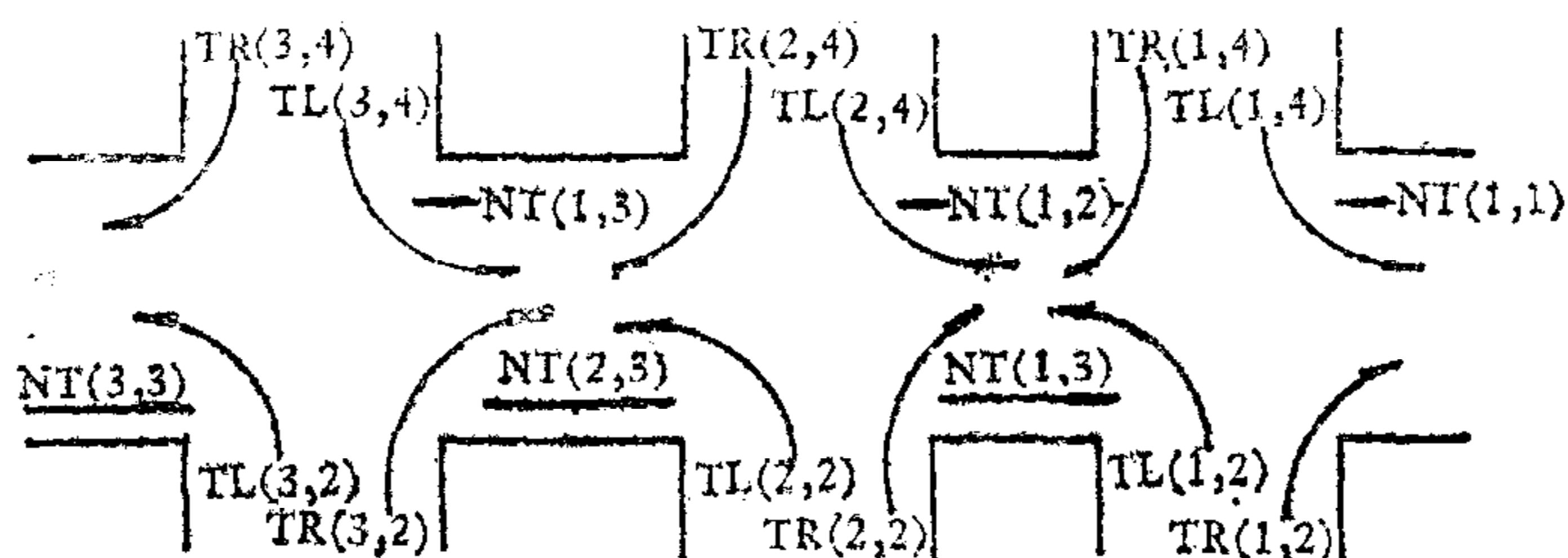


图 3 交通干线转弯车流示意图

2. 控制算法和参数

1) 绿波控制

临界周期

$$C = (1.5L + 5) / (1 - Q_1/S - Q_2/S), \quad (5)$$

其中L = 10秒, 为绿灯损失时间;

绿信比

$$G = (1 + Q_1/S - Q_2/S) / 2. \quad (6)$$

最大绿波带宽

$$B_{\max} = \max_{i=1, \dots, n} \min_{j=1, \dots, n} \max \{1 - [(\tau_{ij} - \tau'_{ij})/2 + (r_i - r_j)/2 - \delta_{ij}]_{\text{mod } 1} - r_j\}, \quad (7)$$

$\sigma_{ij} = 0, 0.5$

最优相位差与周期之比

$$\mu_{10, j} = [(\tau_{10, j} + \tau'_{10, j})/2 + \delta_{10, j}]_{\text{mod } 1}, \quad (8)$$

其中 Q_1, Q_2 分别为交叉路口主干道和支干道的最大流量, τ_{ij}, τ'_{ij} 为第 i, j 路口间上、下行的行驶时间与周期之比。

2) 感应控制

最小绿灯时间取 $G_{\min} = 10$ 秒, 最大绿灯时间取 $G_{\max} = 50$ 秒。

3. 仿真结果

仿真的主要目的是在已知的现场条件下, 对国内普遍采用的两种控制方法进行仿真比较。试验中给出了衡量交通控制系统最主要的性能指标: 停车次数、等待时间、绿灯空闲时间(三个岗总和)。前两项指标采用主干道的平均值、支干道的平均值及总平均值。

考虑到计算机仿真是采样试验, 具有较大的随机性, 故重复试验四次, 每次进行250秒, 最后取其均值进行比较。

表2给出了两种控制方式的仿真结果。

表 2

时段	指标 控制方式	主 干 线		支 路		总 平 均	
		受阻车次数	等待时间	受阻车次数	等待时间	受阻车次数	等待时间
8:30	感应控制	0.322	1.903	0.398	6.194	0.388	2.822
	绿波控制	0.461	7.240	0.345	9.742	0.437	7.761
11:30	感应控制	0.407	2.065	0.306	3.019	0.384	2.289
	绿波控制	0.402	4.767	0.417	6.534	0.406	5.220
16:30	感应控制	0.341	1.765	0.191	1.489	0.310	1.708
	绿波控制	0.429	3.082	0.480	4.680	0.441	3.445

仿真结果表明, 感应控制比绿波控制的效果要好。其中感应控制的受阻次数比绿波控制减少5—30%, 等待时间减少50%以上。

作者在大连市计算机交通控制系统的研制过程中, 利用这些仿真结果对原有绿波控制算法做了大量改进, 并研制了一种新的决策算法, 1984年4月已通过鉴定。

本文曾由蒋新松、熊光楞、蒋卡林等同志审阅,并提出宝贵意见,特此致谢。

参 考 文 献

- (1) Peat Marwick, Network Flow Simulation for Urban Traffic Control System, Contract DCT-FH-11-7885, 1977.
- (2) Macgowan, C. J., Lum, H. S., SIGOP or TRANSTY? Traffic Engrg, 11 (1977), 421—427.
- (3) 薛劲松、徐吉万、陈大海, 城市交通的模型化方法和最优控制, 信息与控制, (1981) No. 3.
- (4) 张秋, 交通工程学, 人民出版社, (1980年)。

COMPUTER SIMULATION OF URBAN TRAFFIC-TWO TYPES OF NEW SIMULATION PROGRAMS AND THEIR APPLICATIONS

Xue Jinsong Chen Dahai Tong Jushan

(Shenyang Institute of Automation, Academia Sinica)

Abstract

Based on Monte Carlo Technique, two computer programs for simulating the urban traffic control are presented in this paper. Both programs are convenient in use and able to give out much more useful information. They need less memory, thus can be run in a minicomputer or a microcomputer. Both programs are good for urban traffic control in our country. They can simulate single intersection, road traffic and control algorithms in various circumstances. The simulation result for a main street in Dalian city is given.