

环城高速公路自校正控制¹⁾

黄小原 吕振辽

(东北大学工商管理学院 沈阳 110006)

摘要

针对国内即将出现的环城高速公路,建立了一类新型高速公路交通控制模型,提出了具有实用价值的自校正控制算法,并且进行了监控预案的仿真实验。

关键词: 环城高速公路,交通控制模型,自校正控制。

1 引言

目前,国内已经建成多条高速公路,如沈阳——大连、济南——青岛等。不久,还将出现新型的环城高速公路,如沈阳环城高速公路。文献[1—7]表明,国内外对于高速公路模型和控制问题已经进行了应用研究。但是,尚未开展环城高速公路交通控制问题的工作。因此,这一问题的研究具有理论价值和应用意义。

2 模型

2.1 线状高速公路交通模型

考虑高速公路时变非线性离散模型^[1,2],即

$$\begin{aligned}x_i(t) &= [(1 - \alpha_i(t-1))v_{i-1}(t-1)/s_{i-1}]x_{i-1}(t-1) \\&\quad + (1 - v_i(t-1)/s_i)x_i(t-1) + u_i(t-1), \\x_i(0) &= x_i^0, i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T,\end{aligned}\tag{1}$$

$$x_0(t) = 0.\tag{2a}$$

其中 $x_i(t)$ 是第 i 段公路 t 时刻车辆群数(辆),状态变量; $u_i(t)$ 是第 i 段公路 $t-1$ 时刻到 t 时刻从入口匝道放行的车辆群数(辆),控制变量; $v_i(t)$ 是第 i 段公路车辆群速度(km/单位时间); s_i 是第 i 段公路长度(km),定常参数; $\alpha_i(t)$ 是第 i 段公路 t 时刻的Poisson 分流系数; n 是高速公路末段序数, T 是交通过程采样时间总长度。

1) 中科院自动化所复杂系统开放实验室基金资助。

本文于 1993 年 5 月 17 日收到

2.2 环城高速公路交通模型

环城与线状高速公路的区别在于，环城公路是首末段路程相接，而线状公路是首末段路程不相接。本文着重从首末段路程相接情况研究建立环城高速公路交通模型。从文[1,2]建立模型的过程机理知道，式(1)中第1项表明上游路段进入本程路段与本程路段驶出匝道的车辆群代数之和。对于线状高速公路的首端路段，并不存在上游路段进入本程路段和本程路段驶出的车辆群。因此，对于线状高速公路首端路段，有 $x_0(t) = 0$ ；对于环城高速公路首端路段，首末段路程相接，则有

$$x_0(t) = x_n(t). \quad (2b)$$

所以，环城高速公路的交通模型为式(1), (2b)。

2.3 环城高速公路的时变参数模型

按照文[5]的方法，可以将环城高速公路交通模型改造为时变参数 ARMAX 模型，即

$$\begin{aligned} x_i(t) &= a_{i,i-1}(t-1)x_{i-1}(t-1) \\ &\quad + a_{i,i}(t-1)x_i(t-1) + u_i(t-1) + c_i\xi_i(t). \end{aligned} \quad (3)$$

$$x_0(t) = x_n(t), x_i(0) = x_i^0.$$

其中

$$a_{i,i-1}(t-1) = (1 - \alpha_i(t-1))v_{i-1}(t-1)/s_{i-1}, \quad (4)$$

$$a_{i,i}(t-1) = 1 - v_i(t-1)/s_i, \quad (5)$$

$\xi_i(t)$ 是均值为 0 方差为 σ_i^2 的白噪声随机序列，并且

$$c_i = 1 + c_i^{(1)}q^{-1} + \cdots + c_i^{(n_c)}q^{-n_c},$$

其中 q^{-1} 为后移算子。

将环城高速公路交通模型(3)写成矩阵向量形式

$$Ax(t) = q^{-1}u(t) + C\xi(t), \quad (6)$$

其中

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T,$$

$$\mathbf{u}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)]^T,$$

$$\boldsymbol{\xi}(t) = [\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t)]^T,$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & & & & & 0 \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & & & & \\ \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \\ & & \ddots & a_{n,n-1}(t) & a_{n,n}(t) & \end{bmatrix},$$

$$A = I - q^{-1}A_1, C = I + q^{-1}C_1 + \cdots + q^{-n_c}C_n,$$

矩阵多项式 C_i 是对角的，即有

$$C_i = \text{diag}[c_i^{(1)}, c_i^{(2)}, \dots, c_i^{(n_c)}].$$

3 多变量自校正控制器

环城高速公路多变量自校正控制器的性能指标是

$$\begin{aligned} \min J = & E\{\|P(q^{-1})\mathbf{x}(t+1) - R(q^{-1})\mathbf{x}^*(t)\|^2 \\ & + \|Q'(q^{-1})[\mathbf{u}(t) - \mathbf{u}^*(t)]\|^2\}. \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $\mathbf{x}^*(t)$ 是交通控制过程中车辆群的正常记录向量^[6], $\mathbf{u}^*(t)$ 是入口匝道等待队长向量 $\mathbf{y}(t)$ 与进入匝道的服从 Poisson 分布的车辆群向量 $\mathbf{d}(t)$ 之和, 即

$$\mathbf{u}^*(t) = \mathbf{y}(t) + \mathbf{d}(t). \quad (8)$$

这里, 入口匝道的等待队长向量 $\mathbf{y}(t)$ 和 Poisson 进入量向量 $\mathbf{d}(t)$ 都是可以在线量测的. P, R, Q' 是适当选择的加权多项式矩阵. 性能指标的交通控制意义是, 在数学期望条件下, 控制入口匝道车辆放行, 使车辆群跟踪于正常记录^[6], 使入口匝道放行车辆跟踪于该匝道上队长和 Poisson 进入量之和, 尽量缩短等待队长, 以减少干线车辆拥挤和交通事故, 提高公路运行能力.

关于环城高速公路自校正控制器设计和自校控制算法, 与线状高速公路的情况基本相同. 不同之处是, 环城高速公路首末段公路路段的连接条件. 因此, 在环城高速公路自校正控制的状态计算中, 增加式 (2b) 一个条件. 线状高速公路自校正控制方法详见文[5].

4 监控预案的仿真实验

某环城高速公路全长 114 公里, 有 5 个出入口, 5 个路段 ($n = 5$). 环城高速公路系统数据见表 1, 仿真时间为早 6 时至晚 6 时, 采样时间间隔(即单位时间)取作 4 分钟, 共计 180 个单位时间 ($T = 180$). 应用多变量自校正控制器的计算机监控预案仿真实验

表 1 环城高速公路交通控制参数表

i	1	2	3	4	5
x_i^0	15	24	23	31	22
s_i	20	22	28	25	19
x_i^*	45	80	65	80	40
u_i^*	6	3	3	3	8

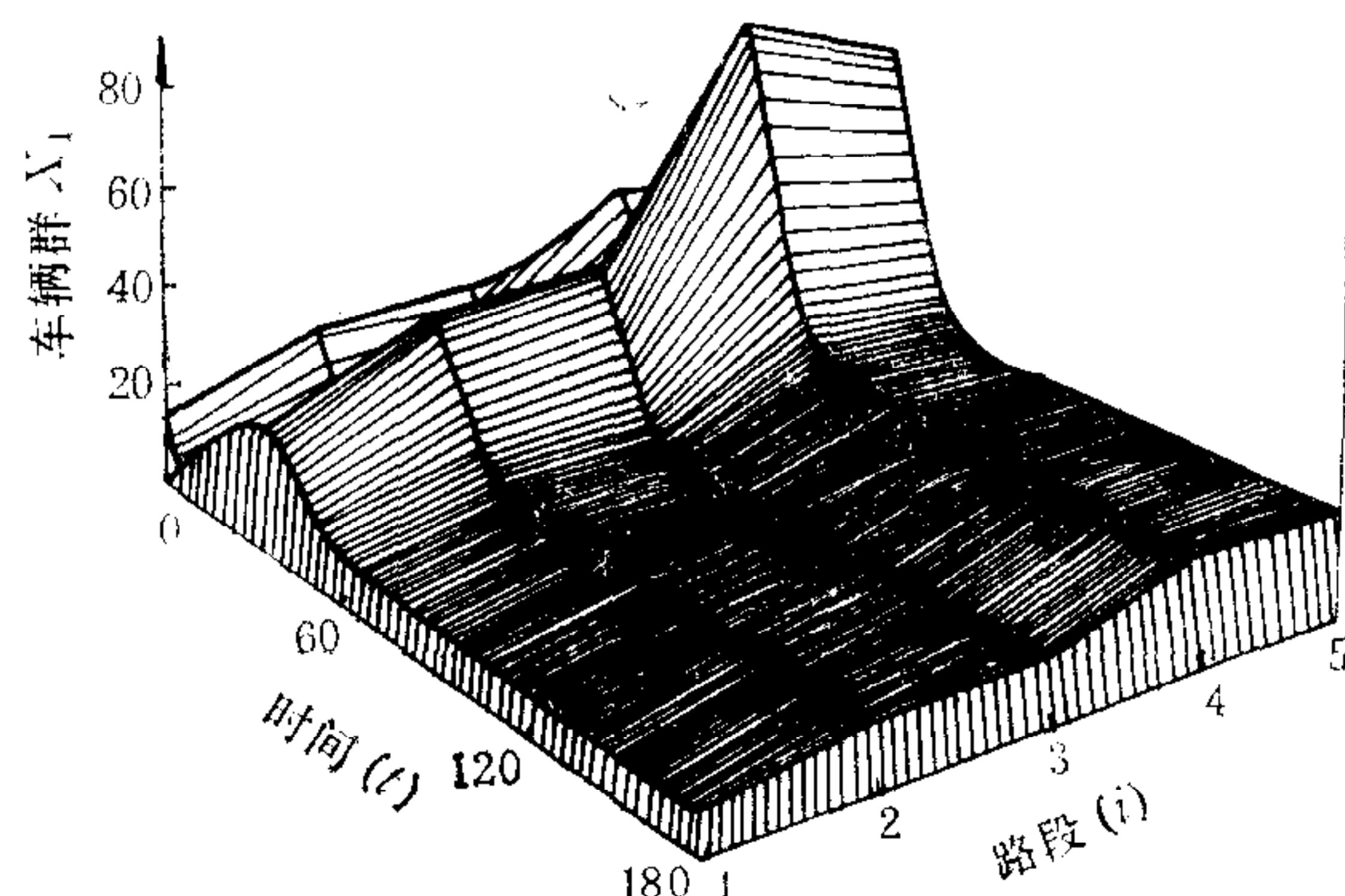


图 1 环城高速公路各公路路段车辆群状态 x_i

参见文[1—5]。进行仿真过程中,噪声方差是 $\sigma^2 = 0.01$ 。

仿真结果见图1、图2,它们分别是采用自校正控制后的各公路路段车辆群状态、入口匝道放行车辆控制。这些结果表明自校正控制是有效的,使环城高速公路车辆群良好地跟踪于正常记录,减轻了车辆拥挤状况,疏导了入口匝道的等待队长。

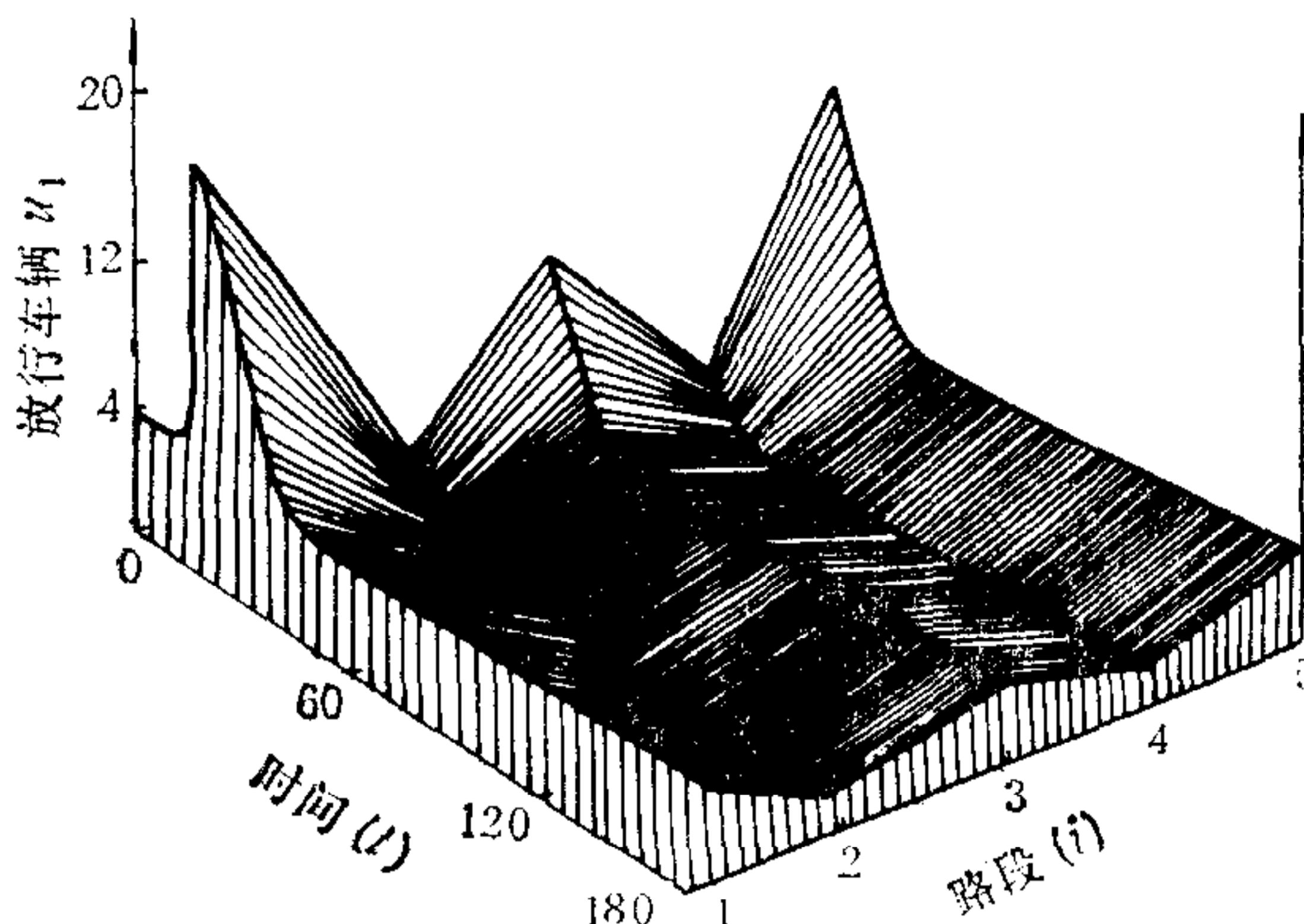


图2 环城高速公路入口匝道放行车辆 u_1

参 考 文 献

- [1] 黄小原,樊治平,张文江. 高速公路车辆群模型与控制. 东北工学院学报, 1990, 11(4): 377—382.
- [2] 黄小原等. 高速公路入口匝道与限速标志的交通控制. 中国公路学报, 1991, 4(1): 59—64.
- [3] 黄小原,樊治平,张文江. 高速公路入口交通控制问题的研究. 系统工程, 1989, 7(3): 36—43.
- [4] 黄小原,樊治平,张文江. 高速公路入口匝道的分散控制. 信息与控制, 1991, 20(1): 1—7.
- [5] 黄小原,吕振辽. 高速公路多变量自校正控制. 信息与控制, 1992, 21(6): 349—352.
- [6] Magdi S M et al, Optimization of freeway traffic control problems. *Optimal Control Application and Methods*, 1988, 9(1): 37—49.
- [7] Smalders S. Control of freeway traffic flow by variable speed signs. *Transpn Res-B*, 1990, 24B(2): 111—132.

SELF TUNING CONTROLLER FOR FREEWAY TRAFFIC AROUND CITY

HUANG XIAOYUAN LU ZHENLIAO

(College of Business Administration, Northeast University Shenyang 110006)

ABSTRACT

In this paper, a model of the traffic control for freeway around city is established, the self tuning controller is designed, the simulation result is given.

Key words: Freeway around city, traffic control model, self tuning controller.