

文章编号: 1009-6744 (2005) 06-0058-04

## 系统工程理论与方法

# 出行前路径选择的多目标规划模型

宗传苓<sup>1</sup>, 李相勇<sup>2</sup>, 王英涛<sup>3</sup>

(1. 深圳市城市交通规划研究中心, 深圳 518031; 2. 上海交通大学管理学院, 上海 200052;  
3. 川交公路工程咨询有限公司, 成都 610041)

**摘要:** 在分析了基于城市交通信息港的出行前最优路径选择问题的多目标属性的基础上, 建立了出行前最优路径选择的多目标规划模型<sup>19</sup>。模型所求得解是综合最优路径, 反映了城市交通出行者信息以及目标需求多样性的特点<sup>19</sup>。设计了基于线性加权法的模型求解算法<sup>19</sup>。通过算例初步验证了模型的合理性和有效性<sup>19</sup>。

**关键词:** 交通信息港; 路径选择; 综合最优路径; 多目标规划; 线性加权法  
**中图分类号:** U 491

## A Multi-objective Programming Model of Route Choice Before Travel

ZONG Chuan-ling<sup>1</sup>, LI Xiang-yong<sup>2</sup>, WANG Ying-tao<sup>3</sup>

(1. Shenzhen Urban Transport Planning Center, Shenzhen 518031, China;  
2. Management School, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China;  
3. Chuanjiao Highway Engineering Consulting Co., Ltd, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the multi-objective attribute of the optimization route choice problem in urban traffic information center, a multi-objective programming model of route choice before travel is established. The solution of the model is a comprehensive optimization route, which can reflect the diversity feature of information demand and objective demand for urban traveler. The solution algorithm based on linear weighting method is proposed in this paper. The rationality and validity of the model is examined by an example.

**Key words:** traffic information center; route choice; comprehensive optimization route; multi-objective programming; linear weighting method

**CLC number:** U 491

## 0 引言

城市交通信息港是建立在现代信息技术、数据通讯技术、电子控制技术以及计算机处理技术等基础上, 有效地综合服务于整个城市交通体系, 全方位发挥作用的、实时、准确、高效的、城市交通信息综合平台<sup>19</sup>。其实质就是将城市交通信息通过现代信息传输技术提供给城市交通信息的需求者, 使得对各

种决策(包括交通战略决策、交通管理决策支持、出行路径选择决策等)起到支持作用的信息和知识在城市交通系统中有效流通, 提高城市交通决策的科学性, 引导合理的交通出行行为, 达到最大限度地发挥现有交通设施效用的目的<sup>19</sup>。根据城市交通信息港所提供的道路交通信息, 为城市交通出行者提供出行前路径选择服务是城市交通信息港的主要功

收稿日期: 2005-07-02

宗传苓(1966—), 男, 安徽当涂人, 高级工程师, 研究方向为城市交通规划<sup>19</sup>。Email: zcl@sutpc.com

中国知网 <https://www.cnki.net>

能之一,本论文在此背景下,研究基于城市交通信息港的出行前最优路径选择的多目标规划模型,为城市交通出行者(这里指自驾车司机)提供出行前最优路径选择的参考和支持<sup>19</sup>。

### 1 符号定义

本论文定义以下一些基本符号:

$A$  —— 城市交通网络中路段  $a$  的集合;

$R$  —— 起始点集合;  $S$  —— 终点集合;

$r$  —— 代表一个起始点,  $r \in R$ ;

$s$  —— 代表一个终点,  $s \in S$ ;

$k$  —— 连接  $O-D$  对  $r-s$  的一个出行路径;

$K_{rs}$  —— 连接  $O-D$  对  $r-s$  的所有出行路径集合;

$x_a$  —— 路段  $a$  上的交通流量,  $a \in A$ ;

$l_a$  —— 路段  $a$  的几何长度,  $a \in A$ ;

$c_a$  —— 路段  $a$  的设计通行能力,  $a \in A$ ;

$t_a$  —— 路段  $a$  上的实测阻抗,它是路段流量的函数,即  $t_a = t_a(x_a)$ ,  $a \in A$ ;

$e_a$  —— 路段  $a$  上的阻抗随机误差项,  $a \in A$ ;

$f_k^{rs}$  ——  $O-D$  对  $r-s$  之间的出行路径  $k$  上的流量,  $k \in K_{rs}$ ;

$c_k^{rs}$  ——  $O-D$  对  $r-s$  之间的出行路径  $k$  上的实测阻抗值,  $k \in K_{rs}$ ;

$E_k^{rs}$  ——  $O-D$  对  $r-s$  之间的出行路径  $k$  上的阻抗随机误差项,  $k \in K_{rs}$ ;

$\delta_{a,k}^s$  —— 如果路段  $a$  在连接  $O-D$  对  $r-s$  的出行路径  $k$  上,其值为1;否则为0。

## 2 路径选择的多目标规划模型及其解法

### 2.1 问题分析

基于城市交通信息港的司机出行前起迄点间最优路径的选择和确定受多种因素的影响,是多致因因素联合作用下的结果<sup>19</sup>影响司机出行前最优路径选择的因素可以分为两类,一类是客观因素,主要有城市道路网络中路径行程时间、路段阻抗、路径费用、路径长度、拥挤程度以及城市道路服务水平(安全性、舒适性等方面)等;一类是主观因素,主要包括司机的驾驶经验、个人喜好、司机的个人社会经济特征等因素<sup>19</sup>上述路径选择致因因素的分析表明,司机在出行前最优路径选择准则方面表现出多目标性以及多属性的特点<sup>19</sup>对于不同的司机基于

不同的角度和目标,会选择不同的最优出行路径,而且对于同一司机在不同的时间段,由于不同的考虑的目标,也会选择不同的最优出行路径<sup>19</sup>因此,基于城市交通信息港的出行前最优路径的选择是一个对于上述多项目标(路径选择影响因素)进行优化的复杂的多目标规划问题,路径选择过程是多目标决策的过程、是各种因素交互作用的过程,我们可以运用多目标规划方法,研究司机出行前最优路径选择问题,建立基于出行者(这里专指城市交通信息港司机用户)信息需求多样化的出行前最优路径选择的多目标规划模型,以供具有不同社会属性的出行者选择或参考<sup>19</sup>。

### 2.2 目标函数确定

由上述基于城市交通信息港出行前最优路径选择的影响因素分析知:对于城市交通出行者来说,出行前最优出行路径的选择和确定问题是一个多目标综合优化问题,考虑到问题计算的复杂性,本论文初步选择以下几个子目标:路径理解阻抗最小化、路径行驶距离最小化、路径拥挤程度最小化,来建立出行路径选择的多目标规划模型<sup>19</sup>下面分别建立各子目标函数:

(1) 路径理解阻抗最小化<sup>19</sup>。

在城市交通出行中,通常在出行的起始点与终点之间有多条备选出行路径供司机出行前选择和参考,对应于每一条备选路径都有相应的路径阻抗<sup>19</sup>。由于受多种因素的影响,每一个司机在选择出行路径时会对路径阻抗有不同的理解,而且同一个司机在不同的时刻对同一路径阻抗也有不同的理解,我们称这种阻抗为路径理解阻抗,理解阻抗为随机变量<sup>19</sup>。这里,假设每一个司机都是一个理性决策实体,总是选择起始点至终点之间理解阻抗最小化的出行路径<sup>19</sup>。则在路径理解阻抗最小化意义下,出行前最优路径选择的目标函数  $G_1$  为:

$$G_1 = \min \{C_k^{rs}\} \quad \text{s.t.} \quad \begin{cases} C_k^{rs} = c_k^{rs} + E_k^{rs} \\ c_k^{rs} = \sum_a t_a(x_a) \delta_{a,k}^s \\ E_k^{rs} = \sum_a e_a(x_a) \delta_{a,k}^s \\ x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^s \\ f_k^{rs} \geq 0 \\ a \in A, k \in K_{rs} \end{cases}$$

上述目标函数  $G_1$  中,  $C_k^{rs}$  为起始点  $r$  至终点  $s$

之间备选路径  $k$  上的司机理解阻抗, 这里我们认为它是随机变量, 其等于路径  $k$  上的实际测得的阻抗值与路径阻抗随机误差项之和; 一般假设路径阻抗随机误差项是相互独立的, 且服从一定的概率密度分布(如 Gumbel 分布), 路段实测阻抗是路段流量的函数<sup>19</sup>.

(2) 路径行驶距离最小化<sup>19</sup>.

路径行驶距离最小化目标是指司机在出行前总是希望选择起始点  $r$  至终止点  $s$  之间行驶距离最小的出行路径<sup>19</sup>这里我们以出行路径的几何长度作为优化目标, 则在路径行驶距离最小化意义下, 出行前最优路径选择的目标函数  $G_2$  为:

$$G_2 = \min \{L_k^{rs}\} \\ \text{s.t.} \begin{cases} L_k^{rs} = \sum_a l_a \delta_{a,k}^{rs} \\ a \in A, k \in K_{rs} \end{cases}$$

上述目标函数  $G_2$  中,  $L_k^{rs}$  为起始点  $r$  至终止点  $s$  之间备选路径  $k$  的几何长度, 即为路径行驶距离<sup>19</sup>.

(3) 路径拥挤程度最小化<sup>19</sup>.

路径拥挤程度最小化目标是假设在出行前司机总是希望选择起始点  $r$  至终止点  $s$  之间拥挤程度最小的出行路径, 这里我们选用路径饱和度来作为优化目标, 则在路径拥挤程度最小化意义下, 出行前最优路径选择的目标函数  $G_3$  为:

$$G_3 = \min \{W_k^{rs}\} \\ \text{s.t.} \begin{cases} W_k^{rs} = \sum_a w_a \delta_{a,k}^{rs} \\ w_a = x_a/c_a \\ a \in A, k \in K_{rs} \end{cases}$$

上述目标函数  $G_3$  中,  $W_k^{rs}$  为起始点  $r$  至终止点  $s$  之间备选路径  $k$  的饱和度,  $w_a$  为路段  $a$  的饱和度<sup>19</sup>.

2.3 路径选择的多目标规划模型

由上面讨论可知, 出行前最优路径选择的多目标规划模型为:

$$G(k) = \min \{C_k^{rs}, L_k^{rs}, W_k^{rs}\} \tag{1} \\ \text{s.t.} \begin{cases} C_k^{rs} = C_k^{rs} + E_k^{rs} \\ C_k^{rs} = \sum_a t_a(x_a) \delta_{a,k}^{rs} \\ E_k^{rs} = \sum_a e_a(x_a) \delta_{a,k}^{rs} \\ x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \\ L_k^{rs} = \sum_a l_a \delta_{a,k}^{rs} \\ W_k^{rs} = \sum_a w_a \delta_{a,k}^{rs} \\ w_a = x_a/c_a \\ f_k^{rs} \geq 0 \\ a \in A, k \in K_{rs} \end{cases} \tag{2}$$

2.4 模型求解算法

常用的求解多目标规划模型的方法主要有: 线性加权法和效用系数法、约束法、分层序列法、评价函数法以及非劣集估计法等<sup>19</sup>针对上述出行前路径选择的多目标规划模型(1)的特点, 并考虑到出行路径选择中, 司机信息需求以及目标需求多样性的特点, 本文设计了基于线性加权法的出行前最优路径选择多目标规划模型的求解算法, 其主要步骤如下:

(1) 模型无量纲化<sup>19</sup>.

由于上述出行前路径选择多目标规划模型(1)中 3 个子目标的量纲不同, 在问题求解之前必须首先对多目标规划模型的多个变量进行无量纲化处理, 将它们转化为同一量纲, 本文采用极差化方法进行目标无量纲化处理, 其公式如下:

$$x_j' = (x_j - \min(x_j)) / (\max(x_j) - \min(x_j)) \tag{3}$$

式中,  $x_j'$  为变量  $x_j$  无量纲化后的值;  $\min(x_j)$ ,  $\max(x_j)$  分别表示变量  $x_j$  在论域上的最小值和最大值<sup>19</sup>通过变量无量纲化处理, 可以将各变量变换为  $[0, 1]$  区间上的值<sup>19</sup>. 设  $(C_k^{rs})'$ ,  $(L_k^{rs})'$ ,  $(W_k^{rs})'$  分别表示经过变量标准化后的子目标函数, 则所求解的出行路径选择的多目标规划模型可化为如下的最小化标准形式:

$$G(k) = \min \{(C_k^{rs})'; (L_k^{rs})'; (W_k^{rs})'\} \tag{4}$$

(2) 问题转化<sup>19</sup>.

通过线性加权法, 可以将上述多目标规划模型(4)转化为如下形式的单目标规划模型求解:

$$G(k) = \min \{\lambda(C_k^{rs})' + \lambda(L_k^{rs})' + \lambda(W_k^{rs})'\} \tag{5}$$

式中,  $\lambda$ ,  $\lambda$ ,  $\lambda$  分别表示 3 个子目标  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  的权重系数, 即司机对上述 3 个子目标的目标倾向性程度<sup>19</sup>权重系数满足:  $\lambda + \lambda + \lambda = 1$ , 且  $\lambda \geq 0$ ,  $\lambda \geq 0$ ,  $\lambda \geq 0$ <sup>19</sup>. 上述权重系数反映了司机对各个子目标的偏好程度, 模型向司机提供了选择的权利, 体现了司机在出行前最优出行路径选择的多目标性, 通过不同权重系数的组合, 司机可以选择各种目标条件下的综合最优出行路径<sup>19</sup>当权重系数中有 2 项为零时, 则问题(1)就转化为单目标规划问题<sup>19</sup>.

(3) 模型求解<sup>19</sup>.

上述转化后的单目标规划模型(5), 可以运用单目标规划中网络最短路算法进行求解<sup>19</sup>.

3 算例

考虑如下简单城市交通网络(见图1),出行起始点 $r$ 至终点 $s$ 共有4条备选出行路径<sup>19</sup>。假设路段( $a \sim e$ )的特征数据在出行前通过城市交通信息港查询获得,为说明问题需要,这里假设模型中路段理解阻抗的函数表达式已经存储于城市交通信息港中,这里直接给出路段的理解阻抗值<sup>19</sup>。路段特征数据以及无量纲化值如表1所示<sup>19</sup>。

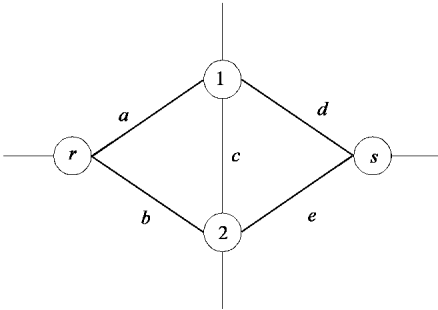


图1 简单城市交通网络

表1 路段特征数据

路段特征数据		路段集 A				
		a	b	c	d	e
理解	特征值	1	1	2	2	3
阻抗	量化值	0	0	1/2	1/2	1
路段	特征值	6	9	2	11	7
长度	量化值	4/9	7/9	0	1	5/9
路段	特征值	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3
饱和度	量化值	1	1/3	0	0	2/3

(1) 模型建立<sup>19</sup>。

对于上述城市交通网络的出行路径选择可以建立如式(1)表达型的多目标规划模型: $G(k) = \min \{C_k^{rs}, L_k^{rs}, W_k^{rs}\}$ ,模型中,路段集 $A: \{a, b, c, d, e\}$ ,路径集 $K_{rs}: \{r-1-s, r-1-2-s, r-2-s, r-2-1-s\}$ <sup>19</sup>。

(2) 模型求解<sup>19</sup>。

首先对上述给出的多目标规划模型进行标准化处理,在确定了权重系数后,可以求得模型的唯一最优解(最优出行路径),表2为在几种不同权重系数组合下,模型所求得的最优解<sup>19</sup>。

表2 模型最优解

权重系数组合			$\delta_{a,k}^{rs}$					标函 数值	最优路径
$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	a	b	c	d	e		
1	0	0	1	0	1	0	1	1	$r-1-2-s$
0.5	0.2	0.3	1	0	0	1	0	1.12	$r-1-s$
0.3	0.3	0.4	0	1	1	1	0	0.97	$r-2-1-s$
0.2	0.6	0.3	1	0	0	1	0	0.89	$r-1-s$
0	1	0	1	0	0	1	0	1/2	$r-1-s$

(3) 结果分析<sup>19</sup>。

由表2模型求解结果,可以得出如下结论:

① 在不同的权重系数组合下,模型可以得到一系列唯一最优解(最优出行路径)<sup>19</sup>。

② 用户可以根据自己对不同目标因素的偏好,选择适合自己的最优出行路径,比如司机对于路径理解阻抗最小化这个目标的倾向性较高,对于其它2个子目标倾向性较低(如 $\lambda = 0.5, \lambda = 0.2, \lambda = 0.3$ ),则在出行前司机会选择 $r-1-s$ 路径;若司机对三个子目标的倾向性相差不大(如 $\lambda = 0.3, \lambda = 0.3, \lambda = 0.4$ )时,则司机在出行前会选择 $r-2-1-s$ 路径<sup>19</sup>。

③ 当其中2项权重系数为零时,模型退化为单目标规划问题,即我们通常意义上的基于某个单目标的最短路径,比如当 $\lambda = 0, \lambda = 1, \lambda = 0$ ,问题转化为路径行驶距离最小化的单目标规划问题<sup>19</sup>。

④ 多目标规划模型求得的解是综合最优出行路径,模型综合考虑了出行者出行需求多样性的特点,所求得的最优解更能反映用户需求特点<sup>19</sup>。

4 结论

本文在分析了出行前最优路径选择问题多目标性特点的基础上,将出行前最优路径选择问题转化为一个多目标规划问题<sup>19</sup>运用多目标规划理论与方法建立了基于城市交通信息港的出行前最优路径选择多目标规划模型<sup>19</sup>通过模型所选择和确定的出行最优路径是综合最优路径,它综合考虑多种影响司机出行路径选择的因素,反映了司机对出行目标需求以及信息需求多样性的特点<sup>19</sup>。

0	0	1	1	0	1	0	0	类型标识	数据单元标识符在
DL/T634. 5104的定义								可变结构限定词	DL/T634. 5101-2002
DL/T634. 5101-2002的7.2.3中定义								传送原因	的7. 1中定义
0	0	0	0	0	0	0	0	应用服务数据单元公共地址	
RSN								信息对象地址	
TSN									
EN									
SPI	RS	RES	BL	SB	NT	IV	SIQ=带品质描述词的单点信息, 该文4. 3中定义		
DCM								信息元素集, 该文4. 3中定义	
X									
Y									
R									
G									
B									
Font									
Size									
Code Type									
Value1									
Value24									
DCM									
DCT									
CP56Time2a DL/T634. 5101-2002的7. 2. 6. 18中定义								信息对象时标	

图6 应用服务数据单元:C-IB-NC-1  
可变情报板设置显示命令

5 路网监控数据通信协议的特点

基于电力远动通信协议拟定的高速公路区域  
联网监控数据通信协议具有如下特点:

- 借鉴电力远动系统相关国际标准拟定路网  
监控通信协议, 技术成熟, 参考资料较多<sup>19</sup>.

(上接第61页)

需要指出的是<sup>(3)</sup>本文建立的出行前最优路径选  
择多目标规划模型实际运用的基础是城市交通信  
息港提供的准确的城市交通信息数据<sup>18</sup>论文只是初  
步选择理解路径阻抗、路径行驶距离以及路径拥挤  
程度3项指标来建立模型<sup>18</sup>考虑到城市交通网络出  
行者信息需求的多样的特点<sup>18</sup>我们可以增加其它的  
目标评价指标<sup>2</sup>例如道路服务水平、路径出行成本  
等<sup>14</sup>来建立更加完善的出行前路径选择多目标规划  
模型<sup>19</sup>论文研究的是静态路径选择的多目标规划问  
题<sup>18</sup>适合城市交通动态时变特点的动态路径选择多

- 基于101、104协议, 采用应答和重发机制,  
兼容性强, 可靠性高<sup>19</sup>.
- 结合高速公路区域联网监控系统实际情况,  
遵照101协议ASDU的数据格式和语义要求, 采用  
预留的序号拟定路网监控的ASDU, 便于各施工单  
位的实行<sup>19</sup>.
- 充分考虑了路网各外场设备的属性及参数,  
拟定相应的信息元素, 适用性好<sup>19</sup>.
- 预留了相应的数据字段, 可由另外标准定义  
其应用, 可扩展性强<sup>19</sup>.

参考文献

[1] 电力行业标准 DL/T 634.5101-2002 基本远动任  
务 配 套 标 准 [S] ( neq. IEC60870 - 5 - 101.  
Companion Standard for Basic Telecontrol Tasks.  
1995) .

[2] 电力行业标准 DL/T 634.5104-2002 采用标准传  
输 协 议 子 集 的 IEC60870 - 5 - 101 网 络 访 问 [S]  
( idt. IEC 60870 - 5 - 104. Network access for  
IEC60870 - 5 - 101 using standard transport  
profiles. 2000) .

[3] 胡明, 周全林, 等. 变电站自动化系统采用 IEC60870  
- 5 - 103, 104 协议的优势 [J]. 继电器, 2003, 31  
( 5) .

[4] 朱彦杰, 邓昌延, 等. IEC104 协议在变电站系统的应  
用与测试 [J]. 继电器, 2004, 32( 1) .

[5] 丁传锁, 陈启美, 章德. 基于 IP 网络分布式高速公路  
监控系统 [J]. 数据通信, 2002, 1.

目标规划问题是论文进一步需要研究的问题<sup>19</sup>.

参考文献

[1] 黄海军. 城市交通网络平衡分析理论与实践 [M] .  
北京(3)人民交通出版社 1994.

[2] 王英涛. 主枢纽城市交通信息港框架研究 [D] . 成  
都(3)西南交通大学 19004.

[3] 周德龙 19姚重华. 大气监测布点多目标规划模型 [J].  
华东理工大学学报 19002 198 25 14.

[4] 达庆东 19张国伍. 交通拥挤定量分析方法 [J]. 交通运  
输系统工程与信息 19002 1921 14345-48.