

# 基于转弯次数的高速公路合理路径判别标准研究

方曾利<sup>1,2</sup> 高王翠<sup>2</sup> 魏琳<sup>2</sup> 梁亚莉<sup>2</sup> 陈大伟<sup>1</sup>

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210096

2. 河南省交通科学技术研究院有限公司, 郑州 450006

**摘要:** 针对联网收费高速公路现有合理路径判别标准的不足, 引入转弯次数因素, 建立基于复合路径的判别模型。从分析转弯造成的影响入手, 分析其合理权重, 并通过实例来计算合理的惩罚系数, 结果表明, 改进后计算的路径与理性出行者的实际选择吻合较好。

**关键词:** 合理路径; 转弯次数; 惩罚系数

中图分类号: 491.1\*

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2012)01-0079-05

## Study on Assessment Criterion of Freeway Rational Path Based on Turning Times

FANG Zeng-li<sup>1,2</sup> GAO Wang-cui<sup>2</sup> WEI Lin<sup>2</sup> LIANG Ya-li<sup>2</sup> CHEN Da-wei<sup>1</sup>

1. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China

2. Henan Transportation Research Institute Co. Ltd,  
Zhengzhou 450006, China

**Abstract:** In light of the insufficient existed in the rational path assessment criterion of freeway network toll collection system, turning times was introduced into the assessment model. From the analysis of the impact of turning, its rational weight was analyzed. Reasonable penalty coefficient was calculated through an example calculation, which was consistent with the actual choice of the rational traveler.

**Key words:** Rational path, turning times, penalty coefficient

收稿日期: 2011-03-07.

作者简介: 方曾利(1979-), 男, 河南信阳人, 东南大学交通学院在读工程硕士, 主要研究方向为交通运输规划与管理。

## 0 引言

对于存在环路的联网收费高速公路网,界定合理路径是通行费拆分的第一步工作。理论上,对于任意一个存在环路的路网,如果不加任何限制条件,则起终点间的多路径有无数条,因为,出行路径可以重复地绕环路任意圈。

界定合理路径就是确定合理路径的划分原则和标准,我国很多省份都根据实际情况进行了较深入的研究。文献[1]提出以路径所经过的路段数及最短路径的里程差来综合分析定义合理路径。“最短路径里程差”的判别标准就是将超出最短路一定长度的值  $L$  作为临界值,里程不超过  $L$  的路径视为合理路径,这种方法是目前各省合理路径判别方法的基础。“路径所经过的路段数”判别标准的理由不够充分,不具有可行性,因为,高速公路都是全封闭的,除路网边界处存在主线收费站外,其他出入口都不在主线上,出入口数量对主线行驶的车辆影响很小,所以“路段数”没必要作为判别标准。对于合理路径中临界值的问题,文献[2]利用 Logit 流量分配法确定一个非固定的“经验系数”,并进一步利用基于“经验系数”的路段仿真算法来确定合理路径集合。实质上,“经验系数”是根据计算得到的路径数,根据“经验”进行人工调整,实际应用中可能需要高速公路经营、管理者的“集体经验”来决策。文献[3]提出一种基于重叠惩罚的多路径选择算法,设计出了重叠惩罚函数数学模型结构以及路径相似性评价函数定义,对惩罚函数中的协调因数敏感性进行分析,给出了合适的协调因数。这种方法可使各条合理路径之间保持一定的“相异性”,避免不同路径过度相似,避免出现不同路径仅少量路段有差异。对各条合理路径之间关系进行研究,是一个独到的研究角度,但是,它与人们的出行习惯之间的吻合程度还有待进一步研究。

上述研究在理论上进行了很多有益的尝试,研究结论有很强的现实借鉴意义,但是,实际应用中却需要更多的要求合理、简便、易理解。下面以河南省为例进行分析。

## 1 河南省划分标准及存在的问题分析

河南省高速公路建设在全国领先,通车里程五年居全国第一,路网较其他省复杂,因此,合理路径划分标准方面的研究也更早更深入。文献[4]对河南省的研究过程、采用的划分标准进行了细致的描述。

### 1.1 合理路径划分原则

目前,河南省高速公路合理路径的主要界定原则为<sup>[4]</sup>:

(1) 不考虑重复行驶。车辆有明确的目的地,一次出行不会重复走某一段路。

(2) 符合理性决策行为。认为道路使用者总是以个人效用最大化为目标,即选择距离短、时间少、费用低、成本低、路况好、行车安全、舒适、便利等指标作为目标。

(3) 不迂回行驶,满足行驶方向一致性。道路使用者一般都会认定方向,总朝着目的地的方向前进。

### 1.2 合理路径划分标准

根据问卷调查情况,考虑到里程界定标准的确定性和易操作性,最终选择路径里程作为多路径的唯一判断标准,即采用绝对差加相对差的方式。河南省实际采用的合理路径划分标准如表1所示。

表1 河南省高速公路合理路径划分标准

Tab.1 Rational freeway path assessment criterion of Henan province

最短路径长/km	绝对里程差	相对里程差	合理路径区间
<100	20		$[L, L+20]$
100 ~ 250(含 250)		20%	$[L, L*1.2]$
>250	50		$[L, L+50]$

### 1.3 存在问题分析

按照上述合理路径判别标准,随着路网里程和复杂度的增加,节点(包括收费站、互通立交和拆分点)间的合理路径数量增长很快,出现了大量理论上合理但实际中基本不会被选择的路径。下面对比两个时段路网的合理路径数量。

(1) 2006年4月的河南省高速公路网。路网中有165个节点,其中收费站149个,互通立交和拆分点16个。全网合理路径共有26438条,一个起终点对间的合理路径最多有10条,如图1所示。

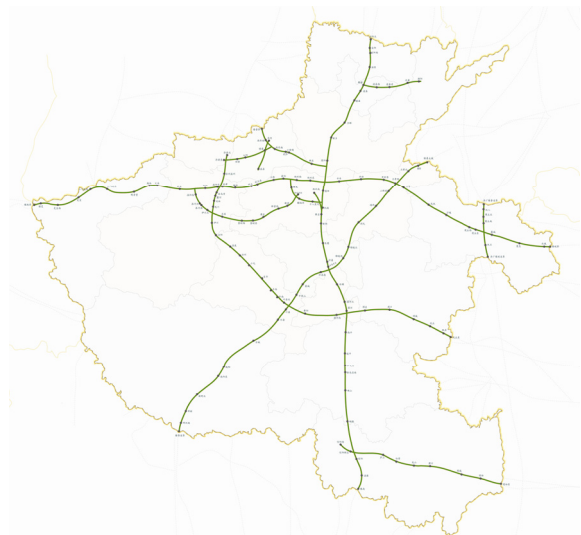


图1 2006年4月河南的高速公路网示意  
Fig.1 Henan freeway net by April 2006

(2) 2009年6月的河南省高速公路网。路网中有354个节点,其中收费站266个,互通立交88个。全网合理路径共有119813条,一个起终点对间的合理路径最多有22条,如图2所示。

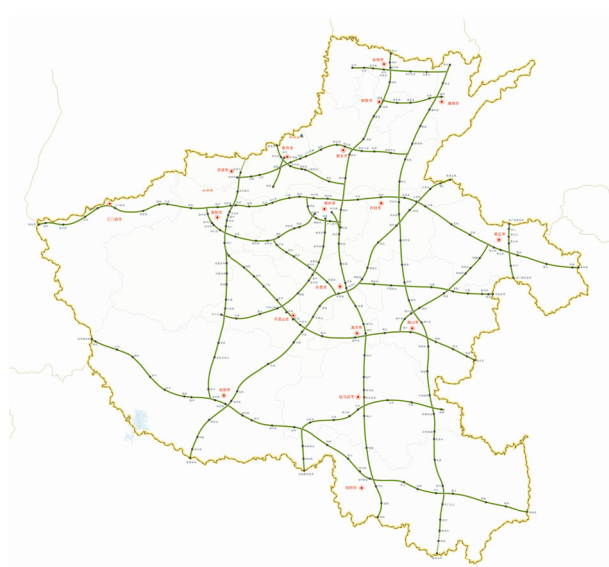


图2 2009年6月河南的高速公路网示意  
Fig.2 Henan freeway net by June 2009

从表2可以看出,随着高速公路里程的增加,节点数增加到2.15倍的时候,合理路径数量却已经增加到4.53倍,一个起终点对间的合理路径最多条数达到22条。对于22条合理路径的情况,其每条路径被选择的概率平均在 $1/22=4.5\%$ 左右,因为,路径数量太多导致概率如此低。实际的理性出行中,应该不会有如此多可选路径。

表2 两次路网节点和多路径情况对比

Tab.2 Comparison between the 2 networks in nodes and paths

河南省路网	节点数/个			路网合理路径总数/条	节点间合理路径最多条数/条
	合计	收费站数	互通立交和拆分点数		
2006年4月路网	165	149	16	26438	10
2009年6月路网	354	266	88	119813	22
倍数	2.15	1.79	5.50	4.53	2.20

这里对“转弯”做出定义。转弯就是在互通立交处离开主线而选择不同编号的路线行驶,并不是所有经过互通立交都是“转弯”,如果选择沿原路线直行就不是转弯。这里选择洛阳洛河南站至安阳南乐站之间的路径进行分析。根据合理路径判别条件,两收费站间共有22条合理路径(详细路线略),其里程和转弯次数如表3所示。

表3 多路径里程及转弯次数

Tab.3 Multi-path lengths and turning times

序号	里程/km	转弯次数/次	序号	里程/km	转弯次数/次	序号	里程/km	转弯次数/次
1	360.954	6	9	376.12	3	17	386.650	6
2	363.757	5	10	377.407	3	18	388.510	7
3	367.436	6	11	377.416	7	4	390.32	4
4	370.239	5	12	380.219	7	5	393.132	7
5	370.935	4	13	382.028	7	5	394.391	7
6	373.317	4	14	383.297	7	4	399.013	7
7	373.738	5	15	385.698	4			
8	374.604	2	16	386.100	7	5		

上述22条路径中,转弯次数最少2次,最多6次,而且转弯次数的多少与路径的里程并没有关联。理论上存在包含多次转弯的合理路径,而实际上因为路径过于复杂而一般不会被司机采用。如果一次出行需要多次转换路线,将会是便捷的高速公路出行变得

“复杂”，即使对于非常熟悉路网的驾驶者来说也不太可能正确无误地完成。转换路线需要驾驶者特别集中注意力，一旦错过转向点将无法回头，转换路线给驾驶者带来了额外的负担，所以，驾驶者一般不愿意选择多次转换的路线。同时，数量过多的“合理路径”分担了路径被选择的概率，造成最短路的出行概率也仅有6.1%，如果应用到资金拆分中，将会造成大范围“分摊”，而没有明显的“主路径”，这种情况显然是不合理的，与实际出行行为不相符，因此有必要增加限定条件剔除一部分路径。

## 2 改进方法

在复杂路网中，转弯次数会对出行者的路径选择产生明显的影响，因此，有必要建立包含转弯次数影响的合理路径判断模型。转弯造成的影响主要为两方面：

(1) 在减速车道、转弯匝道、加速车道以低于主线速度行驶，造成出行时间的增加；

(2) 转弯使出行路径变得复杂，影响了出行者的路径选择行为。

第1方面的影响可以精确地计算，如式(1)所示：

$$\Delta t = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{v_1} - \frac{l_1 + l_2 + l_3}{v_0} = (l_1 + l_2 + l_3) \cdot \left( \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_0} \right) \quad (1)$$

式中：

$\Delta t$ ——因转弯造成的行驶时间增加值，h；

$l_1$ ——减速路段里程，km；

$l_2$ ——转弯匝道里程，km；

$l_3$ ——加速路段里程，km；

$v_0$ ——主线设计速度，km/h；

$v_1$ ——转弯路段设计速度，km/h。

第2方面的影响涉及心理因素，难以直接用数学公式表达。为客观评价转弯次数的影响，这里引入惩罚系数，将各路径里程变为复合里程，如下式所示：

$$L_i + \Delta l \times n \times \delta \quad (2)$$

式中：

$L_i$ ——第*i*条路径的原始里程，km；

$\Delta l$ ——每次转弯造成的行驶里程增加值，km/次，

$$\Delta l = \Delta t \cdot v_0；$$

$n$ ——第*i*条路径的转弯次数，次；

$\delta$ ——惩罚系数。

经过上述改进后，可以在不改变合理路径判别标准的情况下，通过复合里程来优化合理路径集的目的。

## 3 实例分析

### 3.1 转弯影响分析

按河南省高速公路的一般情况，整个转弯过程中各项参数为：

$l_1$ ——减速路段里程，取0.5 km；

$l_2$ ——转弯匝道里程，取0.7 km；

$l_3$ ——加速路段里程，取0.3 km；

$v_0$ ——主线设计速度，取120 km/h；

$v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ ——减速段、转弯段和加速度段设计速度，统一取为60 km/h。

根据式(1)可以算出，因转弯造成的行驶时间增加值为0.0125 h，按设计速度转换为里程是1.5 km。

加上转弯造成的里程增加，从洛阳洛河南站至安阳南乐站之间的22条路径中，最短路里程为369.954 km，最长路径里程为406.514 km，比最短路长36.560 km，没有超过限值50 km，所以，如果不考虑惩罚系数，全部22条路径都是合理路径，合理路径数不能减少。显然，这种结果不能反映实际的路径选择行为。

### 3.2 惩罚系数

惩罚系数的值应该如何确定呢？这里采用问卷调查加试算的方法，也就是：首先，通过问卷调查，获得用户的路径选择意愿；然后，调整惩罚系数 $\delta$ 进行试算，直到与调查结果吻合。

对经常出行高速公路的司乘人员进行小范围问卷调查，共调查了34人，调查结果如表4所示。

表 4 各路径问卷调查结果

Tab.4 Results of questionnaire on multi-path

路径序号	票数	路径序号	票数	路径序号	票数
1	0	9	10	17	0
2	0	10	8	18	0
3	0	11	3	19	0
4	0	12	0	20	0
5	2	13	0	21	0
6	3	14	0	22	0
7	0	15	0		
8	10	16	0		

从表 4 可以看出,调查选票分布非常集中,主要是 8、9、10 三条路径,另外还有 5、6、11 有少量选票。调查结果与路径转弯次数非常吻合,其中,路径 8 转弯次数为 2,路径 9 和 10 转弯次数为 3,路径 5、6、11 转弯次数为 4。但是,还有部分转弯次数同为 4 的没有被选择(如 14、15、20)。

接下来,对惩罚系数的值与有效路径数的关系进行考查,得到图 3。

从图 3 可以看出,惩罚系数小于等于 5 时,有效路径数保持不变;惩罚系数在 5 到 14 之间时,有效路径数减少较快;惩罚系数在 14 到 18 之间时,有效路径数呈缓慢减少趋势;惩罚系数大于等于 18 时,有效路径数基本保持稳定(惩罚系数持续增大后,有效路径数最终肯定为 1,不再考察)。

#### 参考文献

- [1] 陈双燕,过秀成,陈文婕等.上海市高速公路联网收费合理路径分析研究[C].大连:交通与物流第六届(2006)交通运输领域国际学术会议论文集,2006:294-299.
- [2] 张健,刘东,巨永锋.公路网合理路径集合判断方法的研究[J].公路,2007(10):144-147.

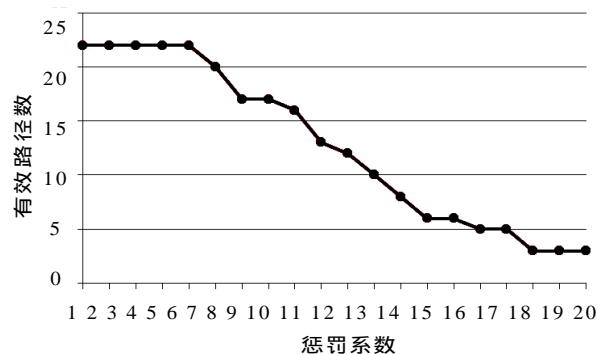


图 3 惩罚系数值与有效路径数关系

Fig.3 Relationship between penalty coefficient and effective paths

当惩罚系数为 14 时,有效路径数为 6,分别为路径 5、6、8、9、10、11,与问卷调查结果一致。所以,惩罚系数可取为 14。

## 4 结 论

(1)通过惩罚系数将转弯次数的影响引入合理路径判别标准,能够很好的反应实际出行选择行为。

(2)研究中只是通过一个起终点对进行分析,得到的惩罚系数值是否适用于全网,还有待进一步研究。

(中文编辑:吴继屏)