

基于模糊逻辑的路径选择模型

A Route Selection Model Based on Fuzzy Logic

胡春斌¹, 安实², 王健²

(1.中国城市规划设计研究院,北京 100037;2.哈尔滨工业大学交通科学与工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090)

HU Chun-bin¹, AN Shi², WANG Jian²

(1.China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China; 2.School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China)

摘要: 为有效解决路径选择行为中的不确定性问题,采用模糊逻辑方法建立路径选择模型。用三角模糊数描述路径行驶时间,并建立一定的模糊规则,然后,用近似推理方法两两对比可选路径,在对比矩阵基础上计算各条路径的权重,即路径被选择的概率。最后,对路径选择模型进行算例应用,验证了模型的有效性。

Abstract: In order to effectively address uncertainties in route selection behaviors, this paper establishes a route selection model using a fuzzy logic approach. Firstly, the paper defines travel time in terms of triangular fuzzy numbers, and introduces corresponding fuzzy rules. Given these fuzzy rules, a pair of available routes are compared with each other by a heuristic approximation, yielding the probability to select a route based on the weighting of each route resulted from the comparison matrices. A numerical example is included to illustrate the application of the route selection model.

关键词: 交通规划; 路径选择; 模糊逻辑; 近似推理

Keywords: transportation planning; route selection; fuzzy logic; heuristic approximation

中图分类号: U491.1²³ 文献标识码: A

收稿日期: 2008-06-14

作者简介: 胡春斌(1983-),男,浙江监海,硕士,主要研究方向:智能交通。

E-mail: anshi@hit.edu.cn

路径选择模型旨在通过采用合理的方法,客观、真实地反映驾驶人的路径选择行为。而路径选择的不确定性主要受驾驶人行为的随机性及判断事物的模糊性两大因素影响^[1]。传统的路径选择模型通常以精确数值描述路径选择项并以概率形式输出结果,例如,Logit模型和Probit模型都是以概率论方法处理人们认知的主观性及模糊性,这些模型虽较为简洁、直观,但人的大脑在进行逻辑推理时很大程度上是基于不确定的、模糊的、带有主观意识的判断,决策制定的过程也相当复杂。近年来,模糊逻辑能有效地处理由数据不精确性及系统复杂性导致的行为不确定性已被国内外认可^[2-3]。文献[4]的研究发现,Zadeh的模糊逻辑能很好地解析驾驶人路径选择行为,并取得较好的精度,特别是在数据相对缺乏或驾驶人对可选路径的认知比较含糊的情况下。本文通过数值模糊化处理以及相应的模糊规则,采用最大最小法近似推理,建立驾驶人路径选择模型。

1 模糊感知与处理

当驾驶人被问及某一路径的行程时间时,大都采用模糊表示方法,而非具体的、精确的数值,如“大概半个钟头”。尽管有些驾驶人会说“20 min”,但他也不能肯定这个时间到底有多准。这说明人们往往采用模糊的数值表示主观判断,精确的数值在实际操作过程中是以不精确形式表示的,即真实数据不精确表示论^[5]。当被问哪条路径最优时,驾驶人常常采用两两对比的方法来判断,例如,路径A的行驶时间要比路径B的短。这种判断是基于行驶时间的模糊感知,两两之间的差别具有一定的不确切性。这

说明事件的处理及判断大都采用比较的形式进行,且伴随一定的模糊性,即含糊判断论^[5]。

路径的感知行驶时间遵循一定规则。驾驶人大多以“一路畅通”和“一路红灯”来标定行驶时间的最大、最小值,但这两种情况的可能性较小,而对正常情况下的行驶时间一般模棱两可。本文采用三角模糊数 $\tilde{t} = (t_{\min}, t_{\text{nor}}, t_{\max})$ 来描述路径的行驶时间,其中 t_{nor} 对应集合中隶属度为1的中值, t_{\min} , t_{\max} 分别对应集合的最小、最大值,如图1所示。在路径行驶时间三角模糊数中, t_{\min} 表示该路径所有路段的行驶时间之和(不包括交叉口停车等待时间); t_{\max} 表示该路径所有路段的行驶时间及各交叉口最大等待时间,各交叉口的最大等待时间以该交叉口红灯信号时间表示; t_{nor} 的大小与驾驶人对该路径的熟悉程度、个人属性及路径的交通状况、信号配时有关,具有一定的随机性,为简化模型计算而又不失一般性,采用 t_{\min} 和 t_{\max} 的中间值代替。

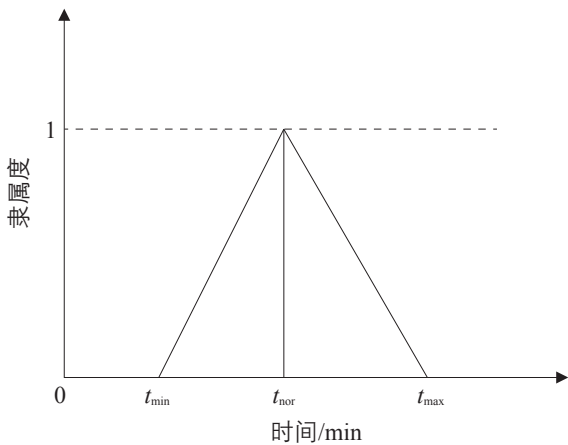


图1 路径的感知行驶时间
Fig.1 Perceived route travel time

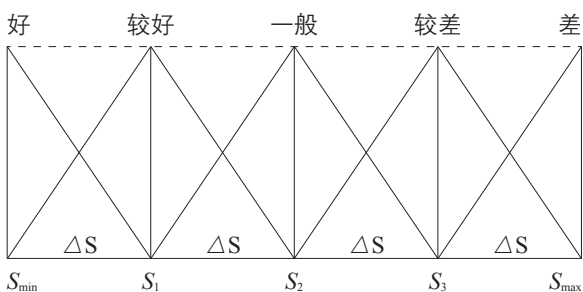


图2 行驶时间模糊等级划分
Fig.2 Fuzzy classification of travel time

2 路径选择模型

2.1 有效路径

在复杂路网中,一对起讫点(OD)对应多条路径,但驾驶人在选择时能感知的路径是有限的,本文将驾驶人能感知的路径称为有效路径。引入一个量化指标 Δ , 表示出行者在出行过程中能容忍的比最短路径多用的时间与最短路径所用时间的比值,即在备选路径中,若所选路径行驶时间的中值与最短路径行驶时间的中值相对差小于或者等于临界相对差 Δ , 即为有效路径^[6]。

2.2 模糊等级划分

人们在思维逻辑中通常采用约定俗成的方法处理未知、临时的信息,当路径的感知行驶时间输入到思维系统后,需要转化为大脑能够识别且能处理的输入形式,模糊等级划分就是输入转化的一个过程。设 S_{\max} , S_{\min} 表示所有路径的最大、最小感知时间,并假定每个模糊等级的强度都是相当的,则各模糊等级的强度

$$\Delta S = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{n - 1}, \quad (1)$$

式中: n 为要考虑的感知等级数,通常假定一个人能区分开来的感知等级数为5,分别为“好”、“较好”、“一般”、“较差”及“差”,这5个等级的范围可由图2表示。由此可得,各路径行驶时间相对于各感知等级的隶属度,其值以行驶时间与感知等级交叉部分的最大值表示,因此,若行驶时间与某一感知等级没有交叉,则行驶时间相对于该感知等级的隶属度为0。

路径两两对比是以重要程度来表示路径之间的关系,重要程度的等级可分为:绝对重要(Absolute Importance, AI)、非常重要(Demonstrated Importance, DI)、很重要(Strong Importance, SI)、稍微重要(Weak Importance, WI)、同等重要(Equal Importance, EI);同时采用绝对不重要(Reciprocal of Absolute Importance, RAI)、非常不重要(Reciprocal of Demonstrated Importance, RDI)、很不重要(Reciprocal of Strong Importance, RSI)、稍微不重要(Reciprocal of Weak Importance, RWI)来表示相反的情况。根据近似推理中的 Saaty 理论对各等级赋值,如表1所示^[7]。

2.3 模糊规则

本文采用“如果…那么…”形式的模糊规则

来建立能够客观模拟人们主观评价的模糊推理机制, 该规则中包含路径两两对比的关系。形式为

表1 模糊等级量化值
Tab.1 Output of fuzzy rules

等级划分	定义	量化值
EI	两条路径具有相同的重要程度	1
WI	一条路径的重要程度稍微大于另一条路径	3
SI	一条路径的重要程度明显大于另一条路径	5
DI	一条路径的重要程度非常明显大于另一条路径	7
AI	一条路径的重要程度以压倒优势大于另一条路径	9
介于相邻判断之间		2,4,6,8
当路径 <i>i</i> 相对路径 <i>j</i> 具有非0的重要程度, 则路径 <i>j</i> 相对路径 <i>i</i> 具有该值倒数的的重要程度。		以上数值的倒数

表2 行驶时间模糊规则
Tab.2 Fuzzy rules for travel time

<i>if</i>		<i>and</i>		<i>then</i>		
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
路径1	好	路径2	好	EI	5	1
		路径2	较好	WI	6	3
		路径2	一般	SI	7	5
		路径2	较差	DI	8	7
		路径2	差	AI	9	9
路径1	较好	路径2	好	RWI	4	1/3
		路径2	较好	EI	5	1
		路径2	一般	WI	6	3
		路径2	较差	SI	7	5
		路径2	差	DI	8	7
路径1	一般	路径2	好	RSI	3	1/5
		路径2	较好	RWI	4	1/3
		路径2	一般	EI	5	1
		路径2	较差	WI	6	3
		路径2	差	SI	7	5
路径1	较差	路径2	好	RDI	2	1/7
		路径2	较好	RSI	3	1/5
		路径2	一般	RWI	4	1/3
		路径2	较差	EI	5	1
		路径2	差	WI	6	3
路径1	差	路径2	好	RAI	1	1/9
		路径2	较好	RDI	2	1/7
		路径2	一般	RSI	3	1/5
		路径2	较差	RWI	4	1/3
		路径2	差	EI	5	1

如果“路径1 = A₁” and “路径2 = A₂”，那么“a₁₂ = B”，其中，A₁为路径1的输入部分；A₂为路径2的输入部分；a₁₂为路径1相对路径2的输出部分。

路径行驶时间的两两对比模糊规则见表2，f列表示路径*i*相对于路径*j*的模糊规则输出部分，g列表示相应的重要程度。采用f列而不是g列作为模糊规则的输出部分，是为了保证采用模糊规则及模糊聚集后得到的对比矩阵呈反比对称形式，两者在反模糊化之后进行转化，根据f列与g列对应的数据，可确定两者之间的转化函数

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 + 8 \cdot \frac{a'_{ij} - 5}{4} = 2a'_{ij} - 9 & \forall a'_{ij} \geq 5 \\ \frac{1}{1 + 8 \cdot (5 - a'_{ij})/4} = \frac{1}{11 - 2a'_{ij}} & \forall a'_{ij} < 5 \end{cases}, \quad (2)$$

式中：a_{ij}为路径*i*相对于路径*j*的重要程度，其值介于(1/9, 9)之间；a'_{ij}为路径*i*相对于路径*j*模糊规则输出部分。

2.4 近似推理

近似推理是模糊逻辑中较为常用的方法之一，是通过一定规模的模糊规则近似处理所有可能发生的逻辑关系。如一模糊关系R是“如果…那么…”形式的模糊规则，则可用式(3)表示为

$$R = \tilde{A} \rightarrow \tilde{B}, \quad (3)$$

式中： \tilde{A} 表示输入部分， \tilde{B} 表示输出部分，R表示模糊关系。若一个变量 \tilde{A}' ，而不是 \tilde{A} 进入该模糊规则，则会产生 \tilde{B}' 的输出值，而不是 \tilde{B} ，这就是模糊逻辑中近似推理产生的结果。其公式为

$$\tilde{B}' = R \circ \tilde{A}', \quad (4)$$

式中： \circ 表示模糊代数中的成分运算符。本文采用

成分运算符中较为常用的最大最小法进行近似推理，其公式为

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \max_{t \in T} \{ \min [\mu_{\tilde{A}}(t), \mu_R(t, y)] \}, \quad (5)$$

式中： μ 表示隶属度，介于(0, 1)之间； $\mu_{\tilde{B}}(y)$ 表示 \tilde{B}' 的隶属函数； t 表示行驶时间； $\mu_{\tilde{A}}(t)$ 表示 \tilde{A}' 的隶属函数； y 表示模糊规则输出部分的量化值； $\mu_R(t, y)$ 表示模糊关系R。可用图3表示。

2.5 权重求解

根据模糊规则及近似推理方法，可得到一系列模糊规则输出值。本文采用质心法(Center of Area, COA)进行反模糊化，表示形式为

$$y^* = \frac{\int \mu_{\tilde{B}}(y) \cdot y dy}{\int \mu_{\tilde{B}}(y) dy}, \quad (6)$$

反模糊化后通过式(2)的转化函数，可得到可选路径之间的重要程度，依此建立对比矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

矩阵A的元素具有以下性质：1) a_{ij} = 1 / a_{ji}；2) a_{ii} = 1。在此a_{ij}可认为路径*i*权重w_i与路径*j*权重w_j的比值，即w_i = a_{ij}w_j。路径进行累加得到

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} w_j = m w_i \quad \forall i = 1, \dots, m, \quad (8)$$

式中：m为路径的个数。因此，

$$AW = mW. \quad (9)$$

式(9)是式(8)的矩阵形式，其中W是m×1的矩阵，表示所有路径的权重。m为矩阵A的最大正特征值，W为m对应的特征向量，而该矩阵的其他特征值均为0。在实际求解过程中，矩阵A存在实的正单根λ₁ ≥ m，使得该矩阵的其他特征值λ都有|λ| <

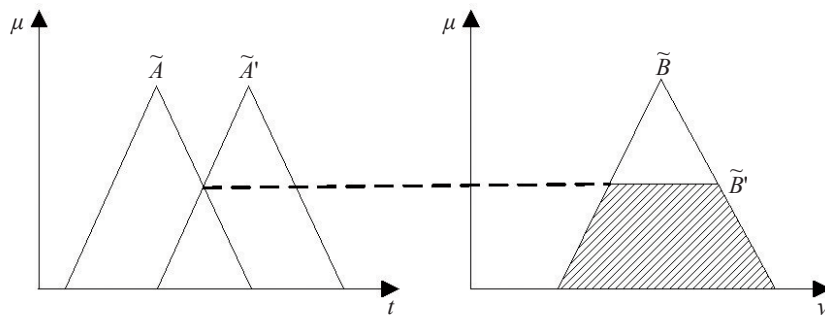


图3 最大最小法近似推理原理
Fig.3 "max-min" heuristic approximation

λ_1 , 且 λ_1 对应的特征向量的每个分量都大于0。因此 λ_1 对应的特征向量 W 即为有效路径的权重矩阵^[7], 将其归一化即可得到各路径被选择的概率矩阵。其公式为

$$P_i = \frac{|w_i|}{\sum_{i=1}^m |w_i|}, \quad (10)$$

式中: P_i 为有效路径 i 的选择概率。

3 算例

假设某一OD对间存在三条有效路径A, B, C, 这三条有效路径的感知行驶时间分别为 $\tilde{t}_A = (20, 30, 45)$, $\tilde{t}_B = (15, 30, 40)$, $\tilde{t}_C = (20, 25, 40)$, 单位均为min。因此可建立行驶时间模糊等级, 具体参数有: $s_{max} = 45 \text{ min}$, $s_{min} = 15 \text{ min}$, $\Delta s = 7.5 \text{ min}$ 。根据模糊规则近似推理及反模糊化, 可得各条路径两两对比的结果, 见表3, 其中“A/B”表示路径A相对于路径B对应相应输出值的隶属度, 如表中数值0.572表示路径A相对于路径B稍微重要的隶属度为0.572。根据表3中的 a_{ij} 可得到两两对比矩阵

$$A = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.58 & 0.57 \\ 1.71 & 1.00 & 0.94 \\ 1.77 & 1.07 & 1.00 \end{bmatrix},$$

该矩阵最大正特征值为3.002 3, 对应的特征向量为 $[-0.377, -0.637, -0.673]$, 归一化得到路径的权重矩阵为 $[0.22, 0.38, 0.4]$, 即这三条路径被选择的概率为22%, 38%, 40%。

4 结论

采用三角模糊数描述路径的行驶时间, 通过路径行驶时间两两对比的方法确定各路径的权重。该路径选择模型能较好地解决驾驶人路径选择过程中言语描述的不确定性及思维的复杂性, 一定程度上模拟了驾驶人在制定路径选择决策过程中大脑的思维过程。但是, 模糊逻辑的应用并不能完全取代传统的概率论方法。在驾驶人路径选择决策过程中, 往往伴随着事件随机性导致的不确定性及驾驶人对事物判断的模糊性及不精确

性, 前者可采用概率模型很好地处理, 而后者则可通过模糊逻辑处理。因此, 如何有机结合模糊理论和概率理论更好地研究驾驶人路径选择行为, 将是今后的研究方向。

参考文献:

References:

- [1] Teodorovic D, Kikuchi S. Fuzzy Sets in Traffic and Transportation Systems [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 116(1): 1 - 5.
- [2] Tsippy Lotan, Haris N Koutsopoulos. Models Route Choice Behavior in the Presence of Information Using Concepts from Fuzzy Set Theory and Approximate Reasoning [J]. Transportation, 1993 (20): 129 - 155.
- [3] Hoogendoorn S, Hoogendoorn-lanser S. Fuzzy Logic in Traffic Engineering [EB/OL]. [2008 - 06 - 12]. <http://www.erudit.de/erudit/events/tc-c/Hoogendoorn1.pdf>.
- [4] M Ridwan. Fuzzy Preference Based Traffic Assignment Problem [J]. Transportation Research Part C, 2004(12): 209 - 233.
- [5] Hoogendoorn-lanser S, Hoogendoorn S. A Fuzzy Genetic Approach to Travel Choice Behavior in Public Transport Networks[EB/OL]. [2008 - 06 - 12]. <http://www.erudit.de/erudit/events/tc-c/Hoogendoorn2.pdf>.

表3 路径选择规则结果
Tab.3 Results of route selection

输出值	隶属度		
	A/B	A/C	B/C
EI	1.000	0.778	0.778
WI	0.572	0.572	0.667
RWI	0.667	0.800	0.800
SI	0.572	0.444	0.444
RSI	0.667	0.667	0.572
DI	0.167	0.143	0.333
RDI	0.348	0.348	0.200
AI	0.143	0.130	0.130
RAI	0.333	0.200	0.167
y^*	4.640	4.080	4.090
a_{ij}	0.580	0.570	0.940