

文章编号: 1002-0268 (2008) 08-0114-05

基于层次分析法的物流配送 车辆导航路径规划求权方法

温惠英, 沈毅贤

(华南理工大学, 广东 广州 510640)

摘要: 研究了针对物流配送车辆导航, 利用层次分析法进行路径规划求权。物流配送车辆导航系统的核心功能之一是路径规划, 道路权值是路径规划的基础。考虑到物流配送涉及的多方面利益, 首先确定道路权值需要综合考虑各种道路与非道路的影响因素。以配送总代价最低为优化目标, 在全面分析各影响因素的基础上, 就各自特点对其进行量化和无量纲化处理, 然后利用层次分析法, 提出道路权值的计算方法, 计算出各影响因素组合权重, 由此得到路径规划所需要的道路权值。该求权方法以物流配送车辆导航为基础, 权值综合体现了多方面利益, 为物流配送车辆导航的路径规划提供依据。

关键词: 交通工程; 道路求权; 层次分析法; 物流配送车辆导航; 路径规划

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

A Method of Computing Weight of Logistics Navigation Route Planning Based on Analytic Hierarchy Process

WEN Hui-ying, SHEN Yi-xian

(South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: Aiming at logistics navigation, a method of seeking the weight of route planning was studied by using analytic hierarchy process. Function of short cut searching is one of core functions of routing module of vehicle navigation system. Route planning is based on the weight of road. In view of several aspects which logistics distribution relates to, it is confirmed that the road weight must take many integrated impacts of road and non-road attribute into account. With the optimization aim of the lowest distribution cost, standard function was given to make quantification and data dimensionless for each attribute, the computing way for road weight was set by using analytic hierarchy process, and then the road weight which expresses the syntheses was got. This method can support the route planning in logistics navigation.

Key words: traffic engineering; road weight; analytic hierarchy process (AHP); logistics navigation; route planning

0 引言

物流配送是现代流通业实现资源最优配置的经济活动, 物流配送车辆导航路径规划是指对配送车辆在多个货物需求点间的路径规划。车辆执行配送任务,

要求以最短的时间、最低的成本实现商品从供给方向需求方的转移, 必须付出一定的代价。在激烈的市场竞争环境下, 配送企业为了提高竞争力, 要求最大限度降低此代价, 同时物流配送涉及多方面利益。单车辆执行对多个货物需求点执行配送时需要在企业、客

收稿日期: 2007-07-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50578064); 广东省科技攻关资助项目 (2005A10101001)

作者简介: 温惠英 (1965 -), 女, 江西于都人, 副教授, 研究方向为 ITS 与现代物流技术、交通运输规划与管理. (hywen@scut.edu.cn)

户及社会利益之间寻求平衡点, 制定最优的配送方案。

道路权值是进行路径规划的基础, 目前关于物流配送路径规划求权的研究较少。而一般的路径规划求权方法多注重道路交通状况的影响, 通过计算出行时间、出行距离, 和研究路阻函数模型、交叉口延误模型^[1,2]、路网可靠度模型等来计算道路权值。这在物流配送车辆导航路径规划中是远远不够的, 还需要考虑其他道路和非道路因素的综合作用^[1~3]。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是一种对较为复杂、较为模糊的问题作出决策的简易方法, 合理地将定性与定量的决策结合起来, 适用于一些难于完全定量分析的问题。考虑物流配送路径规划的求权问题综合了定性和定量的问题, 本文使用 AHP 法, 计算各影响因素的组合权重, 进而确定道路权值。由于各因素的取值范围有所差异, 为使其能一起参与计算, 本文分别对各因素进行无量纲化处理。

1 物流配送车辆导航路径规划的目标

制定配送路径规划需要考虑企业、客户以及社会的利益^[7]: (1) 用户对配送的时间性、安全性要求较高, 特别是新鲜品的运送; (2) 企业为了提高经济效益, 一般将通过选择最优路径、实现共同配送和多点配送等手段减少运输成本; (3) 社会利益主要在于减少道路拥挤和废气的排放。

路径规划优化目标的选取直接决定最优路径所体现的意义。因此, 在充分考虑以上 3 者利益的基础上, 物流配送车辆导航路径规划可选择目标有: (1) 出行距离最短; (2) 出行时间最短; (3) 路线切换复杂程度最小; (4) 运力利用最合理; (5) 劳动力消耗最低; (6) 总代价最低。

在以上多个可供选择的优化目标中, 总代价最低考虑了车辆的行驶油耗、损耗等费用、人工费用、收费道路费用等的经济代价、出行时间代价以及企业在客户中的信誉代价等, 体现了企业追求效益最高的要求, 以及用户对物流配送的基本要求, 同时也体现了社会利益。本文确定以其作为物流配送路径规划的优化目标。

2 物流配送车辆导航路径规划的影响因素

由于物流配送涉及多方利益, 因此在确定道路权值之前, 需要对多个影响因素进行分析。各影响因素的量纲各有不同, 要把不同因素不同量纲的数据进行

整合, 有必要对各因素属性数据进行无量纲化处理, 把所有影响因素数据通过变换映射到 [0, 1] 区间里。

2.1 交通拥挤度

交通拥挤是影响物流配送路径选择的最大影响因素。道路拥挤严重影响配送的快捷和准时性, 车辆的缓慢行走还会增加油耗, 进而增加配送成本。

交通拥挤程度是一个抽象的概念, 要在道路权值中体现, 需要对其进行量化。本文根据交通服务等级, 引入 [0, 1] 之间的拥挤度系数 $M^{[6]}$, 使拥挤程度体现在道路权值中。

拥挤度系数与速度、行车密度、交通量 3 个交通参数相关, 能直接反映道路交通流状况。而速度、行车密度、交通量等数据可通过交通检测器和交警部门提供。城市道路分快速路、主干道、次干道、支路等级别, 不同级别的道路设计速度有所不同。

以城市快速路为例, 各级拥挤程度与相应的拥挤度系数见表 1 所示。需要注意的是, 在设置拥挤度系数时, 应该根据设计速度的不同, 对表 1 中所对应的 v 、 k 、 q/Q 的值进行修正。

表 1 服务等级、拥挤程度与拥挤度系数的对应关系^[6]

服务等级 拥挤度系数 M		设计速度 60 km/h		
		速度 v	密度 k	q/Q
畅通	$0 \leq M < 0.2$	$v \geq 50$	$k \geq 24$	$q/Q \geq 0.85$
正常	$0.2 \leq M < 0.4$	$40 \leq v < 50$	$24 < k \leq 40$	$0.85 < q/Q \leq 1$
轻微拥挤	$0.4 \leq M < 0.6$	$30 \leq v < 40$	$40 < k \leq 60$	$0.75 < q/Q \leq 0.85$
拥挤	$0.6 \leq M < 0.8$	$20 \leq v < 30$	$60 < k \leq 75$	$0.45 < q/Q \leq 0.75$
严重拥挤	$0.8 \leq M \leq 1.0$	$v < 20$	$k > 75$	$q/Q \leq 0.45$

注: q 为路段的交通量, Q 为饱和流量

2.2 交叉口延误

在实际出行中, 拥堵和延误常常发生在交叉口, 行驶在城市路网的配送车辆, 在交叉口所耗费的时间大约占整个出行时间的 20% ~ 40%。在大城市中, 主要以信号交叉口为主, 因此, 交叉口延误主要是通过交叉口埋设的检测线圈, 获取进口道的到达交通量, 结合导航系统数据库中该交叉口的饱和流量以及进口道的通行能力, 运用信号交叉口延误模型, 或道路通行能力手册 (HCM) 方法来确定。其他类型的交叉口 (非定周期信号交叉口、无信号交叉口、立交) 延误, 可设定在相同交通量水平下与信号交叉口进行对比分析, 也可采用特殊的方法进行确定。

确定交叉口延误这个影响因素的权值, 可参考每车平均信控延误值与信号交叉口服务水平的对应关系

进行取值, 如表 2 所示。

表 2 交叉口机动车延误与对应的服务水平及权值

Tab. 2 The connection of delay, service level and weight

延误时间/s	≤10	11~20	21~35	36~55	56~80	>80
服务水平	A	B	C	D	E	F
权值	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

2.3 交通安全

道路交通安全程度关系到配送货物是否能准时安全的到达, 以及配送公司的经济效益, 因此影响着配送路径的规划选择, 配送车辆应尽量避免途经事故高发路段或交叉口。

本文参考道路交通安全评价指标, 将道路交通安全性进行量化, 在导航系统数据库中存储各路段的交通事故情况, 结合路段流量, 采用单位车事故率(次/车)和来评价道路交通安全性。

设置交通事故率的阈值 $[m_i, M_i]$, 通过无量纲化标准函数^[5], 设定该路段安全程度的权值, 即:

$$w = \begin{cases} 1, & x_i \geq M_i, \\ (x_i - m_i) / (M_i - m_i), & m_i < x_i < M_i, \\ 0, & x_i \leq m_i, \end{cases}$$

式中, x_i 为实际的交通事故率。

2.4 道路等级

不同类型、不同级别道路的设计车速存在差异, 影响着配送车辆的路径选择。在相同的交通状态下, 配送车辆要实现运送时间最少, 可选择级别较高的道路, 若追求总代价最低, 可根据费用情况进行选择。道路等级影响因素权值, 可根据道路级别在 $[0, 1]$ 区间内设定。

2.5 交通事件

交通事件主要是指道路施工维修、临时的交通管制、车辆故障、路面损坏等有可能发展成交通拥挤和交通事故的事件。道路施工、车辆故障、路面状态的改变(损坏、积水、积雪)会占用车道, 临时交通管制会改变道路通行方式。这些交通事件的发生将会阻碍车辆通行速度, 降低道路的通行能力, 增加出行延误时间, 影响配送车辆的准时性和经济效益。因此, 需要在计算路段和节点权值时, 考虑交通事件的影响。

除了道路施工和临时交通管制外, 交通事件多具有随机性和突发性, 需要通过视频检测器进行检测, 根据事件的严重程度确定路段权值。

2.6 交通组织

交通组织主要是指交叉口的转向限制(禁左、禁右)以及路段对车辆的限制(车辆类型、最大高度、

最大长度、限制时间、路障等)。配送车辆类型多样, 共同配送或大件物品的配送需要用到大型货车, 会受到道路条件和道路组织的约束, 因此, 交通组织会影响配送路径的选择, 应在权值中体现。当允许配送车辆通行时, 该影响因素的权值为 0, 反之, 为无限大。

2.7 气象环境

浓雾、暴雨、大雪、强风和雷击等气象环境状况, 都会严重影响行车安全以及货物的完整性和安全性, 特别是行驶在高速公路上的车辆。因此, 有必要在路段和节点的权值上加入天气因素, 以体现气象环境对路径选择和权值确定的影响。根据气象台的天气分级, 在 $[0, 1]$ 区间内对天气因素进行无量纲化。

2.8 通行费用

通行费用是指配送车辆在配送过程中所需要的路桥费。在城市中配送, 路桥费一般纳入车辆年度需交纳的常规费用中, 而在城市间配送, 则需交纳高速公路通行费, 入城费, 过桥费等。该影响因素可通过设定的费用阈值, 在 $[0, 1]$ 间进行无量纲化。

3 物流配送车辆导航路径规划求权

3.1 层次分析法模型的构建

AHP 主要是通过对系统多个因素的分析, 划分各因素相互联系的有序层次, 对每层的各因素进行客观判断后, 给出相对重要性的定量表示, 建立数学模型, 计算每次各因素的相对重要性, 再进行规划和决策。

(1) 建立树状层次结构模型

根据上文对配送路径规划目标和各种影响道路权值确定因素的讨论, 构建的层次结构体系, 见图 1 所示。第 1 层为目标层; 第 2 层为准则层; 第 3 层为子准则层。

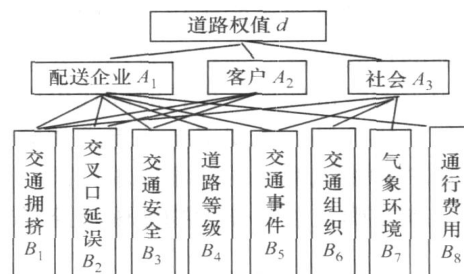


图 1 道路权值指标体系图

Fig. 1 The target system of road weight

(2) 构建判断矩阵

确立判断量化的标度, 通过对各因素进行两两

比较,按照表 3 的标度原则,采取五标度构造判断矩阵。根据项目专家组评分,建立判断矩阵见表 4。由于篇幅限制,本文只列出对配送企业的指标 A_1 加权结果,其他指标不在此一一列出。

表 3 判断矩阵标度含义

Tab. 3 Degree meaning for judgment matrix	
标度	含义
1	两个因素同等重要
2	两个因素相比,一个因素比另一个因素较重要
3	两个因素相比,一个因素比另一个因素重要
4	两个因素相比,一个因素比另一个因素很重要
5	两个因素相比,一个因素比另一个因素非常重要
倒数	因素 B_j 与 B_i 比较时,标度为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

表 4 判断矩阵

Tab. 4 Judgment matrix							
A_1	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_8	w_i
B_1	1	1	2	4	3	5	0.361
B_2	1	1	2	4	3	5	0.361
B_3	1/2	1/3	1	3	2	4	0.205
B_4	1/4	1/4	1/3	1	1/2	2	0.085
B_5	1/3	1/3	1/2	2	1	3	0.136
B_8	1/5	1/5	1/4	1/2	1/3	1	0.056
$\lambda_{\max} = 6.001$							

(3) 层次单排序,进行一致性检验

层次单排序是指根据判断矩阵对于上一层某一因素而言,本层次与之有关系的因素的重要性次序的权值,即计算判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量,并将特征向量归一化后就得到各因素的相对权重^[6]。单排序一致性指标为:

$$CR(n) = CI(n) / RI(n),$$

其中, $CI(n) = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$; n 为参与对比的因素个数,本节令 $n = 6$; $RI(n)$ 的值在平均随机一致性指标表中获取, $RI(6) = 1.24$ 。

当判断矩阵 A 的 $CR < 0.1$ 或 $\lambda = n, CI = 0$ 时,认为判断矩阵 A 满足一致性要求,否则要调整 A 中的元素。

通过以上对多个影响因素的分析,参照图 1 的道路权值指标体系图,建立判断矩阵进行加权,计算道路权值。以总代价最低为优化目标进行道路权值的计算。对于配送企业 A_1 ,计算得到判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = 6.001$ 。 w_i 是最大特征值对应的特征向量对应与各加权因子所占的权重。经检验判断, $CR(n) < 0.1$,判断矩阵符合一致性原理。

根据层次分析法原理,求得各影响因素相对于上层指标因子的权重。利用上层指标的权重,计算对应本层各影响因素的加权和,便可得到各因素的组合权重,如表 5 所示。

表 5 组合权重计算结果

Tab. 5 The result of combined weight			
因素 B_i	组合权重 w_i	因素 B_i	组合权重 w_i
B_1	0.294 8	B_5	0.097 6
B_2	0.229 2	B_6	0.032 0
B_3	0.309 2	B_7	0.062 4
B_4	0.034 0	B_8	0.022 4

3.2 物流配送车辆导航路径规划道路权值的计算

通过以上的计算,得到各影响因素的相应的组合权重以及总排序结果。若影响道路权值确定的影响因素 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_8$ 的无量纲化结果为 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_8$, 便可得出道路的权值 d , 即:

$$d = w_1 b_1 + w_2 b_2 + \dots + w_8 b_8 = \sum_{i=1}^8 w_i b_i = 0.294\ 8 b_1 + 0.229\ 2 b_2 + 0.309\ 2 b_3 + 0.034\ 0 b_4 + 0.097\ 6 b_5 + 0.032\ 0 b_6 + 0.062\ 4 b_7 + 0.022\ 4 b_8。$$

由于计算各个影响因素权值所需要数据的获取,是以完善的 ITS 信息系统为基础,包括交通检测系统、数据传输系统、信息共享平台以及完善的导航数据库等,不能避免会因检测器故障、数据传输故障和信息的滞后等问题而造成部分数据的缺失。应对数据缺失问题,可通过对历史数据进行纵向和横向的回归分析,估算空缺数据。纵向估算是 对历史数据中,相同时间点的数据进行回归,求得估算值 b'_i 。横向估算是 对当天获得的数据进行回归分析,得到该时间点的缺失数据的估算值 b''_i 。则缺失数据的估算值为平均值 $(b'_i + b''_i) / 2$ 。

4 实际应用

对物流企业配送车辆导航的路径规划,不仅要考虑交通状况,更要考虑经济效益、竞争情况和信息系统状况等,兼顾企业、客户以及社会利益。

本文的基于层次分析法的物流配送车辆导航路径规划求权方法,是以总代价最低作为最优目标,全面考虑各个影响因素,综合了定性和定量的元素,能根据实时数据而变化,简单、灵活、实用性强。

交叉口延误、交通拥挤度、交通事件、交通组织情况等因素反映了路网的点、线、面的动态交通状态;交通安全程度、道路等级、通行费用等因素反映了路网的静态的、历史的交通状况,气象环境则反映了外在因素的影响。这些因素包含了影响物流配送车辆导航路径规划的大部分信息,同时,又顾及了企业对于成本效益的要求,客户对于服务质量的要求,社会对环境和公众利益的要求。

应用于某市物流配送车辆导航的路径规划算法

中,项目的试验阶段的结果显示,效果良好,交通高峰时段,配送车辆的准点率平均提高了11.6%,客户满意度亦随之提高7.8%,通行费用及油耗平均减少3.6%。可见本文所研究的方法能较好的针对物流配送的需要,反映道路状况,符合物流配送导航需兼顾企业、客户和社会3方面利益的要求。随着导航系统数据库的完善,本方法将发挥更大的效用。

5 结论

在我国城市经济发展的过程中,物流业也在快速发展当中。科学合理的物流配送,能极大增进物流企业的竞争力,而合理进行物流配送车辆导航路径规划是提供服务质量、降低配送成本、增加经济效益、减轻城市交通堵塞、改善环境质量和加强道路安全等的重要手段,兼顾了企业、客户和社会三者利益。

本文针对物流配送车辆导航路径规划问题,研究了利用层次分析法求取道路权值的问题。

(1) 本文考虑三者利益,在物流配送车辆导航路径规划的各种可选最优目标中选择总代价最低作为最优目标,全面、系统地总结和分析了决定物流配送车辆导航路径规划最优目标的交通拥挤度、通行费用等8类影响因素;(2) 各影响因素有已量化的和未量化的,且量纲各有不同。本文对各因素属性数据进行了无量纲化处理,把所有影响因素数据通过变换映射到[0,1]区间里;(3) 本文综合了定性和定量的问题,选择运用层次分析法作为以出行总代价度量的道路权重标定方法。

本方法与物流配送紧密结合,综合考虑道路与非道路因素的影响,弥补了一般路径规划求权所考虑因素的局限性,简单实用,可用于实时的物流配送路径规划。

参考文献:

References:

- [1] 张可,刘小明,王笑京.车辆自动导航的路线优化系统研究[J].系统工程,2001,1(2):48-53.
ZHANG Ke, LIU Xiao-ming, WANG Xiao-jing. Research on Route Planning System for Vehicle Automatic Navigation[J]. Systems Engineering, 2001, 1(2): 48-53.
- [2] 张可.车辆导航关键系统研究[D].北京:北京工业大学,2001.
ZHANG Ke. Research on Key Technologies of Vehicle Navigation System[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2001.
- [3] 陈智宏.基于动态车辆导航系统的道路权重赋值方法研究[D].北京:北京工业大学,2006.
CHEN Zhi-hong. Study on Road Weight Evaluation Method Based on Dynamic Vehicle Navigation System[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2006.
- [4] 马农乐,赵中极.基于层次分析法及其改进对确定权重系数的分析[J].水利科技与经济,2006,12(11):732-733,736.
MA Nong-le, ZHAO Zhong-ji. The Analyses of Calculating the Proportion Based on Analytic Hierarchy Process and the Improved AHP[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2006, 12(11): 732-733, 736.
- [5] 阮于洲,蒋捷,韩刚,等.基于层次分析法的路段属性求权方法[J].地理信息世界,2004,2(2):44-48.
RUAN Yu-zhou, JIANG Jie, HAN Gang, et al. A Way to Compute Weight of Road Attribute Based on the Analytic Hierarchy Process[J]. Geomatics World, 2004, 2(2): 44-48.
- [6] 石征华,侯忠生.城市快速路拥挤度判别方法研究[J].交通与计算机,2006(5):20-23.
SHI Zheng-hua, HOU Zhong-sheng. Urban Highway Congestion Degree Evaluation Method[J]. Computer and Communications, 2006(5): 20-23.
- [7] 孙红,耿莲.层次分析法在信息化物流网络规划中的应用[J].电子与封装,2007(2):41-44.
SUN Hong, GENG Lian. The Application of AHP in Logistics Network Planning in the Environment of Communication[J]. Electronics & Packaging, 2007(2): 41-44.
- [8] 王元庆,周伟,吕连恩.道路阻抗函数理论与应用研究[J].公路交通科技,2004,21(9):82-85.
WANG Yuan-qing, ZHOU Wei, LYU Lian-en. Theory and Application Study of the Road Traffic Impedance Function[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(9): 82-85.
- [9] RICE J, VAN ZWET E. A Simple and Effective Method for Prediction Travel Times on Freeways[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5(3): 200-207.
- [10] 王树盛,黄卫,陆振波.路阻函数关系式推导及其拟合分析研究[J].公路交通科技,2006,23(4):107-110.
WANG Shu-sheng, HUANG Wei, LU Zhen-bo. Deduction of Link Performance Function and Its Regression Analysis[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(4): 107-110.
- [11] JOU Y J, WEN Y H, LEE T T, et al. Missing Data Treatment on Travel Time Estimation for ATIS[C]//2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 2003: 102-107.