

DOI: 10.13607/j.cnki.gljt.2015.01.026

智能交通系统中动态路径诱导算法分析

王 勇, 于文震

(南京电子技术研究所, 南京 210013)

摘 要: 对智能交通中动态路径诱导算法进行较为系统的综述。首先, 从微观和宏观角度对动态诱导系统中需要用到的交通参数模型进行分析和比较, 并列举几种交通参数模型; 然后, 对一些经典路网寻优算法进行分析, 并引用一些专家学者的研究成果; 最后, 对动态路径诱导算法的未来发展方向进行探讨。

关键词: 智能交通系统; 动态路径诱导; 交通参数模型; 路径寻优

文章编号: 1009-6477(2015)01-0126-05

中图分类号: U491.2

文献标识码: A

Analysis of Dynamic Route Guidance Algorithm in Intelligent Traffic System

WANG Yong, YU Wenzhen

Abstract: This paper systematically summarizes the dynamic route guidance algorithm in intelligent traffic system. First the paper analyzes and compares traffic parameter models those should be used in dynamic guidance system from micro and macro viewpoints and lists several traffic parameter models; second, the paper analyzes some classic road network optimization algorithms and refers to research achievements of some experts and scholars; and finally the paper probes into the future development direction of the dynamic route guidance algorithm.

Key words: intelligent traffic system; dynamic route guidance; traffic parameter model; route optimization

ITS 是综合信息技术、数据通信技术、控制技术及网络技术建立的一种大范围、全方位、实时、准确、高效的智能交通运输管理系统。动态路径诱导系统(DRGS)是 ITS 的一个重要组成部分, 该系统利用计算机、通信等现代技术, 并根据出行者的起讫点和用户具体要求, 向用户提供实时交通信息和最优路径引导指令^[1]。通过系统诱导来优化用户的出行决策, 合理分配交通路网的交通流^[2], 改善交通状况。

根据交通信息性质, 路径诱导系统可分为静态路径引导系统和动态路径诱导系统。前者依据的是静态交通路网信息, 后者是在前者基础上, 利用现代技术获得实时、动态的路网信息。动态路径诱导系统通常由控制中心、通信系统和车载终端 3 部分组成, 其中信息处理主要在控制中心完成。根据不同的计算方式, 动态路径诱导系统可分为中心决定式和分布式 2 大类, 其中分布式动态路径诱导系统通常是将实时计算任务分配给不同的车载单元, 从而实现更快捷的动态路径诱导^[3]。

动态路径诱导算法是交通诱导的核心, 基本思想是结合动态、实时的路网信息, 得到最优行驶路线, 因此, 动态路径诱导算法通常需考虑交通状况的多个方面, 尤其是交通参数模型和路径寻优算法。本文对动态路径诱导算法中的 2 大核心部分, 即交通参数模型和路径寻优分别进行分析, 并结合部分理论成果提出动态路径算法的未来研究方向和方法。

1 交通参数模型

交通参数模型是动态路径诱导算法的基础, 它能够提供交通网络的参数变化, 从而为动态诱导算法提供必要的基础数据支持。本文将从微观和宏观 2 个层次介绍交通参数模型。

1.1 微观方面

在动态路径诱导算法中, 交通参数模型从微观方面需要解决以下几个问题: 各进口道流量、路口平均延误、路口服务水平、路段车辆数、路口饱和度、路

基金项目: 江苏省物联网应用示范工程项目(GRS2010-10)

收稿日期: 2014-05-06

作者简介: 王 勇(1989-), 男, 山东省济宁市人, 硕士研究生。

段交通饱和度^[2]。限于篇幅,本文仅介绍路口的平均延误和路段交通饱和度^[2]。

1.1.1 路口平均延误

某一检测时段内,各个方向路段延误加权值。经典的路口平均延误有稳态延误模型、定数延误模型、过度函数延误模型。常见的路口平均延误模型根据路口饱和度的不同状态采用不同的延误模型:低饱和状态下采用稳态模型;过饱和状态下采用定数模型;过度模型是介于二者之间的模型。

1) 稳态延误模型。

只有在饱和度低的情况下,即车辆平均到达率远低于路口通过能力时,才可使用稳态延误模型,该模型得到的结果与实际结果接近。稳定延误模型中路口平均延误包括 2 部分:均衡相位延误与随机延误。经典稳态延误模型中,路口平均延误模型包括 Webster 模型^[2]、Miller 模型^[2]和 Akcelik 模型^[2]。

Webster 模型:

$$d = \frac{c(1 - \frac{g}{c})^2}{2(1 - \frac{q}{S})} + \frac{x^2}{2q(1 - x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{2+5g/c} \quad (1)$$

式中: d 为平均延误; c 为周期时长; g 为有效绿灯时间; x 为饱和度; q 为到达率; S 为路段饱和率。

Miller 模型:

$$d = \frac{c(1 - g/c)^2}{2(1 - q/S)} \left[c(1 - g/c) + \frac{2Q_0}{q} \right] \quad (2)$$

式中: Q_0 为平均过饱和车辆数。

$$Q_0 = \frac{\exp[-1.33\sqrt{S_g(1-x)x}]}{2(1-x)} \quad (3)$$

式中: S_g 为路段的绿灯饱和率。

Akcelik 模型:

$$d = \frac{c(1 - g/c)^2}{2(1 - q/S)} + \frac{Q_0}{q} \quad (4)$$

其中:

$$Q_0 = \begin{cases} \frac{1.5(x - x_0)}{1 - x} & (x > x_0) \\ 0 & (x < x_0) \end{cases} \quad (5)$$

$$x = 0.67 + \frac{S_g}{600} \quad (6)$$

将公式(1)、(2)、(4)进行对比,其结果相差甚微,最多相差 1 s^[2]。

2) 定数延误模型。

定数延误模型必须满足以下 3 点: (1) 在时间段 T 内,车辆到达率 q 和通过能力 Q 为一定值,且 $q > Q$; (2) 在时间段 T 的开始点,初始排队长度为零; (3) 过饱和排队长度是关于时间 t 的一个线性函数,当超过时刻 T ,过饱和排队长度就停止增加。

平均延误可用以下公式表示:

$$d = \frac{D}{qt} = \frac{Cr}{2q} + \frac{Q_0}{q} \quad (7)$$

其中:

$$Q_0 = \frac{(q - C)t}{2} = \frac{(x - 1)Ct}{2} \quad (8)$$

式中: C 为该进口方向通行能力。

3) 过度函数延误模型。

过度函数延误模型包括 3 个部分:均衡相位延误、随机延误、过饱和延误。

$$d = \begin{cases} \frac{c(1 - g/c)^2}{2(1 - q/S)} + \frac{Q_0}{C} & (x < 1) \\ (c - g)/2 + \frac{Q_0}{C} & (x \geq 1) \end{cases} \quad (9)$$

其中:

$$Q_0 = \frac{Ct}{4} \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{4x}{Ct}} \right] \quad (10)$$

1.1.2 路段交通饱和度

传统路段交通饱和的概念是:在某一时段内,路段上车辆的实际到达流量,即交通量 q 和路段通行能力 C 的比值,即

$$x = \frac{q}{C_1} \quad (11)$$

实际道路交通中,由于交通路网中瓶颈处的通行能力以及其他路口都会对该路段产生影响,甚至不同时段也对该路段存在影响,所以现行通行能力 C_1 定义为 $C_1 = S\lambda_1 t_1 + S\lambda_2 t_2 + \cdots S\lambda_n t_n$, $t_1 + t_2 + t_3 \cdots t_n = t$, 其中: λ_n 为实时绿信比; t_n 为交叉路口使用的绿信比 λ_n 的时间; t 为分析周期。

1.2 宏观方面

交通参数模型在宏观上需要解决如路口拥挤程度分级、路段拥挤程度分级方法、拥挤持续时间估计方法、有无交通事件判别算法等方面的问题。限于篇幅,本文只介绍路段拥挤程度分级方法。

1) 模糊聚类法。

模糊聚类法是将多种事物之间的性质直接进行比较,将相近、相似性质事物的归为一类,将性质差别较大的事物归为不同类别。聚类分析时,采样样

本种类尽量多包含不同的交通状态,样本量要足够大,应采用若干天连续 24 h 的数据进行分析,其中需包括国家节假日(节假日的时长包括 3 d 和 7 d)、周末、寒暑假等。按聚类方法分级以后,应将实时交通信息变量输入该方法,将其归为聚类方法中的一个等级。在杨兆升等人^[2]的书中提供了 2 种方案,一种是采用流量(与路段宽度、车道数有关)、占有率、速度等路段拥挤指标参数,通过采集大量数据,形成 $3 \times n$ 维的交通状态信息向量,然后经过聚类拥挤程度分为 3 类,见表 1;另外一种是采用流量(与路段宽度、车道数有关)、占有率、速度、广义路段上车辆数(与路段宽度、车道数、路段长度有关)、广义路段饱和度等参数,形成 $5 \times n$ 维的交通状态信息向量。

2) 改进的 McMaster 算法^[2](基于模糊聚类)。

改进的 McMaster 算法判断拥挤的依据是道路路段在拥堵时车流速度降低、道路占有率以及存在拥挤车流。运用该算法要满足以下条件:道路交通拥挤与非拥挤之间快速转变,而流量和占有率却缓慢变化。按照改进的 McMaster 算法建立流量-占有率模型。

3) 基于人工神经网络(ANN^[2])的单截面算法。

ANN 算法是快速发展的人工智能技术,其可以模拟人脑信息的记忆和处理功能,擅长从海量数据中提取有用信息。ANN 算法流程见图 1。

2 路径寻优算法

“最短路径”是数学重要分支图论中的经典问题,Dijkstra 算法^[3]和 Floyd 算法^[4]为最短路径的求解提供了基础,同时也为动态路径诱导算法奠定了基础。在实际交通路网中求解节点间的最短路径,首先需将交通路网抽象为一个图论中定义的有向图或无向图,并利用图的节点邻接矩阵记录点间的关联信息,然后通过遍历图中的节点并且获取最短路径矩阵,从而获得最佳优化路径。

2.1 算法分析

动态路径诱导系统中,交通网络中支路和节点的权重值是实时不断变化的,此时算法求解会异常复杂,如果满足先进先出条件,则可使用 Dijkstra 算法解决动态最短路径问题;当不符合先进先出条件时,则采用时间离散化处理来求解任意点到终点的最短路径。常见 KSP 算法^[4]和 A* 算法^[4]也为动态路径诱导系统提供了算法基础。

最短路径问题(KSP)是在有向图中找出起点到终点之间花费代价最小的 K 条路径组,KSP 是最短

表 1 路段拥挤指标

状态向量	模糊聚类		
	顺畅	阻滞	拥堵
流量/h	34.00	5.00	20.00
占有率/%	97.033	67.30	73.5
速度/(km·h ⁻¹)	20.40	44.3	30.10

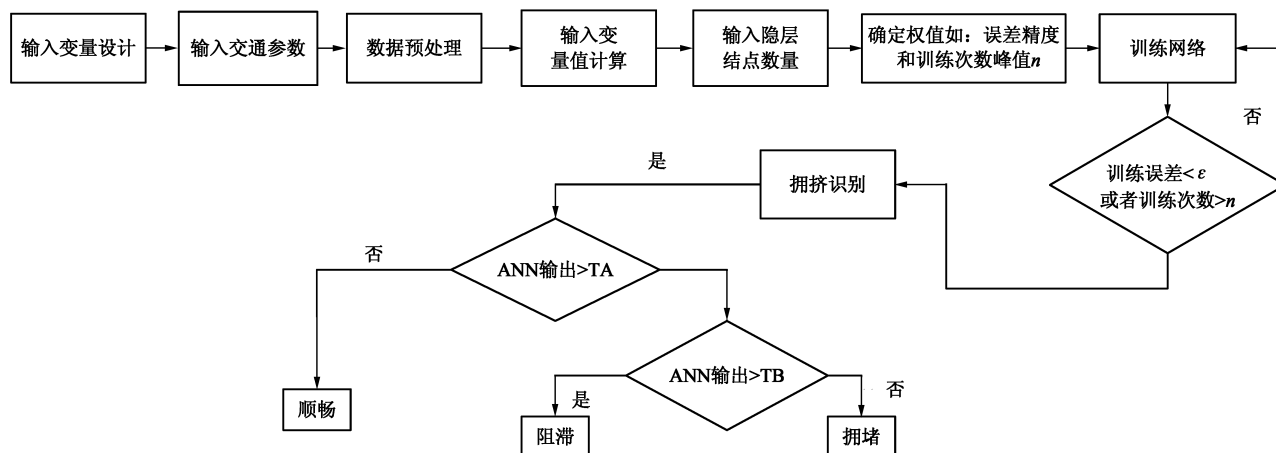


图 1 ANN 算法流程

路径问题的一种变形,解决该类问题的算法是 KSP 算法。该算法定义一个有向图 $G=(V, A)$, V 为图中有限节点构成的集合, $V=\{v_1 \cdots v_i \cdots v_n\}$; A 为有向图中所有节点对的距离所构成的集合; c 表示为 A 上的非负函数对于一切 $a \in A$, 记 $c(a) = c_{ij}$, 称图 $G=(V, A, c)$ 为容量网络^[4]。假定从有向图 G 中 s 节点到 t 节点的路径利用 p 序列表示, 即 $p=(v_1=s, v_2, \cdots, v_k=t)$, 则由 s 到 t 的距离 $c(p)$ 为:

$$c(p) = \sum_{(i, j) \in p} c_{ij} \quad (12)$$

式中: c_{ij} 是 (i, j) 之间的距离。KSP 算法根据路径限制条件分为限定无环 KSP 算法和一般 KSP 算法。

A^* 算法是一种静态路网中求解最短路径最有效的算法。该算法从初始点到任意节点 n 的估价函数可表示为:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (13)$$

式中: $f(n)$ 为有向图中起始节点到节点 n 之间的估价函数; $g(n)$ 为状态空间中起点到任意节点 n 的实际距离; $h(n)$ 为有向图中节点 n 到目标顶点估算距离。当 $h(n)=0$ 时, 只需求出 $g(n)$, 即求出起点到任意节点 n 之间的最短路径, 其可以转化为单源最短路径问题^[4], 即使用 Dijkstra 算法求解最短路径的问题; 当 $h(n) \leq$ “ n 到目标的实际距离”时, 则一定可以求出最优解, 且 $h(n)$ 越小, 则需要计算的节点就越多, 算法效率也就越低。

Floyd 算法用于计算所有点对点之间的最短路径, 计算很复杂。Dijkstra 算法用于计算一个源点到所有其他节点的最短路径。KSP 算法是寻找交通路网的有向图中起点与终点之间的多个备选优化路径, 形成最短路径组, 以最大程度满足用户对不同路径的选择需要。 A^* 算法是纯粹的单点到单点最优路径规划算法。对上述算法, 从时间复杂度和空间复杂度进行了比较可以得出以下结论。对上述各种算法从时间和空间复杂度方面进行了比较, 可以看出, 就时间而言, 路网规模不大时, A^* 算法和 Dijkstra 算法效率相差不大; 随着路网规模的增大, A^* 算法相对于 Dijkstra 算法在速度上的优势逐渐体现出来, 见表 2^[4]。就空间复杂度而言, Dijkstra 算法是盲目式的搜索, 不需涉及具体问题相关信息, 只需知道节点和路段之间的连接关系即可进行搜索计算; A^* 算法在搜索过程中所需保留中间结果的数据预期要比 Dijkstra 算法少, 且随着搜索半径不断增大, 其优势更加明显。

表 2 路径诱导算法对比

路径诱导算法	Dijkstra 算法	KSP 算法	A^* 算法
时间复杂度	$O(n^2)$	$O(m \log n)$	$O(\log N)$

注: m 为路网中路段的数目; n 为路网节点数目; N 为算法结束时得到最优路径的节点数目。

2.2 算例分析

在实际应用中, 路径寻优算法通常是将交通路网中道路权重值作为一个时间函数, 那么复杂路径诱导问题可以转化成路径寻优问题, 借助上述算法解决动态路径诱导问题。国内外研究专家和学者也提出了多种的路径寻优算法以及解决方案。

葛红霞等人^[5]在 Nagel-Schreckenberg 模型基础上提出改进的元胞自动机交通模型, 同时考虑刹车灯的有效作用并改进车辆的可变安全间距, 且根据不同的车流密度建立不同模型。数值模拟分析结果表明, ITS 使用元胞自动机交通流模型可大幅度增加道路容量, 缓解交通拥堵。于尧等人^[6]针对现有路径诱导算法无法实现多点连续搜索的不足, 提出了出行访问多个兴趣点的 ASSA 算法(A^* 算法)。该算法不仅优化路网的搜索结构, 而且大大减少了数据访问量, 通过对热点的时空关联推理来得出最优路径。在路径搜索距离以及计算时间上, ASSA 算法执行效率可比 NS 算法(Nearest Surround 算法)提高 16% 以上。Fu 等人^[7]将交通路网的最短通行时间问题归为闭环自适应最短路径问题(CAPRP), 将路段的通行时间看作关于时间的随机变量, 且在车辆进入路段时做出精确预测, 优化的目标函数定义为下一个可供选择路段。这种算法能够接收实时的交通信息, 及时调整行驶路径, 效率较高。王洪德等人^[8]综合车辆在路网中不同时间段的路况差异和人为作用, 运用时间递推原理构造动态诱导整体结构模型, 并结合已知的路径和实时路况信息来为出行者选择时间最短路径提供信息支撑。该方法将人的经验转化为机器的经验, 更接近人类的思考模式, 可满足人对路径的特殊要求。杜长海等人^[9]对蚁群算法进行了改进, 将信息素和启发信息进行标准化, 以消除量纲和取值范围影响, 并提出带方向的信息素更新和混沌策略, 从而解决了原有蚁群算法收敛速度慢且容易陷入“局部最优”的缺点。验证表明, 改进的蚁群算法具有更好的全局搜索能力。

3 动态路径诱导算法展望

路径诱导和交通控制是智能交通运输系统中 2

个核心组成部分,其中动态路径诱导是路径诱导的重要延伸,也是交通控制的重要组成部分,其在智能交通系统中具有关键作用。

动态路径诱导算法在短时间内得到了长足发展,但因为发展时间较短,在某些方面还存在缺陷,需要日臻完善。本文结合目前研究成果和智能交通现状,就动态路径诱导系统提出以下展望。

1) 依据出行者的心理特征建立路径诱导算法。在文献[3]中,李威武等人指出路径诱导系统要具有实时性,不可过分追求模型的精确度和复杂性,模型复杂度高会影响计算路径最优时的算法速度。路径诱导需结合出行者的心理特征,比如乘火车、飞机、学生上学,这些行为都与时间有密切的关系,出行者需要在规定时间内抵达,所以选择路径诱导算法时需充分考虑出行者的实际情况及心理承受能力和满意度。

2) 加强交通路网中的实时路况信息采集和完善突发事件处理机制。动态路径诱导算法对实时交通状态信息具有依赖性,收集信息要及时、准确。可借助车载GPS等先进手段采集实时交通路况信息;可采用多时间尺度预测技术和交通信息集成技术等处理交通突发事件;可采用分布式并行计算技术,并利用高性能服务器来处理海量的交通信息^[10],同时完善智能交通系统信息发布机制,通过大众媒体,如广播、微博、微信等新兴通讯方式将实时路况信息推送给出行者。

3) 丰富动态路径诱导算法的诱导手段。诱导方式一般分为3类:(1)自主诱导,即根据数据库的历史数据得出最短行程时间的路径;(2)基于所传输的当前时刻路段行驶时间的最佳路径选择;(3)基于预测未来时刻路段行驶时间的最佳路径选择^[1]。最佳路径可以有多个原则,例如距离最短、时间最短、尽量选择交通干道等。大多数诱导算法采用路网阻抗最小或者行驶距离最小的路径,为避免出现因为诱导手段过于单一而造成诱导路段上交通紧张、拥挤,从而导致周边道路产生连锁反应,所

以算法中需采用多种方式来替代不合理的路径,可加入多种干扰因子,以使出行者能够根据自己的喜好选择合适的路径。

4) 优化动态路径诱导系统架构。交通网络具有不确定、随机性强、实时性高的特征,同时拓扑结构复杂分散。动态路径诱导系统应根据诱导车辆的特征来优化路径诱导系统的架构,并建立中心监控和分布式智能交通系统^[1]。该系统应便于信息共享,易于信号灯控制和车辆路径诱导一体化,以使动态路径诱导系统在智能交通系统中发挥更加重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 杨兆升. 新一代智能化交通控制系统关键技术及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [2] 杨兆升, 初连禹. 动态路径诱导系统的研究进展[J]. 公路交通科技, 2000, 17(1): 34-38.
- [3] 李威武, 王 慧, 钱积新. 智能交通系统中路径诱导算法研究进展[J]. 浙江大学学报, 2005, 39(6): 819-825.
- [4] 毛少武, 张焕国, 黄崇超, 等. 改进的K最短路径算法在通信网络中的应用[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2013, 59(6): 534-538.
- [5] 葛红霞, 祝会兵, 戴世强. 智能交通的元胞自动机交通流模型[J]. 物理学报, 2005, 54(10): 4621-4623.
- [6] 于 尧, 杨兆升, 莫祥伦, 等. 基于城市兴趣点的连续路径诱导方法[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2014, 44(3): 631-636.
- [7] FU Li Ping. An adaptive routing algorithm for in-vehicle route guidance systems with real-time information[J]. Transportation Research B, 2001, 35(8): 749-765.
- [8] 王洪德, 曹英浩, 崔铁军, 等. 基于时间递推与有师学习的交通路径动态诱导[J]. 中国公路学报, 2014, 27(1): 94-99.
- [9] 杜长海, 黄席樾, 杨祖元, 等. 改进的蚁群算法在动态路径的应用研究[J]. 计算机工程应用, 2008, 44(27): 236-239.
- [10] 支 俊, 甘 勇, 郭 峰. 论智能交通系统在城市突发事件处置中的应用[J]. 软件导刊, 2009, 8(11): 106-107.