

99' 中国交通工程学会 论文集

主编 刘小明
庞田成



中国交通工程学会

一九九九年十二月

99' 中国交通工程学会 论文集

主编 刘小明
庞曰成

中国交通工程学会

一九九九年十二月

目 录

第一篇 智能运输系统

智能运输系统的实质初探·····	王笑京(1)
车辆自动导航系统基本框架及路线优化算法研究·····	张 可 刘小明 任福田(4)
ITS是现代交通工程的发展方向·····	潘大任 徐基仁(12)

第二篇 交通流理论

高速公路基本路段的仿真模型·····	荣 建 刘小明 周荣贵 任福田(18)
路段交通冲突技术研究·····	罗石贵 周 伟(27)
路网服务水平的概率性评估方法·····	陈艳艳 关宏志 任福田(33)
路段交通冲突调查技术探讨·····	罗石贵 周 伟(38)

第三篇 交通规划

河北省公路网规划中免OD调查的交通量预测方法·····	刘小明 陈金川 任福田(45)
省域快速公路网布局的探讨·····	陈培健(50)
大城市交通影响分析体系研究·····	王 丽 刘小明 任福田 全永 梁(60)
高速公路网交通工程规划系统评估·····	傅宁浩(68)
TDM的新进展及在北京实施的可行性讨论·····	····· 关宏志 刘小明 陈艳艳 翟忠民 钱邵武 张 伟(77)
大庆市区交通体系的规划研究·····	裴玉龙 朱从坤 罗丽君(83)
大连市县乡公路网规划概述·····	吴宇航 李 锋 李殿龙 杜如兵(89)
汉口沿江地段道路交通现状及发展对策研究·····	李 杰 邹志云 张先勇(95)

第四篇 高速公路

高速公路交通安全设施研究·····	勤恩勇(103)
高速公路监控系统总体设计思路分析·····	孙兴焕 张 宁(111)
成渝高速公路的效益与评价·····	崔炳权(120)
吐-乌-大高速公路交通管理与安全设施建设的回顾与探讨·····	李星文(127)

高速公路监控设备使用和管理实践·····	于爱国(133)
高速公路通信监控及自动化收费系统的雷害与防护·····	齐文利(135)
高速公路防眩设施设计·····	马秀君(138)
成渝高速公路龙泉山隧道病害整治探讨·····	赖长福(143)
论高速公路“文明”·····	张圣城(146)
成渝高速公路(西段)路基病害及处治措施·····	黄文悦(150)
浅谈我国高速公路建设发展的特点及实施效果·····	康彦民(153)
沪宁高速公路江苏段交通事故特点及预防·····	朱幼平(158)
关于高速公路交通电话专网网络拓扑编号的探讨·····	李红芳 傅宇浩 刘丽华(162)
高速公路事故多发点成因分析模型的应用·····	裴玉龙 孟祥海(167)
高速公路联网收费的开发与实践·····	闵 江(172)
中国高速公路呼唤立法管理·····	谭诗樵(177)

第五篇 城市交通

中环线现状交通与改造方案·····	王晓华(181)
城市交通基础设施规模及协调发展分析·····	康彦民 魏连雨(186)
城市交通干道综合整治刍议·····	李 杰 邹志云(191)

第六篇 综合

论陶瓷突起标线的广阔前景·····	吴木溪(197)
荧光反光材料改善道路安全·····	戴维·本斯 李一帕弗尔卡(201)
标志版面结构与标志质量·····	程向阳(206)
完善道路收费管理的探讨·····	翁小雄 祁殿文 温惠英(210)
基于人工智能的交通事故处理的研究·····	李江 朱艳秋 李作敏 王华(215)
江阳长江公路大桥交通安全设施的特点及工程施工管理·····	冯兆祥(221)

智能运输系统的实质初探

王笑京

交通部公路研究所

国家智能交通系统工程技术研究中心

摘 要:智能运输系统是当前国内外交通运输科技的热点,本文从系统的角度探讨了智能运输系统的实质以及与交通工程的区别,另外本文还试图从哲学的角度对智能运输系统的发展进行描述,讨论了智能运输系统与信息系统、管理系统、人的行为的关系。

关键词:智能运输系统 交通工程 信息系统

1 概述

八十年代以来,在各发达国家虽然已经基本建成了四通八达的现代化国家公路网,但随着社会经济的发展,路网通过能力日益满足不了交通量增长的需要,交通拥挤、阻塞现象日趋严重,交通污染与事故越来越引起社会普遍的关注。经过长期和广泛的研究,这些国家已从主要依靠修建更多的公路,扩大路网规模来解决日益增长的交通需求,而转移到用高新技术来改造现有公路运输系统及其管理体系,从而达到大幅度提高路网通行能力和服务质量的目的。日本、美国和西欧等发达国家竞相投入大量资金和人力,开始大规模地进行公路交通运输智能化的研究试验。起初,称为“智能车辆道路系统(IVHS)”,进行道路功能和车辆智能化的研究。随着研究的不断深入,系统功能扩展到公路交通运输的全过程及其有关服务部门,发展成为带动整个公路交通运输现代化的“智能运输系统”。目前,智能运输系统已经成为世界运输领域中高新技术开发和应用的最热门的方向。同样,在中国近几年也开始跟踪国际上的这种技术发展趋势,但是我们的跟踪同以前的技术跟踪一样,又可能要走到技术模仿的老路上去了。其根本的原因就没有从社会的、哲学的以及技术的各个层次和角度全面观察国外的这个技术发展,而仅仅是从技术和应用的角度出发,这就有可能使得我国在不远的将来会发现,这个技术我们还没有真正的用上,而发达国家又推出了新的东西,我们又要去跟踪别的了。实际上美国和欧洲在推出智能运输系统时都进行了较深入的研究,尤其是在哲学的层面上研究。1993年起在美国运输部的统一领导下,开展了智能运输系统体系框架的研究,在这里有不同的研究小组在进行并行的研究,有的小组就是从哲学层面上设计开始进行体系框架的设计,当然在他们的哲学层面中看不到我们哲学课本上的名词,但是其设计的思维活动仍然是在存在与意识、物质的运动、认识的运动这些层面上进行的,当然用哲学抽象的名词去套具体的工作是毫无意义的,这是因为作为技术科学他的工作层次就是这一层,他的思维方式是某种哲学思想的反映,我们应该透过这种层面的现象看到其背后的哲学意义,而这种哲学意义绝对不是哲学教科书中名词的套用。

2 交通控制的目的

那么对于智能运输系统的深层次的含义是什么呢?探讨哲学问题,离不开对历史的回顾,

任何系统不论是物理的、非物理的还是混合的,都是一定时期社会与经济发 展的产物,或者说是与当时的社会和经济相适应的。交通运输系统也不例外,当道路和车辆发展到一定的水平时,人们需要通过适当的控制,使系统的无序走向有序,根本的目的是提高效率,但是永远不可能达到完全有序,实际上,总是有新的车辆加入系统,同时又有离开的,使得系统总是不完全平衡,这实际是系统的活力所在。此时的技术和设备应用是建立在以下假设基础上的,首先,假设人是理性的,即每一个交通的参与者(包括驾驶员、乘客、行人等)都会在交通规则的指导下运动,社会教育他们这样他们可以得到最大的利益(时间、费用、安全等),其次,交通的管理者将交通系统假设成符合某种物理系统模型,它的输入符合某种概率分布,在这里使用的是经典的数学方法,微积分和概率论(即便是后来使用的一些新的数学方法,如模糊数学等,也没有脱离原来的假设)来求系统的最优解,能够达到(或接近)这个最优解的前提是交通的参与者会按照求解者的假定去做,这种假定往往是在对交通参与者的抽样统计基础上作出的。这就是信息革命以前交通控制和管理的基本思路。

实际上交通的参与者不会是完全按照这种假设来运动的,因为人的趋利性往往超过其理性的一面,同时人还有非理性的一面(即非系统性),这表现在交通活动中虽然车辆是机械的,但是它的运行仍然表现为人的行为特点,因此整个交通系统并不是按照事先的设计和约定运行的,这就使按照一定的概率统计设计的控制系统的作用大打折扣。只是由于路网资源较丰富,车辆数目与路网资源相比还不是很多时,没有表现出来罢了。

但是随着车辆数目的增加,无论是发达国家还是发展中国家,车和路的矛盾越来越突出,其表现就是塞车、事故多、污染严重。用数学的语言来描述就是在以前的假设条件和约束条件下,系统输出与系统的目标值偏离越来越大,实际上最后系统的输出是发散的,系统崩溃了。这种系统控制的方法已经不适用了,它走过了由量变到质变的一个过程。那么能否通过大量的修筑道路来挽救呢?根据世界各国几十年的统计,道路的增长率总是低于汽车的增长率,在发达国家,道路的增长已经接近于停滞,而 1995 年世界汽车的增长率仍然有 3.5%(汽车的保有量超过 8 亿辆)。在中国,1996 年与 1978 年相比,机动车增了 27 倍,而公路通车里程仅增加了 0.32 倍。因此仅靠兴建新的道路是不可能解决问题。

3 智能运输系统的实质

世界上的事物发展是无止境的,运动的过程是永远不会完结的,经济是要发展的,汽车仍然会增长的,人总是要找出解决问题的办法。尽管道路的增长比汽车的增长慢,但是现有路网是否得到了充分的利用了呢?没有,我们实际的经验也可以证明这一点,如果我们能够全面的充分的了解路网上的交通信息,无疑将有利于我们的出行。因此美国前运输部长 Pena 谈到将来的发展时说:“这个国家(指美国,引出者注)将还会修建更多的公路,但是我们仅想到水泥和钢材,我们将错过全球的通信革命”。(引自 U. S. Department of Transportation NewsRelease, Jan. 10, 1996)世界上的事物发展也有许多水到渠成的例子,信息技术、通信技术的革命性突破使得交通系统的发展沿着信息革命和通信革命的方向走了出来。首先,计算机技术高度发展,已经使它从高深的科学走向了平民百姓;其次,我们今天已经有可能在任何的时间和地点都方便地得到所需的信息;第三,今天的技术发展,使得信息的逻辑中心与物理中心分离,甚至物理的中心已经不明显了,信息资源及其物质的载体分布在网络的各个节点上,单单看一个节点,它已经形不成中心了。由此出发,可以重新考虑我们的交通系统,这里我们仍然假定人是理性的而且其价值取向是基本稳定的,即用尽量短的时间,安全的达到目的地。但是人还有非理性

的一面,人有冲动和下意识的行为,因此交通参与者的行为是千变万化的,我们无法也没有必要一定要用数学模型来描述。智能运输系统在框架的哲学层面设计中,从体制层和运输层出发,加上一个通信层,将信息及智能处理按照分布结构布置,甚至将信息的接收、处理和存储分散到每一个车辆中,使得整个系统的运行有可能比传统的集中式控制更符合人的本性,这时交通参与者在综合考虑路网信息的基础上按照利益最大的取向来决定自己的运动,在有足够的路网资源的条件下,系统的运行可以向最优接近,这个最优是路网的资源得到充分的利用,而交通参与者的总体平均旅行时间接近最小值。

可以看到,这种系统的运行方式与以前的有本质上的区别,传统的交通控制和管理系统运用传统的技术和经典数学,以假设条件和约束条件下的数学模型和公式为基础,以管理者的角度出发,按照集中管理的方式对道路使用者进行控制和规范,在这里管理者是主动的,而道路的使用者是被动的,各种交通工程设施是在物理上迫使使用者这样做或不那样做。而智能运输系统,更加重视人的能动性,它不是力图将带有较多社会和人类行为特点的交通系统描述成某种数学的模型,而是向道路的使用者提供各种的信息,让道路的使用者从不同的方案中选择自己所认可的那一种,以诱导为主,而不是以强迫为主,在人的理性与价值取向基础上,使人们的出行得到满足,可以说智能运输系统是将当今世界上最新的科技发展成果和人的本性的研究相结合,加在以前的交通系统之上而形成的一种反映了 21 世纪方向的系统。

事物的发展是不断走向高级阶段的,在以上所论及的系统之后又会发展到什么方向去呢?如果我们不能在较高的层次上有所探索,我们将永远在后面。事物的发展有时会走向反面,有时似乎会回到原来的位置,如果路网的资源也没有多余的可以利用怎么办?有人已经提出自动公路的设计而且正在进行试验,在这种公路上汽车是不受驾驶员的控制的,车上的计算机通过路边和路面下的以及车上的传感器和通信装置进行信息的交换,从而控制车辆的运行,这样在自动公路上各种车辆均以同一速度行驶,车辆间的距离可以缩短(100km/h 时,间距可以小于 1m),车辆不用超车,就象火车运行一样,这样道路的通行能力又可以大大的提高。可以看出,这种控制的方法又回到了纯物理系统的控制,但是这个系统又有了质的变化,此时每一个运动的单元都要有大量的信息交换,其复杂程度是你现在还可能想象不出来的。

车辆自动导航系统基本框架及路线优化 算法研究

张可 刘小明 任福田

(北京工业大学交通工程研究所, 100022)

摘 要:本文讨论了车辆自动导航系统的基本框架,将其划分为路网数据库管理、车辆定位、路线优化、路线引导四个子系统。并较为系统地研究了车辆自动导航的路线优化系统,讨论了道路权重的标定,介绍了一些经典的最短路算法,着重介绍了适于车辆自动导航的最短路算法的一些最新研究进展。本文着重提出了路线优化过程中需要特别处理的几个问题,如路口延误、禁行状态等,并在理论上给出了相应的解决方案。

关键词:车辆自动导航 车辆定位 路线优化 路线引导 最短路算法

1 概述

智能运输系统(Intelligent Transportation System,简称 ITS)是将先进的信息技术、通信技术、控制技术、传感器技术和系统综合技术有效地集成并应用于地面运输系统,从而建立起大范围内发挥作用的,实时、准确、高效的地面运输系统。一般而言 ITS 的主要研究内容无外乎包括以下几个方面:先进的交通监控与管理系统、集成的出行信息服务系统、电子收费系统、交通运输管理系统(包括商用车辆运营系统、公共交通运营系统)、交通安全保障系统、通信系统。

其中在出行信息服务系统中,车辆自动导航是有着广泛应用前景,目前亟待解决的一项关键技术。所谓车辆自动导航,就是在路网数字化地图的基础上,运用 GPS(Global Positioning System)等定位技术进行车辆定位,确定最优行驶路线,为出行者提供静态的或实时的最优出行路线信息,并在出行过程中对驾驶员适时地作出路线指引。车辆自动导航系统不仅极大地方便了出行者,使他们可以按照自己选定的最优目标获得最优路线信息,而且还会对优化交通流在整个路网的分配方面产生积极的影响。另外由于有了适时的路线指引,驾驶员可以将精力集中在驾驶操作上,从而有助于提高交通安全水平,减少交通事故。

2 车辆自动导航系统基本框架

车辆自动导航系统的基本框架如图 1 所示。

从图中可看出,车辆自动导航系统从功能上可分为四大子系统:

● 路网数据库管理子系统

按照预设的格式存储与路网有关的数字地图信息,使计算机能够处理与地图有关的功能。它是整个车辆导航系统的基础。

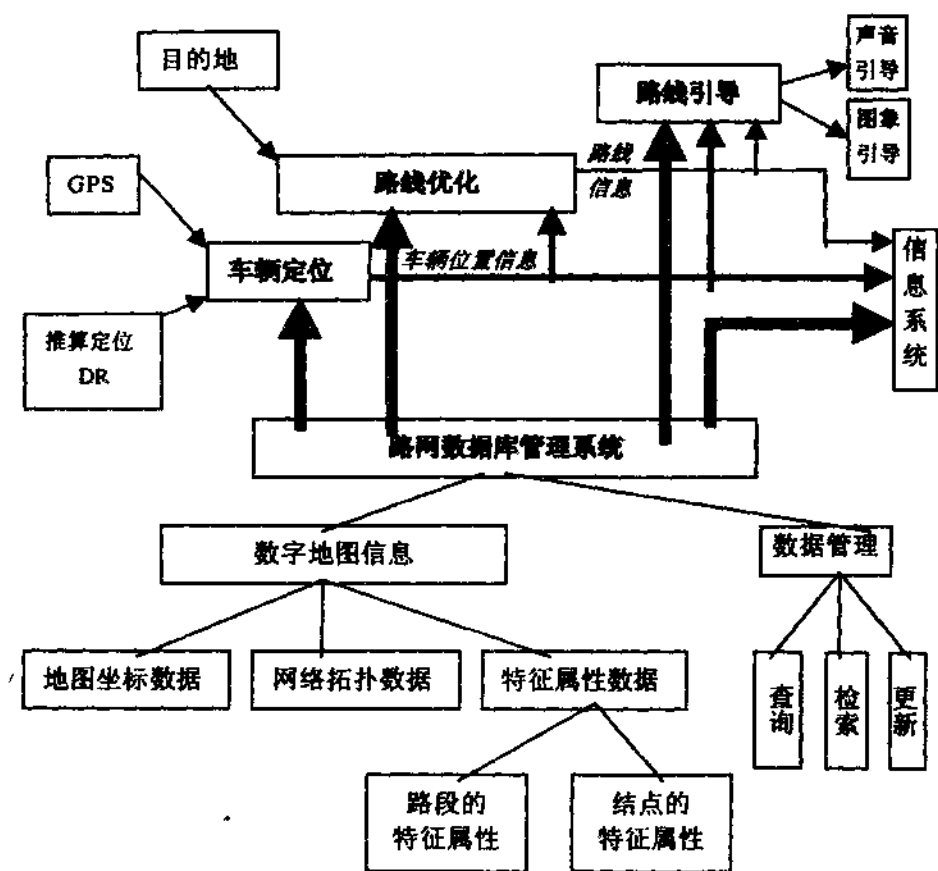


图1 车辆自动导航系统基本框架图

● 车辆定位子系统

运用GPS或DR(推算定位)等定位技术,确定车辆的实时位置,并运用地图匹配(Map Matching)技术,对车辆实际行驶路线与电子地图上道路位置之间的误差进行修正,从而提高定位的精度。

● 路线优化子系统

在已知路网上根据选定的最优目标,按照一定的算法,确定某两地间的最优路线。

● 路线引导子系统

将最优路线转化为驾驶员能够识别的视频或音频信息,并适时地给驾驶员发出引导指令。以下重点讨论路线优化子系统以及适于车辆自动导航的路线优化算法。

3 路线优化问题的数学描述

3.1 路网的描述

首先明确一下网的几个基本要素。

● 结点(node):道路的交叉口或断头路的终点。

● 边(edge)/弧(arc):两结点之间的路段称为边,若规定了路段的方向,则称为弧。

● 边/弧的权(weight):可以选择不同的道路权重,如路段长度、路段平均行程时间等作为该路段对应的边或弧的权。

在规定了结点、边/弧及边/弧的权之后,便将路网转化为一个赋权图/赋权有向图。从而确定路网中某两地间的最优路线便转化为图论中的最短路问题。

至于是否用有向图来表示路网的问题,笔者以为有向图虽然增大了路网的存储量,但由于一般来说路两段两个方向的交通流情况并不一致,当采用与交通流有关的道路权重时,应采用有向图表示路网。另外,有向图便于处理单行线、路口禁止转向等特殊情况。

3.2 道路权重的标定

根据不同的最优目标,可以定义相应的道路权重,反映到图上,就是各条弧的权。一般有以下几种选取方法:

- (1) 将出行时间最短作为最优目标,选取车辆通过路段的平均行程时间作为道路权重;
- (2) 将出行距离最短作为最优目标,选取路段长度作为道路权重;
- (3) 将出行费用最小作为最优目标,选取车辆在该路段上平均行动费用作为道路权重;
- (4) 引入广义费用的概念。它可以是以上目标中某两个或更多的线性组合。

例如,可以定义广义费用

$$c = \alpha t + (1 - \alpha)d$$

其中 t 是车辆在路段上的平均行程时间, d 是路段长度, $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ 称为权重系数,它反映了 t 和 d 在广义费用中所占的权重,也可以由用户根据喜好的数据和可能进行选取。

文献[2]提出用 CONTRAM (CONTINUOUS Traffic Assignment Model) 费用方程作为道路权重。

(5) 对于实时导航,还可以引入交通流量与路段特性间的某种函数关系。例如,将车辆在路段的平均行程时间视为交通流量的某种函数,根据实时的交通流量信息确定该路段上的平均行程时间,作为该路段的道路权重。

文献[3]提出了运用 GPS 和 GIS (Geographic Information System) 技术确定出行时间的方法,文献[4]提出了车辆线路引导系统的行驶时间预测模型。

4 经典最短路算法

4.1 Dijkstra 算法

Dijkstra 算法^[5]是由 E. W. Dijkstra 于 1959 年提出的一个适用于所有弧的权均为非负的最短路算法,也是目前公认的求解最短路问题的最经典的算法。它可给出从某指定顶点到图中其它所有顶点的最短路。其时间复杂度为 $O(n^2)$, 其中 n 为结点个数。

4.2 Bellman-Ford-Moore 算法

该算法分别由 Bellman^[6], Ford^[7], Moore^[8]在五、六十年代提出。其时间复杂度是 $O(nm)$, 其中 m 是边/弧数。目前这样的时间复杂度在所有带有负权弧的最短路算法中是最好的。但其实际运算效果却往往不及 Dijkstra 等算法。

Dijkstra 算法和 Bellman-Ford-Moore 算法均属于标号算法。根据选择下一个被检查结点的策略不同,便可得到不同的标号算法。其它常见的标号算法还有:增广图算法^[9,10]、阈(threshold)算法^[11]等。

4.3 Floyd 算法

Floyd 算法^[12]是一个求图中所有结点对间最短路的算法,由 Floyd 于 1962 年提出。其时间复杂度为 $O(n^3)$,虽然与对每一结点作一次 Dijkstra 算法的时间复杂度相同,但其实际运算效果要好于后者。

4.4 启发式搜索(Heuristic Search)算法——A* 算法

目前最流行的启发式搜索算法是由 Hart、Nilsson、Raphael 等人首先提出的 A* 算法^[13]。该算法的创新之处在于选择下一个被检查的结点时引入了已知的全局信息,对当前结点距终点的距离作出估计,作为评价该结点处于最优路线上的可能性的量度,这样就可以首先搜索可能性较大的结点,从而提高了搜索过程的效率。

具体地说,A* 算法引入了当前结点 j 的估计函数 f^* ,当前结点 j 的估计函数定义为

$$f^*(j) = g(j) + h^*(j)$$

其中 $g(j)$ 是从起点到当前结点 j 的实际费用的量度, $h^*(j)$ 是从当前结点 j 到终点的最小费用的估计。我们注意到若 $h^*(j) = 0$,即没有利用任何全局信息,这时 A* 算法就变成了 Dijkstra 算法。这说明 Dijkstra 算法可看作 A* 算法的特殊情形。

算法使用者有权选择 $h^*(j)$ 的具体形式,当然 $h^*(j)$ 要满足一个要求:即不能高于结点 j 到终点的实际最小费用。例如,在路网中确定了出行时间最短为最优目标,则可定义结点 j 的估计函数为

$$f^*(j) = t^*(j) = g(j) + h^*(j) = \sum_i \frac{d_i(j)}{v_i(j)} + \frac{d^*(j)}{v^*}$$

其中 $t^*(j)$:出行时间, $d_i(j)$:路段 i 的长度, $v_i(j)$:路段 i 的实际出行速度, $d^*(j)$:当前结点 j 与终点间的欧氏距离(显然是最短距离), v^* :估计的最大出行速度。

A* 算法占用的存储空间少于 Dijkstra 算法。若将结点的平均出度数记为 b ,从起点到终点的最短路的搜索深度记为 d ,则 A* 算法的时间复杂度为 $O(b^d)$ 。

5 适于车辆自动导航的最短路算法研究进展

车辆自动导航系统有其自身的特点,因而必须寻求适于车辆自动导航的最短路算法。

对于车载自动导航系统,车载计算机的存储量有限,面对着庞大的路网,寻求小存储量的最短路算法是非常必要的;另一方面,对于实时车载导航系统,时效性是首要的,它往往要求算法必须在一定的时间内完成,因而探讨算法在运行时间方面的改进,也是必不可少的。为达到上述两个目的,甚至可以考虑牺牲算法的精度。如果某算法提供的路线并非最优路线,而是比较满意的路线,但两者间的目标值差别不大,而算法在存储量和计算时间方面却有着较大的改进,那么该算法对于自动导航系统来说无疑是非常适宜的。这涉及到算法的精度与其存储量及计算时间之间的综合平衡。

针对车辆自动导航系统的特点,近年来在最短路算法方面取得了一些新的研究进展。

5.1 修正的最短路算法——求某一对结点间最短路的算法

对于单一车辆的导航,不必找到从起点到路网中其它所有结点的最优,这样可以把 Dijk-

stra 算法修正为一旦求出到目的地结点的最优路线,算法即终止。

文献[14]提出了采用双向链表的修正最短路算法。文献[1]较为详细地介绍了修正的最短路算法,指出虽然其时间复杂度同样也是 $O(b^d)$,但其运行时间及占用空间均多于启发式搜索算法。

5.2 数据结构方面的改进

采用较好的数据结构可以进一步地缩短算法的运行时间。对于 Dijkstra 算法,采用先进的数据结构和搜索方法可以改进结点选择和标号更新这一“瓶颈”,从而将时间复杂度由二阶降到对数阶,这方面的工作有:

- 文献[15]将结点组织成用二进制堆(binary heap)表示的优先队列,得到修正的 Dijkstra 算法,其时间复杂度达到 $O(m \log n)$;

- 采用 Fibonacci 堆表示的优先队列,其相应算法的时间复杂度为 $O(n \log n)$;

- 文献[16]提出一新的数据结构—基数堆(radix heap)。采用一阶形式基数堆的 Dijkstra 算法,其时间复杂度为 $O(m + n \log C)$;采用二阶形式的基数堆,其时间复杂度为 $O(m + n \log C / \log \log C)$;采用基数堆与 Fibonacci 堆的组合,其时间复杂度为 $O(m + n \sqrt{\log C})$ 。其中 C 为非负整数弧权的上界。

5.3 双向搜索

双向搜索的基本思想首先由 Dantzig 在文献[17]中提出,算法由 Nicholson 在文献[18]中正式提出。所谓双向搜索,是指除了象普通单向搜索那样从起点出发向终点搜索最优路线(这一过程称为前向搜索),同时还由终点出发向起点进行反向搜索。

双向搜索算法搜索空间约减少 50%,其运行时间也比单向搜索算法短,其时间复杂度为 $O(2b^{d/2}) = O(b^{d/2})$ 。

此外,还有双向启发式搜索算法^[1]。文献[19,20]阐明了双向 A^* 算法对路线引导系统的有效性。

5.4 分层搜索

道路有不同的级别,如公路分为高速公路、国道、省道、县道、乡道,城市道路分为城市快速路、主干道、次干道、支路等。由于路网的这一特点,产生了路线优化问题的分层搜索算法。其基本思想是根据道路的不同级别,将路网分为不同层次。分层的路网是对原有路网的抽象,忽略一些不重要的细节,层次越高,所包含的结点和路段数越少。文献[21]用试验验证了对大型问题,分层搜索是减小搜索空间的有效方法。文献[22]具体分析了如何将路网进行抽象的问题。抽象路网的结点可以是原有路网的一个区域,也可以是原有路网结点的一个子集。

文献[23,24]提出了基于分层图的启发式算法。运用分层搜索可以将时间复杂度由 $O(b^d)$ 降到 $O(d \log b)$ 。但进行分层搜索必须建立分层的地图数据库,另外在较高层次得到的最优解是不完全的,必须在下一层次中加以细化。不同层次路网间的接口问题,算法如何在不同层次间转换,这些都是分层搜索算法需要解决的难点问题。但尽管如此,启发式的双向分层搜索,仍是解决大型路网路线优化问题的最流行和颇有前景的算法。

文献[25]提出了在交通网络中求最短路径的最佳邻点启发式搜索(Best Neighbor Heuristic search)算法,简称为 B^* 算法。它是在 A^* 算法的基础上作了如下改进后得到的。

设 j 是具有最小临时标号的结点,利用与 j 相邻的所有结点 k ,定义一个新的估计函数

$$f'(j) = g(j) + h'(j)$$

其中 $h'(j)$ 由 j 到 k 的距离 $c(j, k)$ 以及 k 到终点 t 距离的估计 $e(k, t)$ 定义(注意与 A^* 算法中

$h(j)$ 的区别)

$$h'(j) = \begin{cases} 0 & j = t \\ \min\{c(j,k) + e(k,t); \forall (j,k) \in A\} & j \neq t \end{cases}$$

其中 A 表示该路网的弧集。与 A^* 算法相比, B^* 算法中的 $h'(j) \geq h^*(j)$ 。这说明由 B^* 扩展的所有结点均可由 A^* 扩展, 但反之不然。因而 B^* 比 A^* 具有更高的搜索效率。

5.6 实时启发式搜索

文献[26]提出了实时启发式搜索, [27]将其修改用于路线优化。不象 A^* 算法那样求出最优解, 该算法只能够求出满意解。但不能因此而低估该算法。正如前文所述, 在实际应用中并不一定非要求出最优解, 如果能以较小的时间和空间代价求出满意解, 该算法同样是值得肯定的。

5.7 k 最短路算法

为了增大用户的选择余地, 车辆自动导航系统通常要为用户提供几条可行的路线(其中当然包括最优路线), 以便用户根据自己的习惯及喜好进行选择, 这就要用到 k -最短路算法, 即可以同时求出长度从小到大排列的 k 条最短路。 k -最短路问题的严格分析和系统的求解方法是双向扫描算法(参见文献[28])。文献[25]介绍了 A^*k -最短路算法。

6 需特别处理两个问题

6.1 路口延误的处理

我们注意到一般的最短路问题总是将所有费用集中在弧上(即弧的权), 而结点是不存在权的。这就给路线优化过程中应用这些算法带来了困难。因为路网中作为结点的是交叉路口, 而实际中车辆通过路口一般总是要有延误的, 而且直行、左转、右转产生的延误一般是不一样的。这无疑是路线优化过程中一个棘手的问题。

文献[28]介绍了一个处理带有结点费用的最短路问题的方法, 可以用来解决上述问题。该方法对原有网络进行一定的修正, 其过程如下:

(1) 在起点 v_i 前增加附加结点 v 及相应的弧 (v, v_i) , 终点 v_t 后增加附加结点 v' 及相应的弧 (v_t, v') ;

(2) 给扩展以后网络的每一条弧分配一个虚拟标号 $L_k (k=0, 1, 2, \dots, m+1)$;

(3) 生成一个由 $m+2$ 个结点组成的转换网络:

a. 其结点与原网络中的弧 $L_0, L_1, \dots, L_{m+1}$ 相对应;

b. 其结点之间的弧根据下列原则确定: 若在原网络中 L_i 有一个直接后继的弧 L_j , 则在转换网络中 L_i, L_j 之间有一条弧 c , 弧的权由下式确定: $W(L_i, L_j) = W(L_i) + W_p(L_i, L_j)$, 其中 $W(L_i)$ 为原网络中弧 L_i 的权, $W_p(L_i, L_j)$ 是与 L_i, L_j 有关的结点附加费用。显然 $(v, v_i), (v_t, v')$ 的权为 0, (v, v') 处不存在附加费用。

将原网络作了以上修正后, 就可以在转换网络中应用任何一种最短路算法求解任意结点对 L_i, L_j 间的最短路径, 最后再将该最短路径转化为原网络中 v_i 到 v_j 的最短路。

6.2 禁行状态的处理

如今为了避免拥堵, 优化交通流在路网上的分配, 交管部门越来越多地在路网上采取了一些禁行措施, 如将某路段设置为单行线, 某时段禁止某车型的车辆通行, 某路口禁止车辆左转、

右转等。路线优化算法必须具有处理这些禁行状态的功能。

我们可以给每一个结点和路段的数据存储结构中增设禁行状态一项,在禁行的弧上设置禁行标志。在实时导航中,若某路段的某一方向出现拥堵,则可在相应的弧上插入禁行标志,该弧指向的下一结点不会被搜索到,禁行道路自然就不会出现在最优路线中了。设置路段禁行标志的一个简单方法是将其相应弧的权设置为 ∞ (或充分大的正数)。对于路口禁止转向,仍可利用5.1介绍的构造转换网络的方法。即如果禁止 L_i 到 L_j 的转向操作,只需在定义转换网络的弧权时,将 $W_p(L_i, L_j) \infty$ (或充分大的正数)。

7 结语

本文讨论了车辆自动导航系统的基本框架,将其分为路网数据库管理、车辆定位、路线优化和路线引导四个子系统,提出了各个子系统需要实现的功能,实现这些功能所需的关键技术,以及需要解决的主要问题。本文着重对车辆自动导航的路线优化系统作了较为详尽的介绍,讨论了道路权重的标定,介绍了一些经典的算法,着重介绍了适于车辆自动导航的最短路算法的一些最新研究进展。这些算法中有些是比较成熟的,有些距实用还有一定距离。如何尽快地将这些算法应用于车辆自动导航的路线优化,是一项亟待解决的课题。本文特别提出了路线优化过程中需特别处理的几个问题,并在理论上给出了相应的解决方案。

车辆自动导航系统不仅可以为出行者提供避免拥堵、减少延误、高效到达终点的行车路线,给出行者带来实际的经济效益;从整个路网的高度来看,还可以优化交通流在整个路网的分配;同时有助于提高交通安全水平,减少交通事故。就此而言,车辆自动导航系统无疑有着巨大的应用前景和市场前景。

参考文献

- [1] Yilin Zhao. Vehicle Location and Navigation Systems. Artech House, Inc., 1997.
- [2] C. O. Nwagboso, Advanced Vehicle and Infrastructure Systems, John Wiley & Sons Ltd, 1997
- [3] C. A. Quiroga, D. Bullock. Travel Time Studies with Global Positioning and Geographic Information Systems; an Integrated Methodology. Transportation Research Part C, 1998(6), pp. 101-127
- [4] 贺国光,徐岩宇. 车辆线路引导系统的行驶时间预测模型研究. 中国公路学报, 1998, 11(3), pp. 79-86.
- [5] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Problems in Connexion with Graphs", Nuberische Mathematik, Vol. 1, 1959. pp. 269-271
- [7] L. R. Ford Jr. and D. R. Fulkerson. Flows in Networks (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1962).
- [8] E. F. Moore. "The Shortest Path through a Maze", Proceedings of the Int. Symp. On the Theory of Switching (Harvard University Press, 1959). pp. 285-292.
- [9] U. Pape. "Implementation and efficiency of Moore algorithms for the Shortest Root Problem", Math. Prog. 7(1974), pp. 212-222.
- [10] B. Ju. Levit and B. N. Livshits. Neleneinye Setevye Transportnye Zadachi (Transport, Moscow, 1972), in Russian.

- [11] F. Glowver, R. Glover and D. Klingman. "Computational Study of an Improved Shortest Path Algorithm", *Networks* 14(1984), pp. 25—37.
- [12] R. W. Floyd. Algorithm 97, Shortest Path, *Comm ACM*, 5(962), pp. 345
- [13] P. E. Hart, N. J. Nilsson, and B. Raphael. "A Formal Basis for the Heuristic Determinations of Minimum Cost Paths", *IEEE Trans. Syst. Sci. Cybernetics*, Vol. 4, No. 2, July 1968, pp. 100—107
- [14] A. Barr and E. A. Feigenbaum (Eds.). *The Handbook of Artificial Intelligence*, Los Altos, CA; William Kaufmann, 1981.
- [15] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, and R. L. Rivest. *Introduction to Algorithms*, Cambridge, MA; MIT Press; New York; McGraw—Hill, 1990.
- [16] R. K. Ahuja, K. Mehlhorn, J. B. Orlin, R. E. Tarjan. Faster Algorithms for the Shortest Path Problem. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 1990, 37(2), pp. 213—223.
- [17] G. B. Dantzig. *Linear Programming and Extensions*, Princeton, NJ; Princeton University Press, 1963.
- [18] T. A. J. Nicholson. "Finding the Shortest Route Between Two Points in a Network," *The Computer Journal*, Vol. 9, No. 3, Nov. 1966, pp. 275—280.
- [19] L. R. Rilett, C. Blumentritt, and F. Liping. Minimum Path Algorithms for In—Vehicle Route Guidance Systems". Presented at IVHS America 1994 Annual Meeting, Atlanta GA, 1994.
- [20] T. Ikeda, M. Hsu, and H. Imai. A Fast Algorithm for Finding Better Routes by AI Search Techniques. *Proceedings of the Vehicle Navigation and Information Systems Conference (VNIS'94)*, Yodahama, Japan, 1994, pp. 291—296.
- [21] E. D. Sacerdoti. "Planning in a Hierarchy of Abstraction Space". *Artificial Intelligence*, Vol. 5, 1974, pp. 115—135.
- [22] R. E. Korf. "Planning as Search: A Quantitative Approach". *Artificial Intelligence*, Vol. 33, 1987, pp. 65—88.
- [23] J. Shapiro, and J. Waxman. Rank Constrained Level Graphs. *Congressus Numerarium*, 84, 1991, pp. 9—20.
- [24] J. Shapiro, J. Waxman, and D. Nir. Level Graphs and Approximate Shortest Path Algorithm, *Network*, 22, 1992, pp. 691—717.
- [25] J. L. Adler. A Best Neighbor Heuristic Search for Finding Minimum Paths in *Transportation Research Board 77th Annual Meeting*, 1998.
- [26] R. E. Korf, "Real—Time Heuristic Search," *Artificial Intelligence*, Vol. 42, Mar. 1990, pp. 189—211
- [27] Y. Zhao and T. E. Weymouth. "An Adaptive Route—Guidance Algorithm for Intelligent Vehicle Highway Systems", *Proc. American Control Conference*, June 1991, pp. 2568—2573.
- [28] 杜端甫编. 运筹图论, 北京航空航天大学出版社, 1990.

ITS 是现代交通工程的发展方向

潘大任 徐基仁

(四川现代控制系统工程有限公司)

摘 要:通过智能运输系统(ITS)研究动态的分析,阐述了交通工程的建设成就和研究成果是 ITS 的基础,ITS 是现代交通工程发展方向的观点,对以 ITS 研究开发推动我国交通工程的发展提出了建议。

1 智能运输系统(ITS)的研究动态

1.1 研究背景

汽车和道路功能智能化的设想,早在本世纪六十年代末期就已经产生了,当时的城市交通信号控制系统和后来的高速公路监控系统,就是道路管理局部智能化的开始。八十年代后期,发达国家认识到投入大量资金建设的庞大道路网仍然不能适应交通量急剧增长的严峻问题,开始大规模地寻求选用现代科技最新技术,特别是利用“冷战”时期结束后西方大量的尖端军用技术可转向民用的成果,用系统工程的方法来提高道路交通系统的智能化程度的途径,以达到单靠道路设施等“硬件”建设无法达到的效果。智能运输系统的研究因此应运而生。

初期的研究开发是在激烈竞争中开始的,逐渐形成了美国、欧洲和日本三大体系。欧洲 19 个国家的政府和企业界实行了 1986 年开始的“尤里卡”(EUREKA)联合研究计划,目的在于建立跨欧的智能化道路网,投资额达 50 亿美元。日本由运输省等政府部门组织上百家企业,会同大学和研究机构进行了大规模的联合开发。其主要项目有“先进的动态交通信息系统”(1987--1989 年)、“超智能汽车系统”(1991 年开始)以及“路车通信系统”等。

与欧洲、日本相比,美国在初期的进展略为迟缓。进入九十年代后,才明显加大了步伐,于 1991 年初成立了专门的全国性组织,从 1992 年起大幅增加投入,到 1997 年政府拨款已达 13 亿美元,近年的研究已在全球领先。目前的开发范围亦扩展到整个陆上交通系统,包括铁路与公路混合运输。在未来的 20 年内美国 ITS 开发投资(包括地面设施在内)将超过 2000 亿美元。

1.2 基本含义

智能运输系统是将先进的信息技术、通信技术、自动控制技术以及计算机技术等有效集成构造的地面运输管理体系。这个系统将人、车、路、环境和相关的服务部门相互结起来,并使汽车和道路的运动功能智能化。该系统将采集到的各种交通及服务信息经过处理后传到各用户,以便出行者进行交通方式和路线的选择;交通管理部门可进行及时的疏导、控制和事故处理;运输部门可随时掌握车辆运行情况,进行合理调度使路网的交通流运行于最佳状态,避免拥挤和阻塞。以最大限度地提高路网通过能力,提高运输的机动性、安全性和生产效率,同时减少能源消耗和环境污染。

1.3 系统框架

智能运输系统目前还处于开发试验阶段,各国、各部门对其结构的描述也不同。在“美国智能运输协会”(ITS AMERICA)1994 年 11 月出版的“ITS 框架发展计划”报告中,将该系统描

述为由 29 个用户服务功能(子系统)构成的 7 个服务领域(基本系统),结构如下表所示:

表 1 ITS 的系统框架

ITS 服务领域 (基本系统)	ITS 用户服务功能(子系统)		
先进的交通管理系统(ATMS)	在途驾驶员信息 交通控制 事故管理	路线指导 旅行服务信息 排放检测与控制	
先进的出行信息系统(ATIS)	出行前信息	搭乘匹配	出行需求管理
先进的公共交通系统(APTS)	在途交通信息 公共交通管理	适应个人需求的公共交通 公共交通安全	
营运车辆调度管理系统(CVOMS)	营运车辆通关管理 营运车队管理 车辆安全监视	营运车辆管理 自动化路边安全检查 危险物品事故反应	
电子收费系统(ETCS)			
先进的车辆控制系统(AVCS)	应急车辆管理	突发事件通报和人员安全	
应急管理系统(EMS)	纵向碰撞预防 自动化公路 改善视野防撞	交叉路口碰撞预防 横向碰撞预防 预先抑制事故	
★先进的乡村运输系统 -- 1994 年以前曾列为基本系统(ARTS)			

1.4 国际交流

为了交流和促进 ITS 的发展,1994—1997 年期间每年举行了一次 ITS 世界大会,分别在法国、日本、美国德国举行。1998 年的第五届世界 ITS 大会于 10 月 12 日—16 日在韩国汉城举行,参加大会及展览会的代表约 4000 人,发表论文约 500 篇,其中我国大陆 12 篇,香港地区 4 篇,“中国台北”8 篇。

在大会上,我国交通部总工程师风懋润应邀作了开幕式报告,交通部 ITS 中心副主任王笑京,清华大学交通研究所所长史其信,副所长陆化普作了特邀报告。我国大陆代表宣读的其他论文的第一作者所属单位分别是:同济大学、首都高速公路开发公司、西南交通大学、华南理工大学、北方交通大学、四川现代控制系统工程有限公司(2 篇)。

1.5 标准化

由于 ITS 是以通信和信息技术为基础的,因此从 ITS 研究开始,各国就非常注意标准化问题。1992 年国际标准化组织(ISO)就智能运输系统设置了专门的技术委员会 IC204,分为 16 个工作组进行智能运输系统各相关领域的标准化工作。这 16 个工作组及工作内容见下表: