



国际电气工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

智能运输系统：智能化 绿色结构设计（原书第2版）

Intelligent Transportation Systems: Smart
and Green Infrastructure Design
(Second Edition)

(美) Sumit Ghosh 著
Tony S. Lee
胡郁葱 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

智能运输系统：智能化 绿色结构设计 (原书第2版)

(美) Sumit Ghosh 著
Tony S. Lee

胡郁葱 译



机械工业出版社

译者序

随着社会经济的不断发展，人们对交通运输的需求不断增加。由于道路资源有限，人们更希望能通过提高现有道路的利用率，来提高道路交通的安全性和道路使用的舒适性，这种情况下，智能运输系统（ITS）应运而生。ITS 是一门同时涉及科学性和工程性的学科，其主要目标是在行驶速度不断提高，出行者数量不断增大，出行者迫切需要更精确、及时的信息的情况下，通过现有资源的公平分配，减少所有出行者和商品的总运输时间，同时确保出行的安全。

本书主要侧重于研究 ITS 如何才能为出行提供更及时的信息和更高质量的引导，也就是在现有基础设施范围内如何改善运输的质量。贯穿本书的一个中心思想是：随着运输模式日益多样化，运输规模的日益壮大，运输系统的体系结构必然要由集中式模式向异步分布式模式转化，因为这种异步分布式模式能在当今计算机技术高度发达的信息化社会，通过新型的计算机算法将快速计算机和高性能计算机网络有机地结合起来，极大地提高 ITS 的服务效率和稳定性。

本书作者 Sumit Ghosh 和 Tony S. Lee 多年来致力于电气工程和计算机等领域的研究工作，成果显著。Sumit Ghosh 曾先后在贝尔实验室、Fairchild 电气先进技术研究和发展实验室及 Silvar-Lisco 公司进行过研究工作，目前任教于德克萨斯大学泰勒分校。他于 2004 年获得 IEEE 计算机学会技术成就奖，2008 年任美国设计与流程科学学会（SDPS）主席，已是 5 本书的第一作者。Tony S. Lee 曾是加利福尼亚州远创科技数据转换公司的资深高级工程师，还曾是美国国家航空航天局（NASA）埃姆斯研究中心的一名研究员。Tony 目前是雅虎公司的科学带头人，其研究领域包括运输系统、银行系统和军事指挥与控制等。他也是高保真分布式网络模拟器 ATMSIM 软件包的发明者之一，该软件包能帮助网络研究人员为新的协议、算法以及识别复杂的交互行为而开发现实模型。

本书作者通过对 ITS 的发展现状和存在问题的总结，归纳出一些新的适用面广泛的元层原理，并据此提出适用于各类运输系统发展的基本原则。本书以高速公路系统和铁路系统为例，与传统的集中式控制体系相对比，对分布式控制体系进行了研究，分别提出铁路网络的分布式决策算法 DARYN，以及更为精确的带有软预留的算法 RYNSORD，并且研究了 RYNSORD 在干扰下的稳定性。本书还针对运输问题的复杂性，提出一种智能车路系统的分布式、可扩展体系结构 DICAF。最后，本书专门针对 ITS 设计中重要的建模和仿真技术进行了阐述。本

书附带了 CD-ROM，读者可以根据本书最后一章内容对 RYNSORD 仿真器进行简单的实验。

本书部分章节的初译得到研究生商慧丽、凌美宁、张琦的大力协助，在此表示感谢，陈海伟、向曾哲协助校对了部分初稿，全书由胡郁葱统稿审校。

由于译者水平有限，书中难免有疏漏或错误，敬请广大读者批评指正。

第2版前言

自1999年出版《智能运输系统：新的学科及其架构》以来，已经过去了10多年。在那以后，全世界交通运输领域中产生了许多重要的新成果，但同时，很多地方也出现了退步的情况。几乎所有人都承认，智能运输系统（ITS）将会有更好的发展前景，但还需要我们努力去实现。拥堵、不确定性以及未来交通发展方向的不明确等问题仍然存在。目前对ITS的发展形成阻碍的两个关键因素包括：缺乏大量有相应知识背景、受过相关培训的ITS工程技术人才；ITS研究和发展的推动力不足。本书希望能提醒美国政府，不仅要重视直接面向未来运输从业人员的ITS教育发展计划，还应注重提高当前运输从业人员的创新性和专业能力。这两方面都会给我们带来巨大的挑战，事实上，在21世纪，我们几乎在所有领域都已经开始遇到这种挑战，这也是学科间、跨学科或者交叉学科的研究和教育密切联系的必然结果。

在过去10多年中，我们通过在其相关领域中的各种活动和努力，得到了许多经验，也获得了一些惊人的发现和独特的见解，还归纳总结出了某些元层原理，这些都包含在我们这个修订版中。我们曾经强调智能决策和效率的重要性，并将其作为ITS的标志性特征，但在这一版本中，我们将重点强调智能和创造力的分形特征，这一特征将成为我们巨大的灵感源泉，也许能帮助我们以前所未有的深度去分析最复杂的问题，为几乎不可能解决的问题找到最巧妙的答案。经过适当的培育，这种特性能为持续不断地实现量的增长提供实际可行的途径。我们还观察到ITS的效率属性和地球上到处可见的“绿色”生活是类似的，因为ITS和“绿色”生活的目标都是要利用最少的能源获得最大的有序度，即熵或无序的对立面。我们的研究还发现效率在本质上是等同于分形的。

我们要感谢Frank Kreith博士，他同时也是本书的编委和全国州立法委员会成员。他在2009年4月下旬打电话给我，并建议我们重新修订此书，当时我非常惊讶并且激动，这说明和1999年相比，如今人们对ITS的发展产生了更为浓厚的兴趣。有一个现象可以解释为什么会有这种不断增长的兴趣产生，那就是美国国会根据“2009美国回收再投资法案”，在修路、修桥以及其他交通基础设施上已经投入了几十亿美元，而交通运输问题却没有得到本质的改善。除此之外，还有一个更深层次的不可见原因：美国是一个有着丰富的创新和改革经验，并充满商业化思想的国家。更重要的是，这个国家曾经以惊人的效率和改革精神迅速摆脱了经济萧条时期。从1930年到1950年，雷达、核能、州际高速公路、晶体管以及计算机的发展

都极大地改变了美国乃至全世界的经济局面。到了2010年，学科范围几乎不受限制的ITS已经准备加入到这个行列中来。

在这一版中，我们增加了两个新的章节。第1章重点回顾了ITS领域中重要的理论发展和工程实施情况，并指出ITS将要面临的主要挑战。第2章分为三部分，第一部分描述了元层的原理和思想，第二部分解释了如何将元层原理和思想应用到实际的ITS问题中，第三部分指出了ITS必须要面对的一些挑战，当我们可以利用元层和ITS原理解决这些问题时，就意味着我们在技术和社会利益上都将会发生一个量的突变。我们希望全美国的市、县、州，还有印度、中国以及其他国家都能参考本书中的观点，并能认真考虑将其应用于现有和规划的道路、高速公路、桥梁以及其他基础设施工程项目中，使这些工程的质量得以提高，运行寿命也能得以延长。ITS的基本特征和原理都在这一版本的第3章中做了进一步的阐述。

作为一个产业，ITS为私人和公共部门的合作提供了巨大的潜在发展空间。然而同样因为作为产业，ITS还需要进行更彻底的研究。ITS涉及的范围是非常宽泛的，它涉及技术、运营、政策、个人隐私、标准、商业、财政、政治等各个层面，以及如何与其他产业合作，以促进其发展并创造财富等。本书主要讨论的是ITS技术和运营上的问题，其次也涉及一些ITS政策方面的问题。

我们非常感谢德州农工大学德克萨斯运输研究所的Tim Lomax博士和乔治亚理工学院的Chelsea White教授，他们对本书进行了公正的审阅，并提供了有深刻见解和有建设性的建议。

我们还要深深感谢美国运输部（US. Dot）ITS联合项目办公室前任经理Raj Ghaman先生。

最后，我们也要感谢Joe Clements及全体编委，感谢CRC出版社的全体职员为我们提供的一贯而热情的支持。

Sumit Ghosh

Tony S. Lee

第 1 版前言

运输的概念是指人和货物经过一定地理距离的移动，运输拥有与人类文化同样久远的历史。运输的范围是巨大的，从人们在地球表面的步行到手推车的出现，再到畜力车、小汽车、火车、飞机和轮船。尽管运输模式是多样化的，但它们都有一个共同的特性——在其整个发展历程中，不断通过为其组成部分提供信息和指引来提高效率。过去，信息是由人和某种材料（纸等）以消息的形式携带并传递的，所以，信息的传送速度与运输的模式有很大关系。随着电磁通信技术的出现，在 20 世纪，运输的概念发生了巨大的转变。提供信息和指引的速度要比人和货物实际移动的速度快得多，这就意味着整个运输系统出现了质的提升。于是，在铁路系统中，站 A 的管理员在火车刚刚通过该站时，就立刻连线告知站 B 的管理员火车即将到达（站 B）的信息，这已成为一个标准的操作过程。出于简化结构或保持控制的一致性需要等种种原因，人们通常会利用一个集中式单元来为运输系统提供信息和指引。在一个特定的运输系统中，由一个中央控制系统收集系统中所有实体的信息，在必要时，也向它们提供信息和指引。而对于孤立的，成员数量很少的小系统，通常也会采用非集中控制。可是，当系统由于联合等原因不断扩展时，还是会转而使用集中控制。

从 20 世纪末起，许多运输系统，特别是高速公路系统，包含的个体单元数量一直在飞速增长。仅仅在美国，车辆数已超过 20 亿，铺装道路里程超过 4mile (1mile = 1609.344m)。此外，在高峰时间段，许多运输系统的局部使用率已经超过了其容量限制，导致了交通阻塞以及其他相关问题的出现。此外，当今社会中的每个人都希望能有更多的自由选择 and 灵活性。但是，对许多运输系统来说，扩展现有基础设施的成本过于昂贵，这就导致了人们将主要发展战略从修建更多的基础设施转移到提供更及时的信息和更高质量的指引上来，也就是想在现有基础设施范围内改善运输的质量。当然，在经过深思熟虑，并利用模拟和仿真工具进行了科学论证之后，某些被认为是绝对必需的基础设施，还是应该继续建设的。基于上述原因，集中式控制模式将要面临几个挑战：实体绝对数量的增长、对更快获取准确信息的需求和对获取高质量指引的需求。

要满足未来这些需求，2000 年后，运输系统必然要经历另一种根本性的转变，即集中式模式转向异步分布式模式，这种异步分布式模式将通过新型计算机算法将快速计算机和高性能计算机网络有机地结合起来。本书将重点研究未来运输系统的基本原则，提出新的系统架构。本书利用这些基本原则，经过科学的论证，阐述了

在运输系统中创新和有创造性的设计方法的重要性和必要性。本书还强调了对某些典型系统进行计算机模拟和仿真研究的必要性，这可以帮助我们完成一些对复杂的、大型系统的设计和论证工作，也可以帮助我们设计出一些新的性能指标，以评价这些系统的表现。尽管运输系统的范围非常广泛，但本书中的重点还是在两个应用最为普遍的系统上，即高速公路系统和铁路系统。书中介绍了在进行与出行相关的决策时要用到的基本原则，这些决策包括协调、控制和路径计算等。这些基本原则构成了运输系统的核心，也适用于整个运输系统，包括航空客运、航空货运、个性化快速公交系统等。这些原则是引领运输系统进入下个世纪的核心成果之一，因此本书中就不再讨论与此有关的其他问题，如驾驶员行为分析、人的因素、人的行为引起的拥挤和其他交通因素等。

本书的撰写受到两个动机的推动。第一个是我自己在使用当前的运输系统时经常会遇到问题，并且相信我们已经拥有了解决这些问题所需要的技术。和成千上万的人们一样，我们遇到的问题包括交通拥堵、在航空旅行过程中丢失行李、在火车站或汽车站得到错误的到达信息、夜间行驶在不熟悉的城市而迷路等。通用电气化机车建设公司根据 Carley 在华尔街日报 1998 年 6 月 29 日的报道，指出由于缺乏有效的信息、协调和控制，铁路走廊上的交通瓶颈导致的机车闲置率高达 40%。在对运输系统进行了全面分析和研究后，我们相信，新的分布式控制算法将是未来运输系统架构设计的最合理选择。我们可以预见，新型计算机控制算法和大型分布式软件在未来运输系统中将起到越来越重要的作用：它能为我们提供一种全新范围的个性化的出行服务；使全系统中每个实体的移动效率得到本质的提升；实现高速公路入口匝道的先进控制；在综合考虑高速公路和街道路面交通流的基础上，提供个性化的快速公交服务；促进环境朝更安全的方向发展等。

第二，我们相信，要实现智能运输系统（ITS）质的飞跃，未来的高速公路运营工程师和交通专家们必须接受在土木和电子工程、运输工程和规划、人文和最为重要的计算科学与工程（CSE）等学科交叉领域上的训练。CSE 学科中的分布式系统、算法设计、网络、计算机模拟和分布式仿真等基本知识尤为重要，因为它们理解最复杂的、高水平系统结构体系的关键。1998 年 1 月，Massachusetts 大学的 John Collura 教授在一门新课程中向本科生和硕士研究生详细介绍了 ITS 的最新进展，同一时间，Michigan 大学的 Chelsea White 教授在交通技术国际研讨会上指出：未来的运输问题本质上一定是各学科之间的问题。最近，Arizona 州立大学启动了一个关于运输系统的“跨学科认证等级计划”，该计划受到来自规划和园林建筑学、土木与环境工程、地理和航空管理与技术等专业教师的支持。本书中的思想和理念也是“自治的分散式交通运营系统（ATOS）”的基础，该系统控制着世界上最大的运输系统——东日本铁路公司。由东芝公司建立的 ATOS 包括 5000 台自主计算机，每天控制着超过 6200 列火车^[1]。

第3章检验了所有运输系统的基本特征,特别是从未来需求的角度,并根据分析提出了其发展的基本原则。这一章还提出了未来系统的关键设计问题,包括控制算法、系统中不同实体之间的交互特征、连接各实体的网络等。该章还强调了在未来系统设计过程中模拟和仿真的重要作用。第4~6章介绍了几个案例研究情况,对第3章中提出的观点进行了论证,并进行了概括和总结。第4章详细描述了在铁路系统中计算火车路径的一种新型的分布式方法。该章先对火车控制中的传统方法作了解释,并对相关文献进行了详细综述。然后,提出一种新型的分布式控制算法DARYN。该算法先在一个小型铁路网中模拟,然后才在ARMSTRONG——一个松耦合并行处理器上进行模拟,获得了该算法的测评指标。第5章提出一种更为精密的算法——RYNSORD,该算法主要用于在铁路网络中进行有效调度和传递拥堵信息。在RYNSORD中,每列火车都使用前向值来动态规划其前方路径,即在每个阶段,火车都会预定前方将要使用的一节或多节轨道。该预定过程具有“软”特性,也就是说,当火车和车站之间进行协商时,少了一些硬性规定,多了些灵活性,这和传统的死板的“硬”预留技术是相反的。RYNSORD在美国东部铁路网的一个子网上建立了模型,并在一个由65 + SUN Sparc 10工作站组成的计算机网络上进行了仿真。在这一章中,对该算法性能表现的分析,主要是通过对火车出行时间的比较和路径决策的质量比较来实现的,路径决策方案的质量是文献中对系统的唯一度量标准。第6章介绍了DICAF——一种智能车路系统(IVHS)的新型结构。该结构中,全部动态路径引导任务和智能化的拥挤转移任务都被分配给系统中每个实体(即IVHS系统中所有汽车和高速公路基础设施)来共同完成。IVHS这个词仅限于在与高速公路车辆有关的情况下使用,而ITS这个词的应用面则更广,包括了所有运输系统。DICAF使用了一个连续函数——拥堵程度,来影响路径引导过程,并针对现实中的某高速公路系统,提出一种新的度量标准,即将DICAF的性能与绝对最好值相比较。DICAF和RYNSORD都有一个共同的目标,就是实现系统资源的有效配置,它们只是根据两者之间在本质上的区别,采取了不同的策略而已:火车受限于轨道,所以在使用轨道前必须要进行专门的预留,而汽车则有更大的灵活性,可以与道路上的其他汽车一起分享道路资源。第7章对运输过程中出现干扰时各种新型计算机算法的稳定性进行了系统的和详细的研究。这一分析对于理解复杂的运输系统的鲁棒性和弹性是非常关键的。这章以RYNSORD为例阐述了分析的基本原则。第8章介绍了一些在ITS设计中为模拟和仿真开发出的新技术。

综上所述,本书的组织思路如下:第3章提出一般性原则,第4~6章解决现实世界中的某些具体问题。作者的想法是,尽管看起来是基本类似的,但是每一个运输问题在它的本质、特征、要求等方面都是独特的,都需要建立一种服从于该系统基本原则的常规解决方案。我们希望读者能真正理解这些既一般化却又很特殊的概念,并将它们融入到未来问题的革新方案中去。

本书可供运输工程和计算机科学的研究生，不同运输学科的研究人员，铁路、高速公路和航空从业人员，运输体系的政策制定者等使用。它是为数不多的可作为研究生课程“先进的运输工程”教材的书籍之一。除了理论概念、计算机模拟和实验分析以外，本书还附带了 CD-ROM，针对第 5~7 章中的每个实例，为读者提供了可执行的仿真器，使读者能在 Linux 工作站组成的网络上，针对不同参数选择、不同网络配置和不同输入数据的情况进行仿真，以通过动手实验来加深理解。导师们还可以将仿真器作为实验环境的一部分，供学生在实验室进行练习。第 10 章介绍了仿真器的使用。当然这些仿真器只是供学术研究而用，范围有一定限制，读者如果需要获得仿真器的商业版本，可以联系 sumit.ghosh@ieee.org。

作者还要感谢许多将他们对运输系统的理解贡献给本书的人，包括第一作者以前的学生，Raj Iyer, M. D.、Noppanunt Utamapathei 和 Kwun Han，他们在第一作者于布朗大学获得终身教职期间正随他攻读学位；联邦高速公路管理局（波士顿）的 Rick Backlund、罗德岛运输部的 Robert Shauver 等。也感谢运输方面各篇文献的作者，他们帮助我们理解了这个学科，我们对此深表感谢。我们还要感谢美国国防部的资助机构的一贯支持。最后，我们要向 CRC 出版社工作人员的热情和一丝不苟的工作态度表示衷心的感谢。

关于作者

Sumit Ghosh 于1980年在坎普尔的印度理工学院获得电子工程学士学位，1984年，他在加利福尼亚的斯坦福大学计算机系统实验室（电子工程和计算机系联合设立）获得硕士和博士学位。Sumit 曾经在贝尔实验室（霍姆德尔，新泽西）、Fairchild 电气先进技术研究和实验室（帕洛阿尔托，加利福尼亚）及 Silvar-Lisco 公司（门洛公园，加利福尼亚）接受过工业研究训练。他曾经在布朗大学、亚利桑那州立大学、史蒂文斯理工学院都持有学术职位，现在是在得克萨斯大学泰勒分校任职。他是 IEEE 计算机学会 2004 技术成就奖的获得者，是设计与流程科学学会（SDPS）会员，并且在 2008 年被推选为 SDPS 主席，而 SDPS 是跨学科研究和教育方面的领头羊。Sumit 是以下 5 本参考书的第一作者：《Hardware Description Languages: Concepts and Principles》（IEEE 出版社，2000）；《Modeling and Asynchronous Distributed Simulation of Complex Systems》（IEEE 出版社，2000）；《Intelligent Transportation Systems: New Principles and Architectures》（CRC 出版社，2000）；《Principles of Secure Network Systems Design》（Springer-Verlag，2002）；《Algorithm Design for Networked Information Technology Systems: Principles and Applications》（Springer-Verlag，2003）。同时，他还是《Guarding Your Business: A Management Approach to Security》（Kluwer 学术出版，2004）的主要合编者之一。

Tony S. Lee 在罗德岛州普罗维登斯的布朗大学计算机工程专业和政治学专业获得学士学位，同样在布朗大学获得电气工程硕士和博士学位。他目前是雅虎公司的科学带头人。Tony 已经在十几本重要刊物和会议上发表论文，涉及的领域包括运输系统、银行系统和军事指挥与控制。他还和 Sumit Ghosh 合作编写了《Modeling and Asynchronous Distributed Simulation of Complex Systems》（IEEE 出版社，2000，6）。在获得当前职位以前，Tony 曾是加利福尼亚州桑尼维尔远创科技数据转换公司的资深高级工程师，工作范围是分布式软件开发和网络技术。在他获得远创科技终身职位之前，还曾是美国国家航空航天局（NASA）埃姆斯研究中心（Moffett Field，加利福尼亚州）的一名研究员。在 NASA，他参加了几个高速网络的研究项目，研究内容包括网络服务质量和信息电网等。Tony 也是 ATMSIM 软件包的发明者，这是一个高保真的、分布式网络模拟器，它能帮助网络研究人员为新的协议、算法以及识别复杂的交互行为而开发现实模型。

目 录

译者序

第2版前言

第1版前言

关于作者

第1章 ITS 技术的发展现状	1
1.1 ITS 的广义范围	1
1.2 ITS 的一般性定义	2
1.3 ITS 的发展现状	2
1.4 ITS 技术发展回顾	4
第2章 待发掘的 ITS 新的元层原理	7
2.1 元层原理	7
2.2 ITS 的新挖掘点和挖掘措施	8
2.3 挑战和机遇的案例	11
第3章 交通运输系统存在的基本问题	16
3.1 ITS 的主要特性	17
3.2 通过建模和仿真科学地验证 ITS 的设计	22
第4章 DARYN: 铁路网络的分布式决策算法	24
4.1 概述	24
4.2 DARYN 方法	26
4.2.1 算法	26
4.2.2 避免死锁的依据	29
4.2.3 在松耦合并行处理器上模拟 DARYN	30
4.3 在 ARMSTRONG 上执行 DARYN	33
4.4 DARYN 的性能	38
4.5 DARYN 算法的局限性	44

第 5 章 RYNSORD: 一种新型的基于软预留机制的铁路网络分散式控制算法	46
5.1 引言	46
5.2 RYNSORD 算法	47
5.3 在精确、实时、并行处理的实验台上模拟 RYNSORD	55
5.4 算法的执行问题	60
5.5 仿真数据和性能分析	63
5.6 RYNSORD 的局限性	76
第 6 章 DICAF: 一种智能车路系统的分布式、可扩展结构	77
6.1 引言	77
6.2 DICAF: 一种新颖、分布式、可扩展的 IVHS 方法	83
6.3 在一个精确的并行处理试验台上进行 DICAF 的现实模拟	90
6.4 实施操作和调试	96
6.5 仿真结果和 DICAF 的性能分析	97
第 7 章 RYNSORD 在干扰下的稳定性	118
7.1 稳定性	118
7.2 RYNSORD 稳定性的正式定义	121
7.3 RYNSORD 稳定性分析模型	122
7.4 RYNSORD 的稳定性分析	123
7.4.1 稳定性分析的误差标准	123
7.4.2 稳态分析	124
7.4.3 对输入率的干扰和稳定性分析	125
7.4.4 对系统特征的干扰和稳定性分析	130
7.4.4.1 对车站之间和火车与车站之间通信的干扰	130
7.4.4.2 与轨道区间段有关的干扰	132
第 8 章 ITS 设计中的建模和仿真技术	141
8.1 引言	141
8.2 ITS 设计中移动策略的虚拟和物理的处理过程	141
8.2.1 虚拟进程移动策略	142
8.2.2 物理进程移动策略	144
8.3 进程移动策略中的软件技术	145
8.3.1 VPM 中的软件技术	147
8.3.2 PPM 中的软件技术	150

8.4	实施情况	153
8.5	仿真结果和性能分析	153
第9章 ITS 未来的问题		159
第10章 CD-ROM 中的 RYNSORD 仿真器及其实验范围说明		161
10.1	安装	161
10.2	概述	162
10.3	准备运行	163
10.3.1	NETWORK. OUT	163
10.3.2	帮助文件	164
10.3.3	输入生成	164
10.3.4	输出文件	164
10.3.5	故障处理	166
10.3.5.1	如何知道仿真系统正在工作	166
10.3.5.2	问题	166
10.3.6	轨道和通信故障	166
10.4	结论	167
参考文献		168

第 1 章 ITS 技术的发展现状

1.1 ITS 的广义范围

自 1999 年以来,人们越来越清晰地认识到,如何高效地实现旅客和货物运输这一问题远比想象的要复杂得多。该问题不仅存在于由车辆和道路组成的地面交通中,它还影响到火车、客机、航空货运、渡轮和船舶等所有可用的以及当前在用的运输方式。对这一问题的认识,使得人们放慢了研究和应用智能车路系统(IVHS)的脚步,而促进了更广泛意义上的智能运输系统(ITS)的发展。两名研究人员,Kan Chen 和 Bob Ervin,重新定义了 IVHS,扩大它涉及的范围,并将该系统重新命名为 ITS(Chelsa White 教授,2010)。显然,要形成一种全国甚至是全球通用的、真正可行的解决办法,必须从全局着眼,考虑多种运输方式之间复杂的相互独立、相互依存的关系,同时需要建立一个基本目标,即在公平分配可用资源的条件下,尽量减少所有旅客和货物的在途运输时间。在不久的将来,通过太空旅行到月球和太阳系中的其他人造卫星和行星去也将成为家常便饭,这些都可能需要在 ITS 中进行协调。因此,目前在对 ITS 体系结构基础进行规划时,就应该考虑到各种运输方式的特性,为未来实现各种运输方式之间的无缝一体化衔接做好准备。

根据《综合地面交通效率法(ISTEA)》(俗称冰茶法案)、《21 世纪交通運輸平等法案(TEA-21)》和《安全、可靠、便捷、高效的交通平等法案(SAFETEA-LU)》,美国 ITS 界普遍认为,解决这一复杂问题的关键是两个方面的科学研究和工程进展:首先是不断提升中的计算能力,它是以功能强大的台式工作站和移动笔记本电脑、掌上电脑、手持式个人数字处理器(PDA)等形式提供的。其次,是逐渐普及的通信和控制网络,包括有线和无线网络。然而,仅仅提高计算能力和普及网络本身并不会就自动形成一个解决方案。举一个例子:通用电气机车建设公司的 Carley^[2]指出,由于信息交流不畅、协调和控制不力等导致在铁路运输走廊产生的瓶颈,可能使机车闲置率高达 40%。由于柴油机车即使在闲置时其发动机也要运行,所以在 20 世纪后期,许多铁路公司每年的燃料预算都超过 800 万美元,浪费非常惊人。无论以什么标准来看,这种低效率都是不可持续性的。在本书中提到,要成功解决这一复杂运输问题,关键就在于要全面了解控制和协调算法。抽象地说,这些算法能将计算能力和网络资源以一种协同的方式统一起来。

1.2 ITS 的一般性定义

ITS 是一个同时涉及科学性和工程性的学科，其主要目标是在行驶速度不断提高，旅客数量不断增大，旅客迫切需要更精确、及时的信息的情况下，通过现有资源的公平分配，减少所有旅客和商品的运输时间，同时确保安全。为了实现这一目标，在社会规范、政策和指引的约束下，ITS 必须通过异步分布式控制和协调算法使道路交通，铁路，航空客、货运，海上渡轮及其他不同运输方式有效地衔接起来。这种衔接的结果将表现为：①旅客可以从系统中的任意位置获得任何一种运输方式准确的运行信息；②旅客能利用个人出行辅助决策系统计算出最有效的路径，或通过处理所掌握的资料，在不同运输方式中重新设定出行路线；③将允许旅客动态地，甚至是在途中，在各种运输方式中执行有效的预订操作。实际上，ITS 涵盖了运输管理的各个领域的工作，包括州际公路管理和交通信号控制、包含多方式旅客出行信息在内的出行管理、公共交通和运输管理、涉及事故或铁路平交路口以及紧急救援服务等内容的安全管理、先进的车辆控制以及付费和收费管理等。

1.3 ITS 的发展现状

尽管早在 1991 年就颁布了“冰茶法案”（ISTEA），但目前州际和国家公路系统上的拥堵问题仍很严重。这不是一个新问题，因为拥堵已经出现很长一段时间了。2003 年伦敦的平均车速为 17 mile/h ($1 \text{ mile/h} = 0.44704 \text{ m/s}$)，相当于 100 年前马车时代的速度。如今在曼哈顿，行人的平均速度是 3.3 mile/h，具有讽刺性的是这竟然要高于机动车 3.1 mile/h 的平均速度。根据对 5 个最拥堵的地区（洛杉矶、华盛顿、旧金山-奥兰多、迈阿密和芝加哥）10 年数据的研究，Lomax^[3] 在 2002 年指出，每年每个司机由于停车等待造成的平均出行延误相当于一周工作时间，而每年仅在洛杉矶由于拥堵导致停车而造成的燃料浪费就高达 86 亿美元。最严重的出行延误发生在圣贝纳迪诺，为每年每车 75 h，而最高的人均燃料浪费为华盛顿特区的 860 美元。拥挤增加导致的另一个后果是美国州际高速公路系统和其他主要道路严重受损^[4]。路面的碎裂部分和坑洞不仅给高速行驶的车辆带来危险，而且碎片很可能变成飞行的导弹，引发交通意外和事故。为了避免拥挤，重量超过 10 万 lb ($1 \text{ lb} \approx 0.4536 \text{ kg}$) 的重型拖车越来越多地选择使用农村道路，这反而又加剧了农村路面碎裂的程度，因为农村道路是为荷载小于 10 万 lb 的轻型车辆服务的。

但是，我们仍然可以从两个不同的角度看到 ITS 带来的进步。第一个角度是从科学文献综述中总结出的下列领域的研究成果：系统规划、交通流建模、系统评价、车辆跟踪、基于 GPS 导航的自动驾驶、信号控制、车辆制动、车道检测和转

向控制、智能驾驶控制、向司机传达路况信息、噪声污染控制、队列控制、ITS 系统的评价与仿真以及 ITS 工作人员培训等。通信系统中越来越多地采用无线和光纤取代铜缆方式,提高了交通运输系统中的快速通信能力,因此可以做到不断地重新计算和调整交通灯信号中的红灯、黄灯和绿灯时间,使道路交通流和车辆更有序地行驶。在对车道进行追踪和对车道变换的自操纵研究过程中,1000Hz 线性摄像机在距离为 10m、速度为 60km/h 和加速度为 -2m/s^2 的情况下能高效地提供精确到 1mm 的相对距离精度。到目前为止,ITS 最重要的成就就是能利用信息技术为用户提供有关信息,这些信息包括从家里、公司,以及全球的移动电话,或通过互联网获得航班和火车到达和离开的信息;自动通知延误和取消信息;通过移动电话和短信方便地预订座位和出租车;以及从因特网上获得从起点到终点的街道方向和地图等。获得这些信息的能力极大地体现了 ITS 的进步。

第二个角度就是,自 1991 年以来,ITS 产业不断发展,带来了许多新的市场产品和服务,通过这些产品和服务也可以检验 ITS 的进步。例如,美国许多城市都提供免费电话号码(如波士顿)和公共网站(如西雅图),使人们可以从中获取城市道路拥挤的最新状态报告(Tim Lomax 教授,2010)等信息。这种服务是非常有价值的,但有三个关键问题需要解决:第一,最新的路况信息往往仅限于为数不多的主要道路,而对于更多的次要道路,要么没有这些信息,要么只能提供过时信息;第二,在全部公路上传播完整的信息所需的时间通常很长,因此,对某些驾驶员来说,这些信息的用处是有限的;第三,系统的信息服务不是实时动态的,在驾驶途中,信息可能会由于意外和事故而发生重大变化。如今,许多载重汽车、机场接送服务车,以及豪华汽车都配备了 GPS 导航装置,获取信息应该不成问题,因而 ITS 面临的主要问题还是在于缺少一种实时的方式来传递关于拥挤和道路封闭情况的准确且实时动态的信息。许多公路部门已经转向使用调频广播,播报由于施工导致的匝道关闭、车道压缩以及其他相关公路状况等信息。这种做法有一定意义,但是还是可能存在由于电磁干扰导致驾驶员不能及时收到广播的问题。在某些交通运输网络中,人们喜欢沿着高速公路和快速路安装大量摄像头,将视频信号反馈回集中式交通控制中心,监测拥挤情况。虽然摄像头的安装和维护成本较高,但是它们确实能有效地引导途中的警察和救护人员到达事故现场,还可以记录可疑车辆的车牌。然而,在对拥挤进行监测与控制这一问题上,还有一些其他设备可以使用,如铺设在人行道下的光纤等,它们都比摄像头更为便宜,而且非常可靠。上述这些措施都促进了非官方的旅行速度数据市场的逐步形成和发展。电子收费系统(如美国东部和沿 95 号州际公路走廊的 E-ZPass 系统)已被看做是 ITS 领域的一项重大成就。这套系统中,车流可以以 15mile/h 的速度通过收费站,避免了车辆在收费站停车交费,看似可以明显减少延误。然而,实际上 E-ZPass 电子收费系统的优点只有在道路不拥堵的时候才能发挥出来。在实际道路条件下,它的表现只能说是