

摘 要

（高速公路交通管理系统是为了缓解高速公路特别是城市高速公路交通拥挤、提高道路的有效利用率和交通流量、减少交通事故的发生率以及因交通事故造成的出行时间和经济等方面的损失、保护道路交通环境而建立起来的现代化的管理、控制系统。其以交通法规为原则，以计算机、信息网络等现代技术为手段，以运筹学、控制论为核心理论，以创造有序、迅速、安全舒适的行车环境为系统目标来对交通流合理引导、限制和优化。）
论文综合考虑高速公路交通管理系统的上述特征，分别从系统目标定位及概念设计、系统需求分析、系统数据管理及网络结构分析、交通控制与交通事件检测理论与应用四个层面，对高速公路交通管理与控制问题进行了系统阐述。界定了系统的功能及各功能的实现要求，并从系统集成角度划分了系统的结构；分析了各子系统的信息、功能、建设等方面的需求，给出了基本实施方案要求；对系统数据流程进行了描述和梳理，提出了数据管理的方法、目标及措施，分析、设计了系统网络拓扑结构及设备需求；阐述了交通模型的建模思想和动态交通模型的建立过程，对集中式和分散式全局交通控制理论进行了详细的分析，提出了基于预测的高速公路匝道控制理论，并对理论模式及相关的问题进行了研究，分析了高速公路事件检测系统，并采用面向对象的编程思想，以 Visual C++为编写工具，开发了高速公路事件检测系统分析软件。

关键词 高速公路；交通管理；控制理论；检测软件

ABSTRACT

Freeway traffic management system is modern management and control one which can relax traffic congest, improve road utilization, increase traffic flow, decrease traffic accident rate and economic loss, protect environment. It selects highway code as principle, operational research. and cybernetics as kernel theories in order to create well-ordered, speedy, safety-comfort travelling environment and realize traffic flow rational leading, limiting and optimizing. Synthetically considering these characteristics, the method of freeway management and control are presented according to four aspects: system objective orientation and concept design, system demand and requirement analysis, system data management and network structure, traffic control and accident detecting theory as well as its application. Function and structure of system are delimited from the point view of integration. Construction and function demand of subsystem are analyzed and basic implement projects are presented. In this thesis, system data flow and management method and target which based on system network topology structure and equipment demand are described. Traffic modeling ideology and the process of making dynamic model as well as accident detecting program are presented with centralized and distributed traffic control theory in detail, then freeway ramp control theory which based on predictive model and its theoretic pattern are explored. Finally, based on the object oriented programming, program of accident detecting and checking on freeway is developed by using visual c++ as tool.

Keywords: freeway; traffic management; control theory;
detecting-program

第1章 绪 论

公路交通是物质生产过程在流通领域内的继续。一方面它作为国民经济中的一个重要的物质生产部门,是社会经济组成的要素之一,与国民经济各部门有着密切的联系,把社会生产、分配交换与消费各环节有机地联系起来。另一方面公路又是社会经济领域内重要的建筑产品,是国家基本建设产业的重要环节。同时,公路交通基础设施,其发展和完善还是保证社会经济活动得以正常运行和发展的前提条件,只有建设安全、高效、完备的公路运输体系和其它相关基础设施,才能把国民经济的各个发展基点联结成一个体系,进行人员交往、物质、信息交流,加快商品流通,从而促进经济发展。

随着现代交通工具的发展,交通拥挤加剧,这就促使人们去开辟一些效率更高的道路来解决交通的过饱和问题,高速公路就在此背景下应运而生了。然而,为了解决继续迅猛增长的交通需求,拥挤、事故与污染等问题,人们还寻求到了除修建更多的高速公路之外的一些其它解决方法,高速公路交通管理技术就是其中主要的一种。本章将对高速公路交通管理系统的产生、模式及国内外对交通管理技术的研究现状等问题做一个概略的介绍。

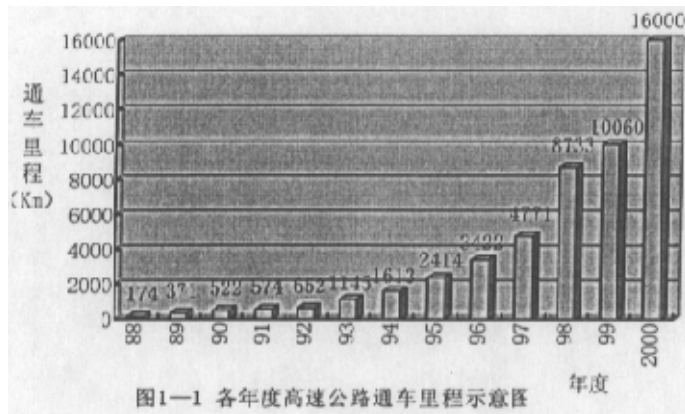
1.1 问题的提出

1.1.1 我国高速公路发展概况

改革开放以来,随着国民经济的持续、高速、健康的发展,全社会对运输的需求日益增加。而由于历史原因运输业已不能适应经济发展的要求,成了国民经济发展的“瓶颈”。特别是公路设施,暴露了多年积累下来的公路网技术等级低,路网密度低、里程少、发展不平衡等问题。加大公路基础设施建设力度,特别是加大高速公路、高等级公路的建设力度已成为各级交通部门的工作重点之一,并受到了全社会的普遍关注。

多年来经济建设的实践,为高速公路建设提供了技术、经验和人才等方面的准备。而交通部门采取的“统筹规划、条块分割、分层负责、联合建设”的管理体制又极大的提高了地方政府的积极性。从第一条成规模的

高速公路沈大高速公路的建成，截止到 2000 年底，我国已建成高速公路 16000 多 Km，而且仍以较快的速度递增（各年度高速公路通车里程如图 1—1 所示）^[1, 2]。高速公路的建成通车不仅大大提高了公路的运输能力和运输效率，而且有力的促进了各种运输方式的竞争，使诸种运输方式的服务水平普遍得到提高。既方便了乘客，又减低了运输成本。



1.1.2 高速公路运行中存在的问题及原因

伴随着我国高速公路建设取得的成就，高速公路沿线地区发展速度异常迅猛，交通需求大幅度增加，使高速公路运行过程中仍然存在交通拥挤、交通安全和对环境的污染等问题，且在交通高峰期的市区高速公路表现的尤为严重。

首先是交通拥挤问题。所谓交通拥挤，是指交通需求超过某道路的设计交通量时，超过部分的交通量滞留在道路上的交通现象。交通拥挤的具体定义各国尚无统一标准，日本道路公团对城市高速公路的交通拥挤定义为：在高速公路上以 40km/h 以下的速度行走或反复停车、起动的车列连续 1km 以上并持续 15min 以上时的状态为交通拥挤。美国芝加哥将交通拥挤定义为 30%或更大的 5min 车道占有率。拥挤交通流模型是交通拥挤现象的定量描述，美国运输部公路局的行车时间—流量关系曲线清楚地反映了拥挤交通流的特性，其曲线如图 1—2 所示：

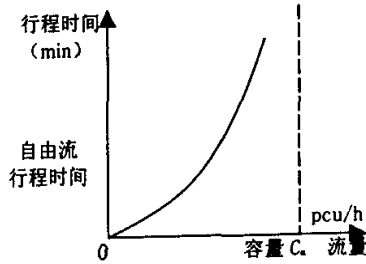


图 1—2 行车时间—流量关系图

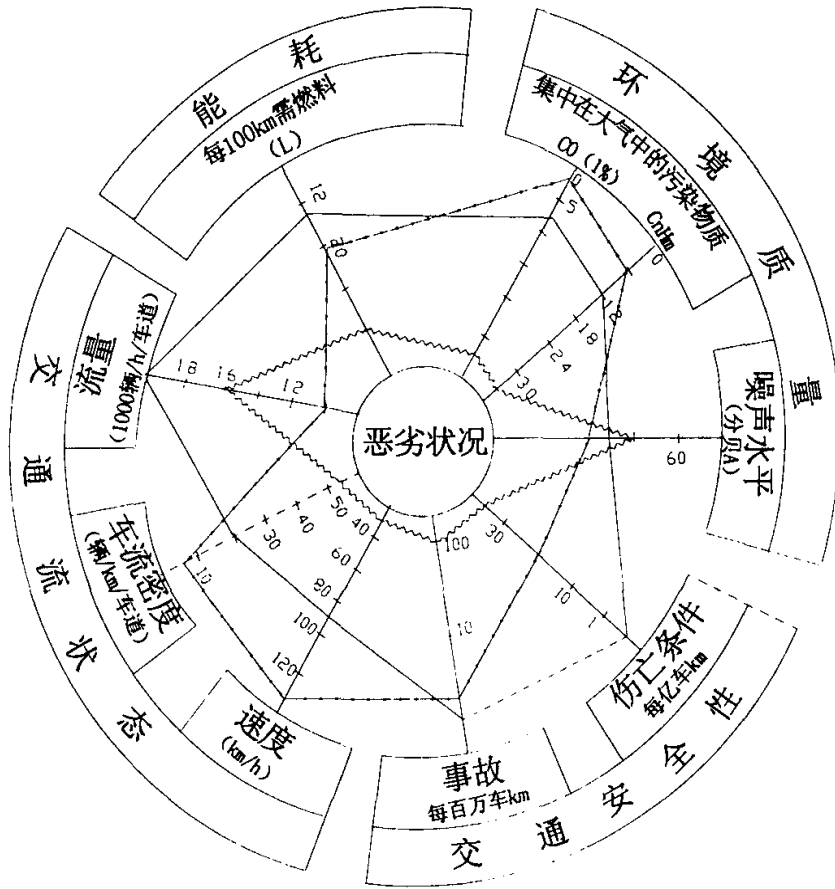
由图 1—2 可以看出，在拥挤交通流的情况下，交通需求增加一点，就会导致行程时间大幅度增加。因此，采用先进的交通管理系统即使提高 10%—20% 的通行能力，也可大大地缓解交通拥挤。

由于发生交通拥挤的时变规律特征不同，交通拥挤可分为常发性拥挤和偶发性拥挤。引起常发性拥挤的原因主要是道路交通需求超过了交通供给和道路或道路网的几何缺陷；引起偶发性交通拥挤的主要原因是交通随机事件、交通事故和不利的天气。

其次是交通安全问题。虽然高速公路被证明比一般公路和城市街道要安全得多，但驾驶员在高速公路上仍易发生事故或受其它事故的影响，并且大部分事故是特大交通事故（比如：连续交通流中多量汽车的追尾事故）。交通事故是产生交通拥挤的重要原因，反过来，交通拥挤现象的出现也将导致交通事故的增加。

第三是环境问题与能源问题。交通引起的环境问题主要由道路的几何设计和位置、汽车本身结构和设计以及汽车的运行状态所产生的。实践表明，汽车的运行状态不同，所造成的空气污染和噪声污染差别显著。同样，交通对能源的消耗也高度依赖公路运输系统的运行状态。

上述四个问题不是相互孤立的，而是相互影响、关联的。比如：交通拥挤要引起事故增加，从而影响交通安全；而交通安全措施不利出现交通事故又要是交通产生拥挤。四者之间的具体关系入图 1—2 所示，这种关联性使得系统的某一方面出现问题将导致各方面的连锁反应。



交通流状况： ~~~~~ 拥挤交通状况
—— 最优运行状况
- - - 稀疏交通状况

图 1—2 交通流状况与交通安全、环境质量、能耗之间的关系

1.1.3 问题解决的对策及方案

1.1.3.1 修建更多的高速公路，扩大供给。在不考虑资金约束的情况下，由于我国国土资源有限，人均耕地面积少，而且高速公路将对环境产生不利影响，所以高速公路的修建必须有一个上限，不能无限制的扩大供给。当然，我国目前高速公路供给明显不足，高速公路里程也远没达到国土资源承受不了的程度，修建高速公路仍是第一要务。

1.1.3.2 在总体的经济布局上发展以都市圈经济结构为基础的区域经济格局。这样就可以使地域间的运输需求与货运周转量相对较少，以积极的手段控制交通需求。

1.1.3.3 开发交通控制与管理技术，提高道路利用率。在我国，由于全面开展 ITS 研究的条件尚不成熟，所以应在统一的战略规划下分布实施、逐步到位，对高速公路交通控制与管理技术的研究开发就是基于这种考虑的近期措施，因此建立基于 ITS 技术的高速公路交通管理系统是合适的选择。

我国是一个发展中国家。一方面基础设施落后，这就使我国要加快基础设施建设，修建更多的高速公路。另一方面，我国人均耕地少，修建高速公路要占用大量的耕地，这就要求调控经济发展格局并研究高速公路交通管理技术的开发。本文就是从第三点入手对高速公路交通管理系统中的技术问题进行研究。

1.2 高速公路交通管理系统的定义及模式

1.2.1 高速公路交通管理系统的定义

1.2.1.1 国外学者的定义。美国 Mobility 2000 组织在其一报告中将交通管理系统定义为：“为了监视、控制和管理街道和公路交通而设计的一系列法规、人员、硬件和软件分量的组合。”这个定义是比较完整和准确的^[3]。这里所谓的“监视”，即交通监测，是一个信息采集、分析处理的过程，是进行有效的交通控制与管理的前提。而交通控制就是运用人工或电子技术，对动态交通进行准确的调度，使其安全通畅地运行。所谓交通管理就是按照交通法规，根据道路的交通情况，合理地引导、限制和组织交通流。

1.2.1.2 我国学者的定义。我国学者一般认为高速公路交通管理系统的定义为：高速公路交通管理系统（Freeway Traffic Management System）是按照交通法规，根据高速公路的交通情况，应用高科技手段实现交通工程现代管理，合理地引导、限制和优化组织交通流，为高速公路创造有序、迅速、安全舒适的行车环境。高速公路交通管理系统的目标是改善路网运行状况，提高道路的有效利用率和交通流量，缓解道路的交通拥挤程度、减少交通事故的发生以及因交通拥挤、事故等所造成的出行时间延长，降低油耗、减少废气排放、保护环境等。可以说，它是监控系统的进一步发展方向，在系统覆盖的广度和解决交通问题的深度及反应能力上，要优于单纯的交通监控系统。

1.2.1.3 高速公路交通管理系统与高速公路监控、通信、收费三大系统之间的关系。高速公路交通管理系统是在对监控、通信和部分收费系统功能及资源重新界定、整合的基础上，建立起来的功能更完善、解决问题的层次更深入、反应能力更强、具有 ITS 特征的现代化交通管理系统。它是高速公路交通管理与控制功能实现的发展方向。

1.2.2 高速公路交通管理系统的基本控制模式

1.2.2.1 入口匝道定时控制模式。分为单个入口的定时控制和多个入口的定时系统控制。这种控制模式是根据历史情况的调查掌握交通流的统计情况，把一天划分为若干时段。假定每个时段内，交通流状况近于不变，以此作为依据来确定每个时段内一组不变的入口调节率，使某项性能指标最优。显然，这种控制方式不能适应交通流的随机变化。但是，当交通流在一段时间内波动不大时，这种控制方式是十分有效的，而且定时调节很容易实现多个匝道协调控制。此外，这种控制运行安全可靠，使用设备少，是目前应用最广的匝道控制模式。

1.2.2.2 入口匝道实时控制模式。分为单个入口交通感应控制、间隙可接受汇流匝道控制和高速公路入口全局最优控制。实时交通控制是以实时检测到的交通数据为依据来确定匝道调节率，因而能适应交通流的随机变化。由于实时控制特别是高速公路入口全局最优控制信息的传输量和信息处理的计算量都很大，所以，实时控制模式对信息处理和信息传输设备有较高的要求。

1.2.2.2 主线实时控制模式。主线控制就是对高速公路主线的交通进行调节、诱导和警告。主线控制的基本目标是改善高速公路运行的安全和效率，缓解主线上的交通拥挤和交通瓶颈对交通的影响。这种控制对常发性和偶发性交通拥挤都是有效的。

此外，还有出口匝道控制和高速公路通道控制，由于很少采用，这里就不再介绍，本文主要研究入口匝道和主线的实时控制。

1.3 国内外研究现状及存在的主要问题

1.3.1 国内外研究现状

高速公路交通管理系统是在一般街道的交通管制系统基础上发展起来的，其前身为单纯的交通监控系统。美国的芝加哥、底特律、休斯敦、洛杉矶、纽约等一些城市的高速公路都设置了不同规模的监控系统，利用车辆检测器、遥测装置和电子计算机自动地控制了入口匝道的交通量和信息标志，从而大大改善了线路的运行状态。在欧洲，也有许多国家在高速公路上配置了功能比较完善的监控系统。意大利的那不勒斯收费公路上的TANA系统就是一个典型的例子。该系统在公路主干线上，入口匝道、出口匝道以及隧道入口处安装了环式检测器，并由三种气象检测器分别给出下雨和路面结冰的信号。全系统采用了三台计算机，双机备份，因此可以大大减少停机的时间。而日本高速公路交通管制系统的出发点是以正确把握交通状况为先决条件的，通过设置各种形式的车辆检测器测量通过车辆数目，并计算出速度、密度、占有率等交通参数，借助紧急电话、巡逻车、闭路电视等交通状况进行监视。将这些参数和状况，经人工或计算机处理并做出综合判断，选择最佳控制方案，通过道路信息板、无线电台广播等手段，对高速公路的交通情况进行调节和控制。

近年来，随着计算机技术、自动化控制技术和通信技术的发展，一些国家高速公路交通管理技术结构也在随之变化。多计算机功能分散的计算机网络处理方式代替原来由单一的计算机集中处理方式，从而使系统可靠性提高，程序编制简单，易于维护和功能扩展。在通信技术方面，由于光缆的问世，基于其损耗低、频带宽、无感应、高绝缘等特点，许多监控系统已用光缆取代传统的电话线、电缆等传送多媒体信号和数据、语音信

号。在优化模型和控制理论的应用上，由于计算机处理能力的增强，可以采用比原来更复杂的模型和算法，这也促进了优化控制模型和算法的研究。

我国高速公路交通管理系统刚刚起步，由于一开始受各方面因素的影响，许多人对其认识不尽相同。但随着高速公路的迅猛发展，以及车流量的不断增加，交通管理系统越来越显示其在交通控制与管理中不可取代的地位。目前，我国已建成一些高速公路交通管理系统，其中比较有代表性的有广佛高速公路监控系统、合宁高速公路（安徽段）交通管理系统、宁高高速公路交通管理系统，上海外环路交通监控系统的一期设计、宁沪高速公路交通管理系统等。其中广佛高速公路监控系统是我国第一条设施比较完备的监控系统，而合宁高速公路交通管理系统是我国第一套管理区间较长、功能比较齐全、设备配制比较完整的国产化的大型电子系统工程。宁沪高速公路交通管理系统则是具有智能交通系统（ATMS）某些基本功能的系统，它的实施标志着我国交通管理水平迈上了一个新台阶。该系统采用三级管理方式，设一个中心、五个分中心，各分中心下辖若干收费站和其它有关设施。其具有监控范围大、诱导信息量大、系统管理程度高等特点。宁沪高速公路交通管理系统的核心仍然是交通控制中心，即监控中心与分中心。宁沪高速公路管理系统分中心计算机能够从本区段的外场设备及有关系统获取数据及信息，并以图形显示。由软件形成的控制模型经操作员确认后下发到外场终端。操作员可在控制台操作监控系统，监控分中心将本区段的信息上传至监控中心并从监控中心接受指令。

1.3.2 存在的主要问题

我国在高速公路交通管理系统的建设上虽然取得了一些成绩，但也存在一些问题，主要有：

1.3.2.1 已建成的一些通信、监控、收费系统在功能上对高速公路的交通还构不成强有力的支持。因此，需要在此基础上建立更完善的高速公路交通管理系统。

1.3.2.2 理论与实践结合较差。也就是交通控制理论不能较好地应用于高速公路交通管理系统，是高速公路交通管理系统仅仅是一个信息系统，缺乏整体的调节、控制和决策支持能力。

1.3.2.3 对交通控制理论的研究还需要进一步深入。应把匝道控制、主线控制、收费控制等方法结合起来，并加强对交通流理论的研究。

1.3.2.4 对于计算机新技术的应用还不够。如多媒体技术，网络数据库技术，分布式操作系统技术、决策支持系统技术、专家系统技术和数据仓库技术等。

1.4 论文主要研究内容

1.4.1 系统目标定位及概念设计

本部分内容首先对系统的目标进行了界定，并阐述了界定系统目标的依据及实现目标的技术组合分类；然后对系统的功能需求进行了细致的划分，并简述了系统各功能的基本要求；最后，从系统集成的角度对系统的结构进行了设计，给出了各部分的基本组成和功能需求。

1.4.2 系统需求分析

本章依据前文的系统结构设计，按系统的信息流程分别对信息采集、信息传输、信息处理、信息提供四个子系统的信息、功能、建设需求进行了分析，并给出了基本实施方案。对子系统内部软、硬件组成、要求及接入方式等问题进行了详细的阐述。

1.4.3 系统数据管理及网络结构分析

本部分内容首先在描述、梳理系统数据流程的基础上，对系统的数据特征、系统数据组织关系、系统数据管理的目标及措施等与系统数据管理有关的理论与应用问题分别地进行了分析、阐述。然后，对整个系统的网络拓扑结构及设备需求，交通管理控制总中心、交通管理控制中心、交通管理控制分中心内部局域网的结构和需求分别进行了分析、设计。最后，对网络操作系统及网络设备的选用提出了建议。

1.4.4 交通控制与事件检测理论及应用

本章首先对高速公路交通模型的建模思想、建模方法及交通模型的分类型作了简要的介绍，并给出了动态交通模型的建模过程及模型的结构形式。接着对交通控制理论及其相关问题进行了详细的分析，包括：高速公路控制方法的说明、入口匝道控制的分类、主线控制的目的、模式及方法等，其中对入口匝道全局集中动态最优控制、分散控制两种控制理论、模

型、存在的问题及解决思路进行了详细的研究。然后，提出了基于预测的高速公路匝道控制理论，并对理论模式及相关的理论与应用问题进行了研究。最后，分析了高速公路事件检测系统，并采用面向对象的编程思想，以 Visual C++为编写工具，开发了高速公路事件检测系统分析软件。

第2章 系统目标定位与基本概念结构

高速公路交通管理系统的功能需求就是将计算机技术、图像图形处理技术、数据通信技术、传感器技术、信息技术、电子控制技术、自动控制技术、运筹学、人工智能等高新技术有效地综合运用于交通控制与管理,并使用检测器、计算机、通信网络等先进的仪器设备,充分发挥高速公路交通设施的机能,使车辆能够迅速、流畅、安全地运行,促进人、车辆、道路三者之间的和谐,提高系统的工作效率,并改善环境。可以说,它属于 ITS 技术中道路基础设施智能化的研究层面。

在拟定高速公路交通管理系统的基本概念结构之前,有必要先明确系统的目标、运营特征定位及基本功能。

2.1 系统目标及运营特征分析

2.1.1 系统目标分析

由于高速公路交通管理系统属于 ITS 技术中道路基础设施智能化的研究层面,所以其目标也是智能运输系统应实现目标的基本组成部分,概括起来有下面几点:

1. 根据高速公路的实时交通流信息,对交通流进行实时疏导、控制,减少交通拥挤。
 2. 自动检测高速公路上的偶发性异常事件(交通事故、故障停车等),获得最大的运行安全,利用事件处理 DSS 对突发事件及时反应并提供必要的援助。
 3. 以多种方式为用户提供必要的信息,帮助他们有效地利用高速公路的各种设施,为出行提供便利。
 4. 改善交通对环境的影响,节约能源。
 5. 合适地保存重要的交通信息,为交通理论研究和以后交通规划提供数据。
-

2.1.2 高速公路交通管理系统的运营特征分析

实现上述高速公路交通管理系统目标可用不同的方法，且技术组合要素也是不同的，下面三个问题有助于反映高速公路交通管理系统的运营特征。

首先是信息的形式，即所提供的信息是描述性的、预测性的、还是建议性的。所谓描述性的信息就是对现有交通结构的实时反映；而预测性的信息是对未来一段时间内交通结构的反映；建议性的信息则是为使用者提供线路引导。高速公路交通管理系统能提供这三种信息应该是一个相互协调有机体，并达到描述性信息精确，预测性信息准确、建议性信息合理。

其次是信息提供的范围，需要考虑的问题包括信息翻新的时间频率、空间密度与信息覆盖范围。对于描述性信息，因为其具有实时性和空间差异性等特点，所以要求信息翻新快、空间密度大。而对于预测性和建议性信息，则要求覆盖的空间范围更广泛。

最后是怎样使用这些信息，有三个控制层供高速公路交通管理系统用来改善交通状况，它们分别是总控制、部分控制和最小控制。总控制强制驾驶员必须遵守，不管驾驶员是否喜欢，必须执行。如高速公路入口的匝道交通调节；部分控制试图积极地影响交通结构，并不强制遵守，如线路引导，通过给驾驶员提供最佳线路信息，从而改变交通结构，引导车辆至不拥挤的路线上，当然，全由驾驶员决定是否按照引导行事；最小控制是给车辆提供适时信息，而不给驾驶员规定具体的线路，全靠驾驶员自己决定怎样使用所给信息，如全面、多种类的交通信息广播。应该指出，三种控制并非相互排斥、而是可以在不同水平上进行匹配形成的全面策略。

2.2 系统功能分析

在划分高速公路交通管理系统的基本结构之前，有必要界定其功能。整个系统的基本功能应为：

1. 信息提供。系统通过各种信息提供设备向出行者提供信息服务，帮助出行者计划行程并选择合理的行驶速度，减少延误。

2. 交通控制。对高速公路进行综合的控制，根据实时交通运输信息，确定车辆在路网上的最佳分配，如在污染严重或交通高峰期，可采取提高

通行费等抑制出行的措施，并利用可变信息信号标志，对车辆进行诱导实现对交通流的动态分配。

3. 交通事故管理。该服务可帮助运输部门和管理人员预测交通或道路状况，从而采取相应的预防措施，避免潜在隐患的发生或使其影响降低至最小。系统还可迅速检测事故的发生并立即提出相应的交通控制措施，通过车载设备、可变情报板或路侧广播提供管理信息。

4. 交通环境污染防治。采用先进的汽车排放测试系统和噪声测试系统确定有关的环保“热点”，在空气质量敏感地区对进入该地区的公路入口加以控制，并将环境质量信息提供给运输规划和营运部门，便于实施和评价各种污染处理方案。

5. 应急管理。应急管理可以提高对交通突发事件（事故或灾害）的报告和响应能力，改善应急响应资源配置，它包括紧急通告与应急车辆管理。紧急通告可为管理人员提供突发事件的初步信息，如汽车机械故障，道路、边坡塌方等，是管理人员迅速确认定位事故或灾害。应急管理为警察、消防和医疗救护等应急部门服务，帮助救援人员以最快的速度到达事故现场。

6. 电子收费。电子收费是为了提高收费站的通行能力，使驾驶人员不用现金进行自动付帐，同时，通过收费站可以收集大量交通数据并提供给交通控制中心。

7. 提高养护操作效率。为保持安全、通畅、舒适的道路行车环境，提高服务水平，系统可对路面状况作出正确判断并对相应的养护作业提供工作计划和实施方案。在发生灾害时系统收集相关信息并指导相应的恢复工作。

8. 特种车辆通行管理服务。特种车辆的管理用来保障路面结构正常使用，避免事故发生。系统通过特种车辆通行许可的申请服务；可通行路段及路径的提供服务；特种车辆的自动称重服务，加快通行许可的确认过程。

2.3 系统基本概念结构

将高速公路交通管理系统按信息流程划分，其可分为信息采集系统、信息传输系统、信息处理系统、信息提供系统四个子系统，各子系统间的相互关系及其主要组成部分如图 2—1 所示：

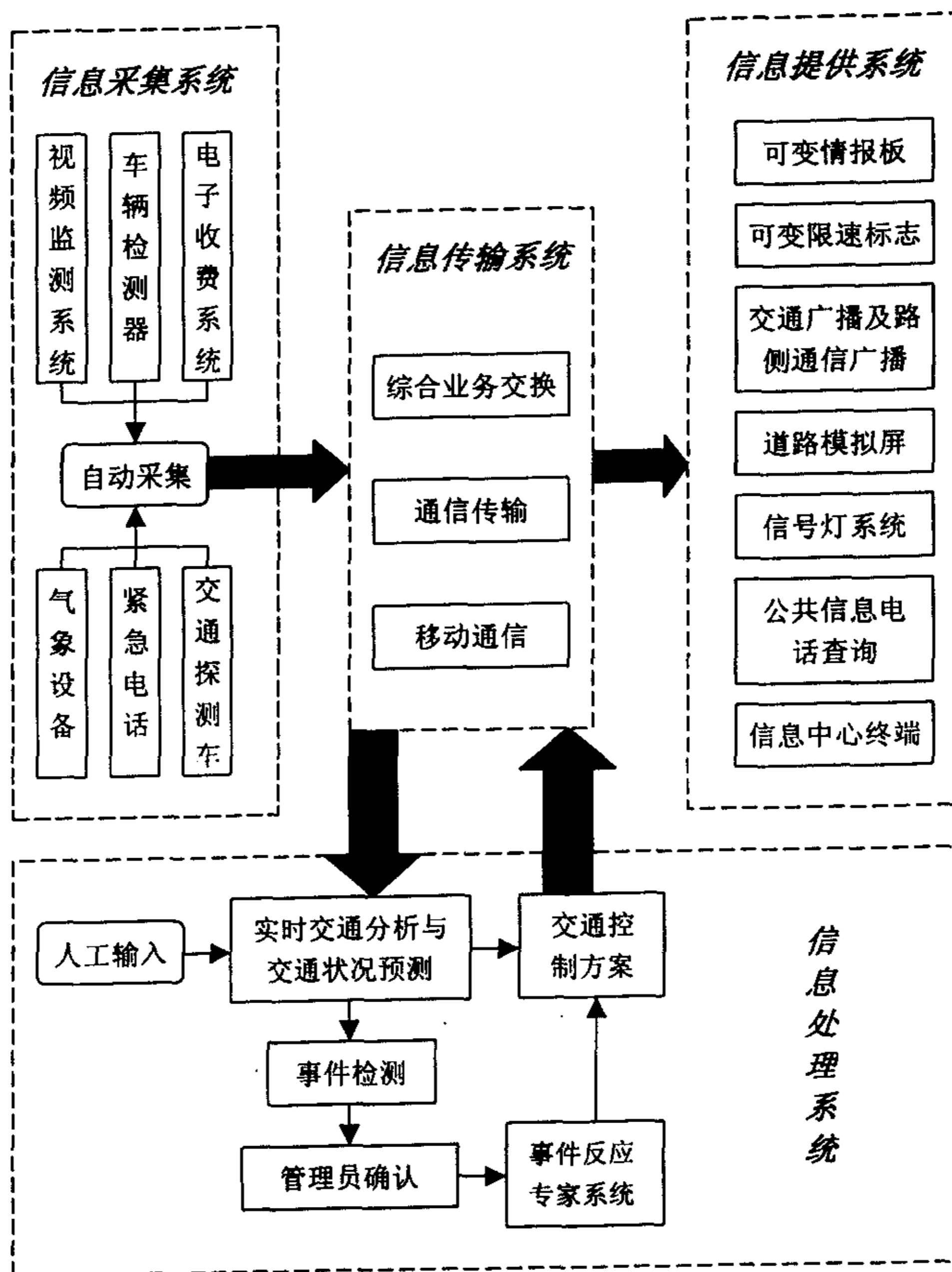


图 2-1 高速公路交通管理系统结构

若将高速公路交通管理系统按管理层次进行划分可将其分为中央管理控制室和系统外场设施两部分，中央管理控制室按等级又可分为交通管理控制总中心、交通管理控制中心和交通管理控制分中心（如图 2-2）所示。

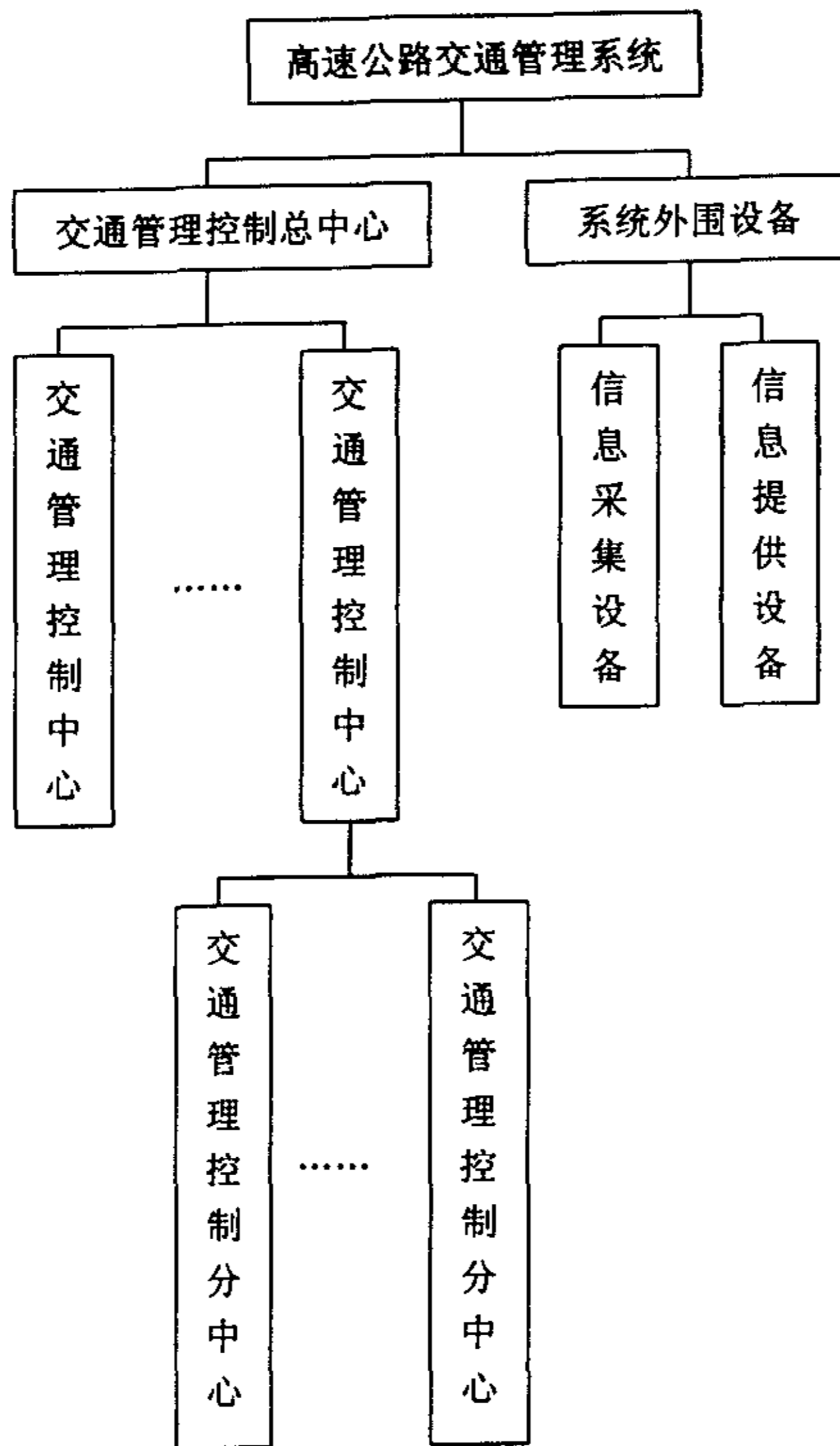


图 2—2 高速公路交通管理系统层次结构

交通管理控制分中心、中心、总中心主要业务如下：

1. 交通管理控制分中心

(1)通过信息传输系统汇集、显示各种外场设施传送来的各种（交通量、气象、事故及控制等）数据。

(2)监视高速公路的视频监视图像。

- (3)接听紧急电话。
- (4)将上述数据、图像等信息上传交通管理控制中心。
- (5)根据各类信息判断交通现况, 预测发展趋势, 制定实时控制方案。
- (6)对各外场设施进行控制。
- (7)数据统计、查询、存储、备份, 图像存储, 制作、打印各类报表。
- (8)对控制方案做出可信服的评价, 提供方案改进的依据。
- (9)执行交通管理控制中心下达的指令。

2. 交通管理控制中心

- (1)执行交通管理控制总中心下达的指令。
- (2)通过信息传输系统汇集并显示各交通管理控制分中心传送来的各种数据并上传交通管理控制总中心。
- (3)切换监视管辖路段的视频监视图像。
- (4)根据各交通管理控制分中心提供的各类信息制定控制方案。
- (5)对各交通管理控制分中心进行协调控制。
- (6)收回或返还交通管理控制分中心对外场设备的控制权。
- (7)完成工作数据的备份、统计, 制作、打印各类报表。
- (8)定期对控制方案做评价, 提出改进意见。

3. 交通管理控制总中心

- (1)通过信息传输系统汇集并显示各交通管理控制中心传送来的各种数据。
 - (2)切换监视高速公路的视频监视图像。
 - (3)根据各交通管理控制中心提供的各类信息制定控制方案。
 - (4)对各交通管理控制中心进行协调控制。
 - (5)下达调度指挥命令。
 - (6)发布信息。
 - (7)完成工作数据的备份、统计, 制作、打印各类报表。
 - (8)定期对控制方案做评价, 提出改进方案。
-

就具体的高速公路交通管理系统而言，视系统的大小可采用两级、三级或四级管理层次。一般来说，里程短、收费站数量少的高速公路采用外场设施（包括收费站、通信站）和交通管理控制中心两级管理；里程较长、收费站数量多的高速公路采用外场设施、交通管理控制分中心和交通管理控制中心三级管理；而涉及两条及两条以上高速公路网则用外场设施、交通管理控制分中心、交通管理控制中心和交通管理控制总中心四级管理。

第3章 系统需求分析

3.1 信息采集系统的需求分析

在高速公路交通管理系统中用来获取信息的一切手段和设备都属于信息采集子系统的范畴。需采集的信息可分为交通信息、气象信息、道路环境信息和异常事件信息，其中包括数据信息、语音信息和图像信息等不同的形式。

3.1.1 信息采集系统的信息需求。

1. 交通信息。 主要包括：

- (1)交通量
- (2)车辆速度
- (3)交通密度
- (4)车辆占有率
- (5)车头时距
- (6)匝道排队长度
- (7)车型判别
- (8)车重

2. 气象信息。 主要包括：

- (1)能见度
- (2)冰冻状况
- (3)风力
- (4)风向
- (5)雨量
- (6)路面积雪

3. 道路环境信息。 主要包括：

- (1)路面状况
- (2)噪声
- (3)隧道内外亮度
- (4)空气质量

4. 异常事件信息。 主要包括：

- (1)交通事故
- (2)车辆抛锚
- (3)物品散落
- (4)道路施工现场

3.1.2 信息采集系统的建设需求

为了完成信息采集的功能,信息采集子系统需要以下设备支撑:

1. 车辆检测器。 车辆检测器主要由于测定交通量、车道占有率、车速等交通参数,为信息处理、交通控制与管理提供依据,其主要设置在高速公路的主线出入口、匝道出入口和主线及匝道上,间隔根据道路的重要程度及交通量来选择,一般为500~2000米左右。常用的车辆检测器有环形线圈检测器、磁性检测器、微波检测器、超声波检测器、雷达检测器等,其组成及工作原理可参见有关参考书,这里就不在赘述。

2. 气象检测器。 气象检测器主要用来观测雾和冰冻,也用来测量路表温度、风力、风向、雨量、路面积雪情况等。其中用来测量温度、风速、风力、降雨量等参数的检测器与常规气象站所用的设备相同,而为了测量雾和冰冻,还需增加能见度检测器和路面冰冻检测器^[4]。

3. 环境检测器。 环境检测器主要有噪声检测器、隧道光亮度检测器、一氧化碳检测器。噪声检测器主要设置在市区内对噪声敏感地区的噪声进行监控。隧道光亮度检测器一般成对地设置在隧道口内外,洞外的一台测量隧道入口处的亮度,另一台测量隧道内引入段的亮度。其亮度检测值均送入控制器,转化为数字信号上传监控管理中心。中心计算机据此参数调节隧道内照明灯具,使其亮度合适,既节省能源,又使驾驶员的眼睛适应亮度的变化,以免因此引发交通事故。一氧化碳检测器可快速、准确、连续地自动测定给定的一氧化碳浓度,同时将检测结果以数字形式显示出来,量程一般取0~300ppm。目前使用的一氧化碳检测器主要有电化学检测和红外线检测两种类型。

4. 视频监测系统。 视频监测系统由摄像机、监视器、视频切换器、图像处理设备等部分组成,并用网络连接起来,交通管理控制中心可对监视画面任意切换。视频监测系统的摄像机通常安装在高速公路的一些关键

路段和事故易发地段，用来监视这些区段的交通状况。根据经验，高速公路上立交区段、大桥、长大隧道都是比较关键的地区。

图像处理系统通过密集安装电子摄像机采集视频图像来获取交通参数，其具有一次可检测多个交通参数、检测范围较大、拆装使用灵活等优点，但也存在检测精度受天气、检测区域周围亮度影响等缺点。

5. 紧急电话。紧急电话主要用于交通事故或车辆故障时，司乘人员可利用紧急电话迅速与交通管理控制中心取得联系，请求指示或求援。

紧急电话系统由紧急电话主机、传输线路和路侧紧急电话组成。紧急电话主机设在分中心，能及时显示路侧紧急电话的呼叫信息，排队呼叫时按先到先处理原则进行，也可以将其中任意两个呼叫同时处理，可录音，可与公用业务电话网相连。使用者按下路侧紧急电话上的按钮后能自动向交通管理中心发出呼叫，并传送呼叫分机信息，与紧急电话控制台建立双工通话并能接受主机发出的各种呼叫和检测指令。路侧紧急电话主副机一般采用太阳能供电，应具有良好的雷电防护性能和环境适应性能。

6. 电子收费系统。电子收费系统可以看作高速公路交通管理系统的特殊形式，它不但能完成收费功能，还为管理系统提供汽车类型、时间以及收费点处汽车位置等数据。

由于收费站之间的位置与里程是已知的，站间车辆的正常通行时间可立即计算出来，这些数据可以用于监视公路上的交通流和帮助事故的探测，所以带电子标签的汽车可以用作该公路的交通探测器，同时，还可调整运价，关闭收费入口等措施影响人们对出行时间、路线及方式的选择。

3.2 信息传输系统的需求分析

在各中央管理控制室（交通管理控制总中心、交通管理控制中心、交通管理控制分中心）之间和各中央控制室与系统外场设施（信息采集、信息提供系统）之间，需要借助信息传输系统进行联系。为了确保系统内部数据、语音、图像信息准确、及时、不间断地传输，以满足运营管理的需求，通常需要建立高速公路内部信息传输专用网。

3.2.1 信息传输系统的功能需求

信息传输系统的功能需求主要包括综合业务交换、通信传输、移动通信三个组成部分。

1. 综合业务交换。综合业务交换主要支持紧急电话、调度电话、业务电话和其它非话业务的信息交换。其核心设备是专用程控用户交换机及外围设备，其中心任务是对网内用户开放数据、图像、传真、文本等非语音交换业务及话务交换；允许网内用户访问公用数据网；网内有线用户与本系统无线网的双向自动接续。

2. 通信传输。通信传输的基本任务就是保证“信息流”在特定的传媒中畅通，做到快速、及时、准确。高速公路交通管理系统通信传输中，通常混合使用电缆、数字光纤、数字微波三种手段。

3. 移动通信。移动通信覆盖的范围包括无线通信系统、无线寻呼系统、无绳电话系统等非常广泛集群无线系统。移动通信特别适宜于路政管理、交通安全管理、道路养护、收费稽查、紧急救援等场合。

3.2.2 信息传输系统的传输信息需求

3.2.2.1 数据传输需求

1. 按数据发送和接收者的管理层次，可将需信息传输系统传输的数据分为以下几类：

(1)收费站（高速公路进、出口）——交通管理控制分中心、交通管理控制总中心

(2)信息采集外场设施——交通管理控制分中心

(3)交通管理控制分中心——信息提供设备

(4)交通管理控制分中心——交通管理控制中心

(5)交通管理控制中心——交通管理控制总中心

2. 按数据传输的频率，可将需信息传输系统传输的数据分为经常性和非经常性传输数据。

经常性传输数据分为以下三类：

(1)收费站向交通管理控制总中心传输的出入口收费车道搜集的每辆车的收费信息及其车型、时间以及收费点处汽车位置等数据；

(2)信息采集系统外场设备向交通管理控制分中心传输的交通、气候及设备状况等信息,交通管理控制分中心给信息提供系统发出的指令和控制信息;

(3)交通管理控制分中心、交通管理控制中心与交通管理控制总中心之间为保证数据完整性和实现其它功能而相互传输的大批量数据;

非经常性传输的数据分为二部分:

(1)收费系统从总中心、中心、分中心、收费站逐级下传的系统运行参数,如时钟、费率表、人员名单、黑名单等;

(2)通信系统内部需传输的系统参数,包括时间同步信息等。

3.2.2.2 语音传输需求。高速公路交通管理系统的话音传输主要有两个部分:

1.高速公路各管理机构,从交通管理控制总中心、中心、分中心到收费站的业务电话通信需求。业务电话的使用方式应同普通电话相同或类似,话音清晰可辨,没有明显延迟。

2.高速公路沿线紧急电话通信需求。

3.2.2.3 视频图像传输需求。经信息传输系统传输的图像应清晰、平滑,不能存在明显的延迟、拖动和抖动。多个终端点看同一路监控图像时,不会相互干扰。需信息传输系统提供视频图像传输通路的主要有以下几部分:

1.交通管理控制分中心切换监视所辖收费站的广场、车道、收费亭和收费站的视频监视图像及切换监视在道路沿线布设的视频监测系统摄像机的图像。

2.交通管理控制中心切换监视所辖交通管理控制分中心的视频监视图像及收费站的广场、车道、收费亭、收费站的视频监视图像和道路交通视频监测系统摄像机图像。

3.交通管理控制总中心切换监视交通管理控制分中心、中心的视频监视图像及收费站的广场、车道、收费亭、收费站的视频监视图像和道路交通视频监测系统摄像机图像。

3.2.2.4 多媒体业务传输需求。信息传输系统要考虑为各种网络服务（会议电视、电子邮件、WWW等）提供传输通道。

3.2.2.5 管理需求。网络管理应包括以下内容：

1. 全网的网络配置管理。
2. 故障监控管理和处理。
3. 网络性能监控。
4. 计费管理和安全管理。
5. 实时显示全网拓扑结构、电路的连接情况及网络的运行情况。

3.2.3 信息传输系统的建设需求

为了实时地完成信息传输任务，信息传输系统一般应需要以下系统设备为依托。

1. 光纤传输系统。光纤传输系统为高速公路沿线设施（如程控交换机、业务电话之间的话务通信，以及交通管理系统的数据、图像等非话业务）提供传输通道。针对高速公路的实际情况，一般采用具有较高的性能价格比环形保护方式，以提高整个骨干网络的可靠性。由于SDH（同步数字序列）能自由选择路由，有统一的网络接口，可兼容PDH等现存的数字体系，高速公路一般采用SDH传输方式。在信息传输总中心、中心、分中心一般应配置SDH分插复用器ADM（如：STM-16，STM-4，STM-1），通过该ADM与骨干光纤传输系统连接。通信总中心ADM下联几个光纤接口（622Mbps或155Mbps），连接ATM交换机等，同时下联多个用于连接程控交换机等设备的接口（2Mbps）。光纤传输系统的光收发器模块、Ethernet网络模块、数据接口模块、音频接口模块等设备可采用市场现有产品。

2. 程控数字交换系统。每个信息传输总中心、信息传输中心都应配置一台程控数字交换机，信息传输分中心应配置远端交换模块(RSM)，通信站可不配置程控交换设备，而是通过通信站中的光纤接入设备ONU（光网络单元）提供的语音端口直接连接电话，ONU语音端口的数量根据通信站的规模和实际需要来选择。通信站的电话通过信息传输分中心的接入设备和远端交换模块RSM实现与其它通信站、信息传输分中心、中心以及总

中心的业务电话连接。信息传输总中心、信息传输中心的程控数字交换机可采用中继方式接入电信公用电话交换网，市话公网的连接根据电信部门的所能提供的方式，可以采用数字中继的方式，也可以采用模拟环路中继方式，提供市话、长话和国际长话业务。信息传输总中心应设置一套计费系统，通过计费软件来实现信息传输总中心与公网、总中心到各个中心、分中心所在地的公网电话计费。专网内部用户之间呼叫一律不计费，出局呼叫进入市话网则按当地电信部门规定方式进行收费。

3. 紧急电话传输系统。紧急电话传输可分为有线传输和无线传输，有线传输有三种方式，即通过公共电话网进行连接，通过电缆以总线方式连接和通过光缆连接。目前高速公路常用通过电缆和光缆连接的方式。

4. 指令电话系统。总中心、中心设置指令电话控制台，采用数字方式连接到程控数字交换机上，通过热线电话或会议电话的功能来实现指令电话的功能。总中心指令电话可以对中心指令电话，中心的指令电话可以对分中心的指令电话，分中心指令电话可对各收费站指令电话进行单呼、组呼、全呼。各同级分机可直接呼叫控制台，分机之间不允许呼叫。

指令电话可不另外采用专门设备，而是利用现有数字程控交换机的热线电话和会议电话等功能来实现，需要在总中心、中心和分中心配备多功能数字话机作为指令电话控制台，收费站也设指令电话分机，构成指令电话系统。

5. ATM 传输系统。ATM（异步传输模式）是一种将时分交换与统计复用融为一体的新的信息转移方式，它十分适合第三代 LAN（局域网）的典型需求。ATM 传输系统按信息传输系统的管理体制设计，一级网络为信息传输总中心到信息传输中心，二级网络为信息传输中心到信息传输分中心，三级网络为信息传输分中心到各通信站，属于接入部分。各级网络带宽可采用以下推荐值：

- 一级网络： 622Mbps ATM；
 - 二级网络： 155Mbps ATM；
 - 三级网络： 2Mbps 广域网；
-

6. 图像传输系统。由于带宽限制，图像信号不能利用广域网接入设备通过传送数据的广域网线路传输，而应通过编码解码器连接到 SDH（同步数字序列）设备上，通过 SDH 传输到交通管理控制分中心。

7. 信息传输电源系统。为了保证信息传输系统不间断的信息畅通，要求信息传输设备处于连续运行状态，信息传输系统供电应不间断供电。在市电供电时，由采用蓄电池与整流器并联浮充对信息传输设备供电；在市电停电时，由蓄电池组放电供电；蓄电池放电供电或自放电引起的容量损失，在浮充时全部补充。

在信息传输总中心、中心、分中心配置高频开关模块电源设备，向光传输设备、程控交换设备和交换机设备供电，同时配置蓄电池组，保证断电后维持 4 个小时的供电要求。

8. 网络管理系统。信息传输总中心是高速公路信息传输系统的管理中心，担负着整个信息传输系统的网络管理功能。在信息传输总中心设置一个网管中心，对 SDH 传输系统、ATM 数据传输系统、程控交换系统进行全面集中的管理和系统维护。

网络管理主要包括以下内容：

(1)配置管理。网络资源配置：对初始安装的支持，主要包括软件、硬件资源工作参数的设定和校核等；网络节点部件配置；网络接入速率以及中继线带宽的配置（增、减和变动）；网络节点访问口令的设置和更改等。网络业务配置：网管中心或终端可以通过人/机接口，根据不同业务特性要求，配置通路，建立点到点的永久虚电路（PVC），可配置和修改要求业务的级别、峰值信元速率、信元传送时延、信元时延变化容限等参数；对必要的故障，拥塞监测门限进行设置和改变；可为用户配置虚拟专用网（VPN）。

(2)数据搜集、存储和统计。记录网络用户信息和网络资源信息，实时连续地收集、存储网络运行的相关的性能数据，并同时作阶段性的统计工作。定期形成报告，同时进行网络分析，为网络规划提供依据。

(3)网络性能管理。运行状况显示：用图形显示网络拓扑结构并监视全网的拓扑信息，同时应能显示网路节点，中继线配置和利用情况。监视网络拥塞、设备失效的情况，用图形方式显示网络情况发生的级别，指标劣

化到一定程度时发出告警，并在需要时发出命令到各节点，进行网络控制。故障管理：故障管理包括激活检测、故障定位、告警监视和校正非正常操作的功能。对网络节点、中继线的异常情况进行告警，同时显示并记录告警内容；故障排除后，提示告警清除并形成统计报告。保存一定阶段的告警报告即告警历史记录，以便对告警报告进行检索并做详细分析；同时可人为删除告警报告。网络维护测试：包括环回、诊断、分析等，提供故障通知、故障定位、专家诊断等功能。安全管理：安全管理包括用户认证，多级别的访问权限控制，防止绕过鉴权，记录所有的登录，网络配置、运行、故障、计费、访问等数据信息的保护和备份。

(4)网络费用管理。生成使用率的记帐报表，生成详细的逐个呼叫输出（包括服务质量参数）统计报表。

3.3 信息处理系统需求分析

信息处理系统是高速公路交通管理系统的核心部分，其对收集来的信息进行加工、分析、处理，并存入数据库，供事件检测、拟定交通控制方案使用。信息处理系统不仅要完成信息分析、处理等基本信息服务，而且还要能够提供某些决策支持等信息增值服务。

3.3.1 信息处理系统的功能需求

如前所述，信息处理系统一般由交通管理控制总中心、交通管理控制中心、交通管理控制分中心三级管理层面组成，各级交通管理控制中心构成了高速公路交通管理系统的神经中枢，指挥着其管辖范围内的所有控制设备的运转，其应具备如下功能。

3.3.1.1 实时交通分析。实时交通分析就是要求在相当短的时间内，对当前及未来的交通状况有个全面的了解。具体地说，就是利用实时交通分析模型对实时交通信息进行处理并计算交通参数，以便拟定合理的交通控制方案并检测交通事件。

3.3.1.2 实时交通控制。在对高速公路的交通流现状进行检测、分析及对未来交通流状况进行预测的基础上，利用交通控制模型对交通流进行合理的诱导、控制，提高高速公路的利用率、抑制住交通拥挤的进一步发展、减少交通事故及交通事件对交通的影响。

3.3.1.3 事件检测与反应。事件检测即自动检测高速公路上的偶发异常事件,如交通事故、故障停车等。其主要功能是根据采集的原始数据,利用事件检测算法检测是否有事件发生,以及事件的发生路段,自动提醒交通管理者可能发生的事件,交通管理者利用视频监视系统或巡逻车对这种警告进行确认。事件反应功能则以事件处理专家系统为依托,对已被确认的事件迅速提出一整套处理方案供交通管理部门参考,为领导决策提供依据。

3.3.1.4 交通信息内容的拟定。为了满足旅行者不同的需求,信息处理系统还要拟定各种交通信息,并通过可变情报板、可变图形显示、路侧广播、车辆终端、个人计算机等多媒体介质将交通信息提供给旅行者。通过提供的信息,旅行者了解到道路上的交通状况,适时地做出改变车速、绕道或停车等反应。

3.3.1.5 各种交通管理。系统应具备各种管理功能,交通管理控制中心的操作者能对道路维修、特殊的社会政治事件、发生危险等情况作出迅速反应,通知有关部门介入,并提醒道路上的旅行者注意特殊的交通状况。

3.3.1.6 构建交通信息数据库。通过收集处理来自各种交通检测器的数据,并将有关交通阻塞信息、旅行时间及控制效果等情况存贮在交通信息数据库中。这样交通操作者能及时调用历史数据以及方便地与邻近地区和高速公路管理信息系统中的共用信息平台进行交通信息交换。

3.3.2 信息处理系统的建设需求

3.3.2.1 计算机系统。在交通管理控制总中心、中心、分中心应分别设置信息处理服务器、备份服务器(含磁带库)、交通分析控制计算机、事件检测反应计算机、多媒体计算机、闭路电视控制计算机、信息传输计算机、紧急电话控制计算机等设备。其结构如图3—1所示。

1. 信息处理服务器。信息处理服务器负责对高速公路信息采集系统采集的历史数据和实时数据进行存储,对于重要的数据用磁带机备份,同时该计算机上还安装有通信软件,负责接收从下一级交通管理控制中心上传的数据信息,并存储相关的交通信息、故障记录、人工干预控制方案和交通事件等信息,其上有地理信息数据库,运行地理信息服务软件。服务

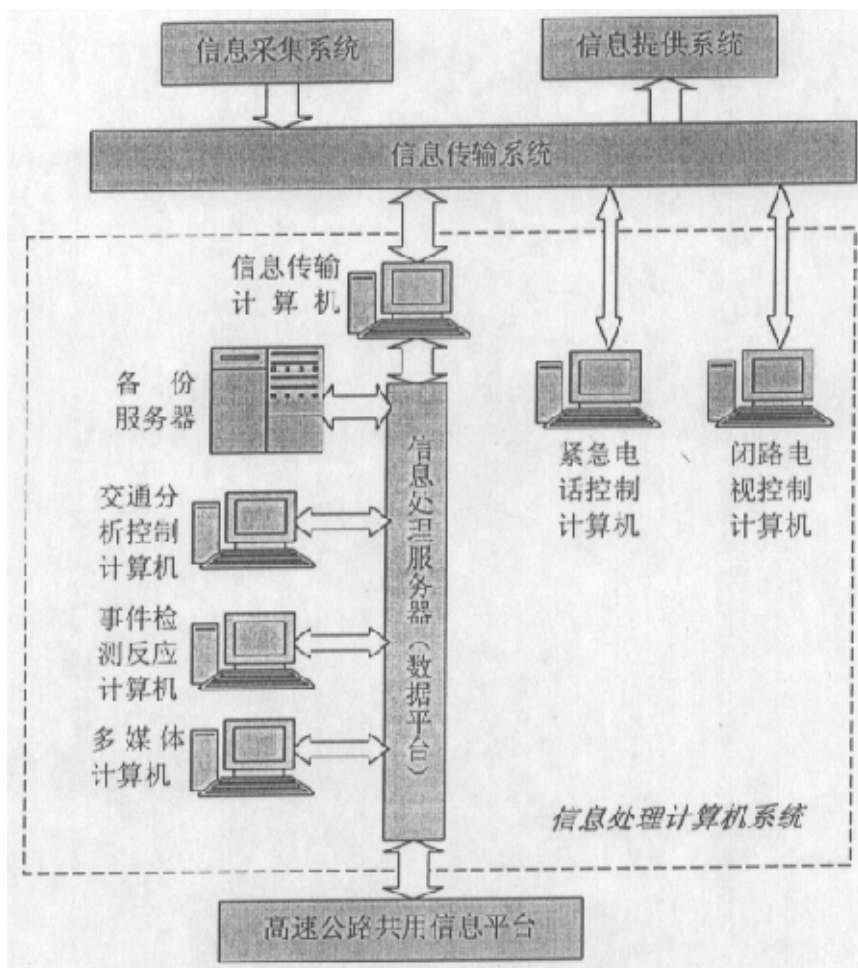


图 3—1 信息处理计算机系统结构图

器可采用 IBM NetFinity 系列 PC 服务器或 IBM AS/400 或 IBM RS/6000 系列小型机。

2. 交通分析控制计算机。其根据信息处理服务器上数据信息利用交通分析、控制软件对高速公路上的交通状况进行分析,提出合理的交通控制方案。并将交通分析预测结果及控制方案传回信息处理服务器备份。

3. 事件检测反应计算机。事件检测反应计算机则根据事件检测软件检测是否有事件发生,以及事件的发生路段,自动提醒交通管理者可能发生的事件,交通管理者利用视频监视系统或巡逻车对这种警告进行确认。事件反应系统应该是一个专家系统,它可以根据一定的规则处理现有交通情报。这些规则就是把各有关单位交通专家的经验和对事件的处理办法汇集起来,经过处理后输送到计算机中形成知识库,试图达到在同样公路交通环境下交通管理专业人员亲自处理事故的效果。如事件检测系统检测到事件发生,并通过交通管理者确认,事件反应系统将会迅速提出一套处理方案供交通管理人员参考,为领导决策提供依据。

4. 多媒体计算机。多媒体通过地理服务软件调用数据库的信息,生成图形地理数据,并在多媒体计算机上显示,多媒体计算机安装有监控管理软件,通过该软件可以控制管理所辖范围的道路交通状况,外场监控设备进行工作状态监视和控制,同时该计算机还用于查询、统计、打印所辖各分中心的交通数据的功能。

5. 闭路电视控制计算机。闭路电视控制计算机与视频矩阵控制器连接,对外场摄像机进行控制,还可以根据需要可将监视图像调到计算机内,实现对交通图像的重点监视、处理和存储的功能。

6. 信息传输计算机。信息传输计算机装有信息传输软件,接收各种外场设备上传的数据,并将多媒体计算机传送的控制指令向发送给外场设备。

7. 紧急电话控制计算机。紧急电话控制计算机对控制紧急电话柱、处理话务并录音等。同时还能够生成报警电话的统计报表。

交通分析控制计算机、事件检测反应计算机、多媒体计算机、闭路电视控制计算机、信息传输计算机、紧急电话控制计算机均可采用目前市场上高配置 IBM 的 PC 机,若有需要可采用双工系统或双 CPU 配置。

3.3.2.2 闭路电视系统。 交通管理控制总中心、中心、分中心的闭路电视系统由视频矩阵控制器、视频监视器、监视器台架和 CCTV 控制工作站组成。视频矩阵控制器、视频监视器通过综合通信网的光传输线路,获取外场闭路电视摄像机摄取得图像信息并显示在彩色显示器上。交通管理分中心一般每台监视器就对应显示一台摄像机的图像,交通管理控制中心和总中心对摄像机的图像进行切换显示。

3.4 信息提供系统需求分析

信息传输系统主要是向出行人员提供交通运输信息(如交通、气象、事故和道路情报),发布命令或建议(如限速、关闭匝道),向交通拥挤地段的驾驶员提供建议路径等,以促使出行人员选择合理的出行方式及路线,使道路交通流量分布均匀,以提高道路利用率,达到交通控制与管理的目的。

信息提供系统的一般应包括以下设备需求:

1. 可变情报板系统。 可变道路情报板是公路上专供控制中心为出行者提供交通示警,实行交通管制等实时情报,动态显示交通信息。可变情报板系统特别使用于以下几种情况:

- (1) 周期性问题。 尤其是峰值拥挤交通流,其特点是时间较短;
- (2) 非周期性问题。 由不可预料的事件或随机事件引起的交通流中断,如事故或道路维修保养活动;
- (3) 环境问题。 由诸如雨、雾、冰、雪等自然条件所产生的交通问题;
- (4) 特殊事件引起的交通问题。 如游行示威活动、特别车队通行等;
- (5) 特殊运行问题。 公路设施引起的特殊交通流,如大车位汽车专用道、可逆车道、逆流车道、隧道、收费站、开合桥。

在高速公路的主线的重要路段、互通立交出入口、隧道口、收费处及两立交的中间位置通常设置可变情报板。通常将所辖的路段或立交名、常用的交通情况及指令等内容编成一些短语,由几个短语组成一条文字情报检索。而图形情报简单、直观,可在预先画好的线路上表示交通堵塞情况,并用文字辅助说明。可变情报板系统组成框图如图 3—2 所示:

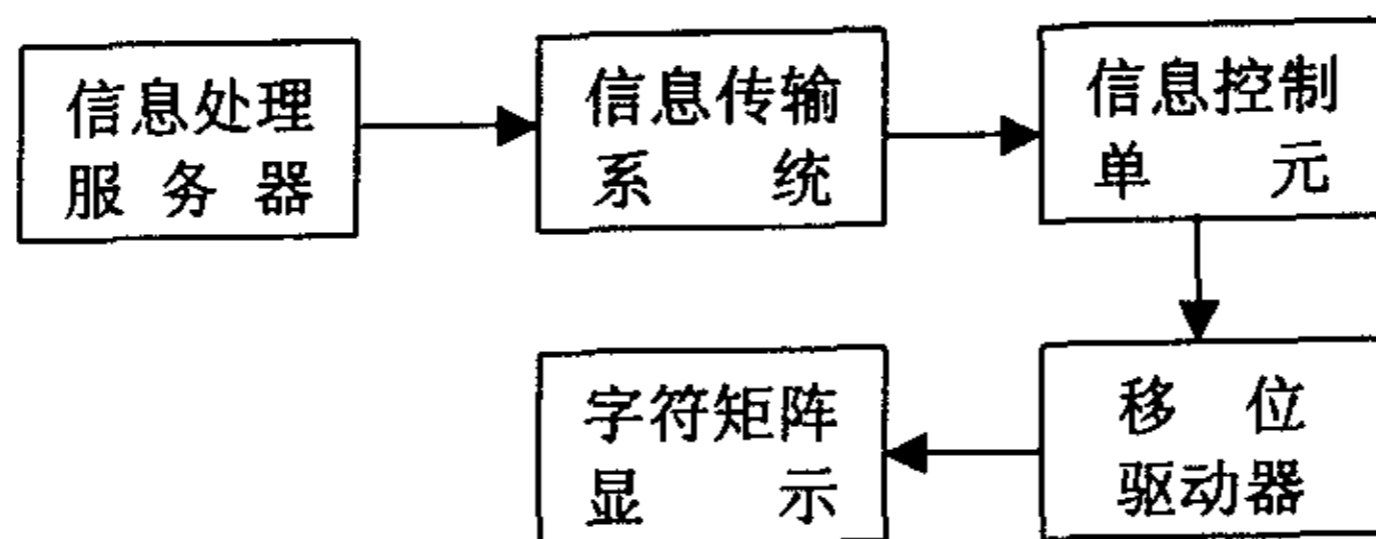


图 3—2 可变情报板系统组成

2. 可变限速标志。根据交通管理中心的命令，可变限速标志动态显示当前指定的车速，调节路段的车辆密度和平均车速。其基本设备组成框图如图 3—3 所示。

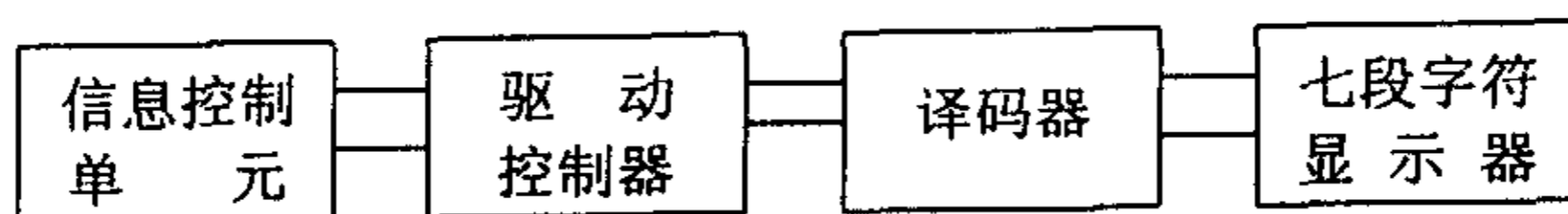


图 3—3 可变限速板设备组成框图

3. 交通广播及路侧通信广播。可利用交通广播定时播送高速公路及附近公路的交通情况。但交通广播节目有它的局限性，它不能完全满足交通管理的需要。因为它只能定时向大范围全域广播相同的内容，不能随时提供重要信息，同时缺乏针对性。

路侧通信系统是利用路肩或中央分隔带上的感应天线进行广播。对不同的路段、不同的车流方向播送不同的内容，播送的信息量大，内容随时间地点而变，有针对性、实时性。

4. 道路模拟屏。模拟屏上能及时了解设备在线运行情况以及交通运营情况。模拟屏还能从视觉上确认事件的发生，控制中心对道路状况了如指掌，以利于统一调度和现代科学管理。

5. 信号灯系统。信号灯系统主要布设在高速公路的入口，隧道入口等处，根据实际需要通过交通控制中心来调节交通量，控制路口开闭，诱导车辆。

6. 公共信息电话查询。出行者可以通过交通电话查询台了解某一路段的交通状况，以选择合适的出行方式与路线。

7. 信息中心终端。在服务区、停车场、火车站等公共场所设置电子设备终端，出行人员可利用信息中心终端查询交通情报和指令。对于私人来说，计算机是较为合适的终端设备，个人可以通过 INTERNET 与信息中心相连。出行人员可在出行前或旅行中查看信息。

第4章 系统数据管理及网络结构分析

信息是组织起来的数据,知识是经过提炼的信息。在高速公路交通管理系统运作过程中,各子系统之间和各子系统内部需要进行大量而复杂的信息交换,所以,对系统数据流程进行分析,可以梳理清楚信息流向,为系统数据管理和系统软件开发提供明确的思路。在建设功能较强的高速公路交通管理系统的过程中,为保证系统整体效率,需要高度重视信息、数据的组织管理问题,以实现系统有效整合。本章第一节和第二节将重点讨论系统数据流程及管理这两个问题。

信息传输网络是高速公路交通管理系统成功运行,数据信息快速、正确传输的前提和保障。在论文第三章系统需求分析中对信息传输系统的建设需求进行了详细的分析,本章第三节将根据系统数据流程及系统数据管理分析,对系统的网络结构进行概要设计。

4.1 系统数据流程概要分析

在分析系统数据流程之前,首先说明一下基本图例(图4-1所示):

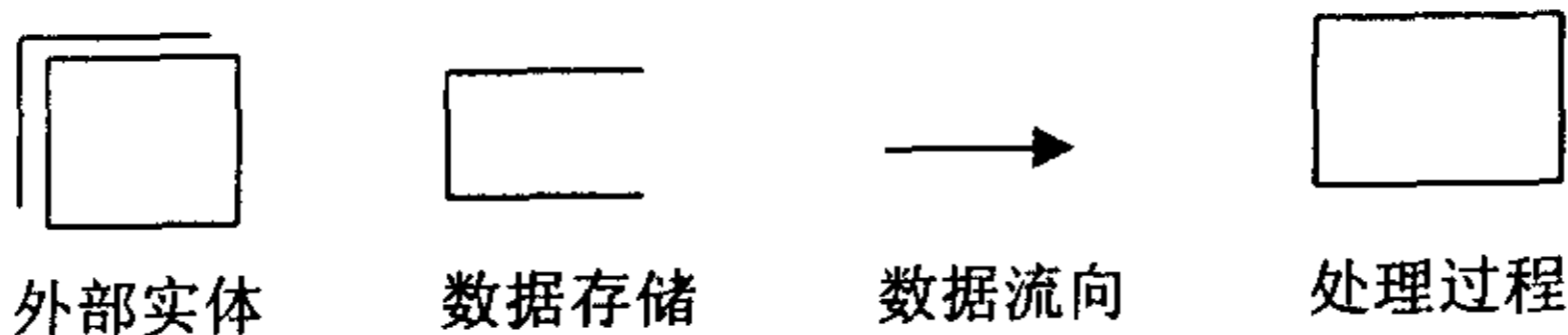


图 4-1 数据流程示意图基本图例

高速公路交通管理系统的总体数据流程如图4-2所示。其中采集信息和提供信息的具体内容见第三章系统概要需求分析,上传数据、下达指令的具体内容见第二章的中央管理控制室(包括交通管理控制总中心、中心、分中心)业务流程部分。

信息采集、提供的数据流程如图4-3所示。

信息处理系统(中央管理控制室)内部一般数据流程如图4-4所示。

事件检测与反应系统的数据流程如图4-5所示,对于事件检测与反应系统来说,其不但要给出事故处理、医疗救护、故障排除、道路设施损坏调查的实施方案,还要提出交通事件尚未完全解决情况下交通控制方案(如

减少进入高速公路匝道的车流量、利用可变情报板、路侧广播、电话查询系统来通报交通事件等), 并由数据处理平台发送给信息提供系统。

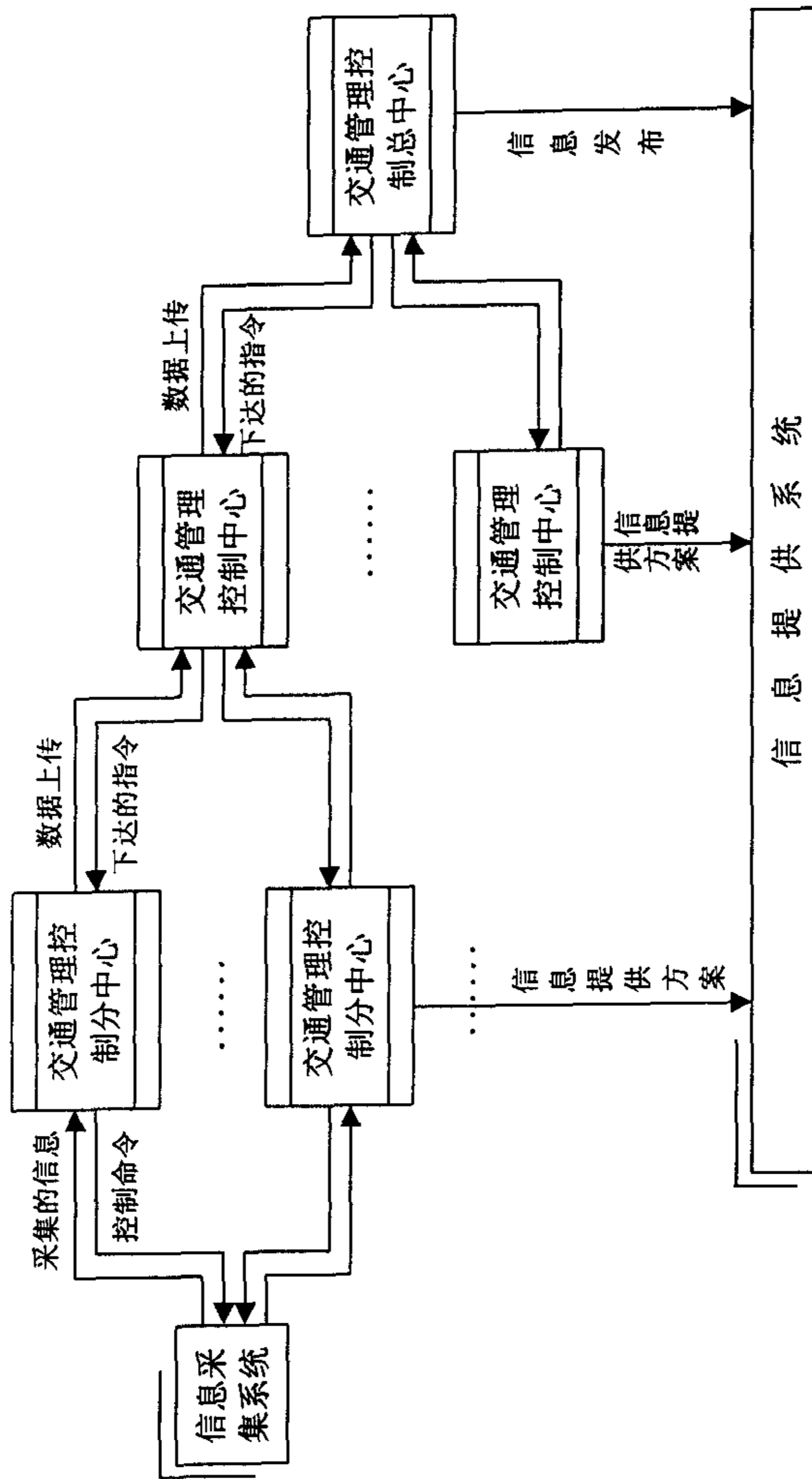


图 4-2 系统总体信息流程图

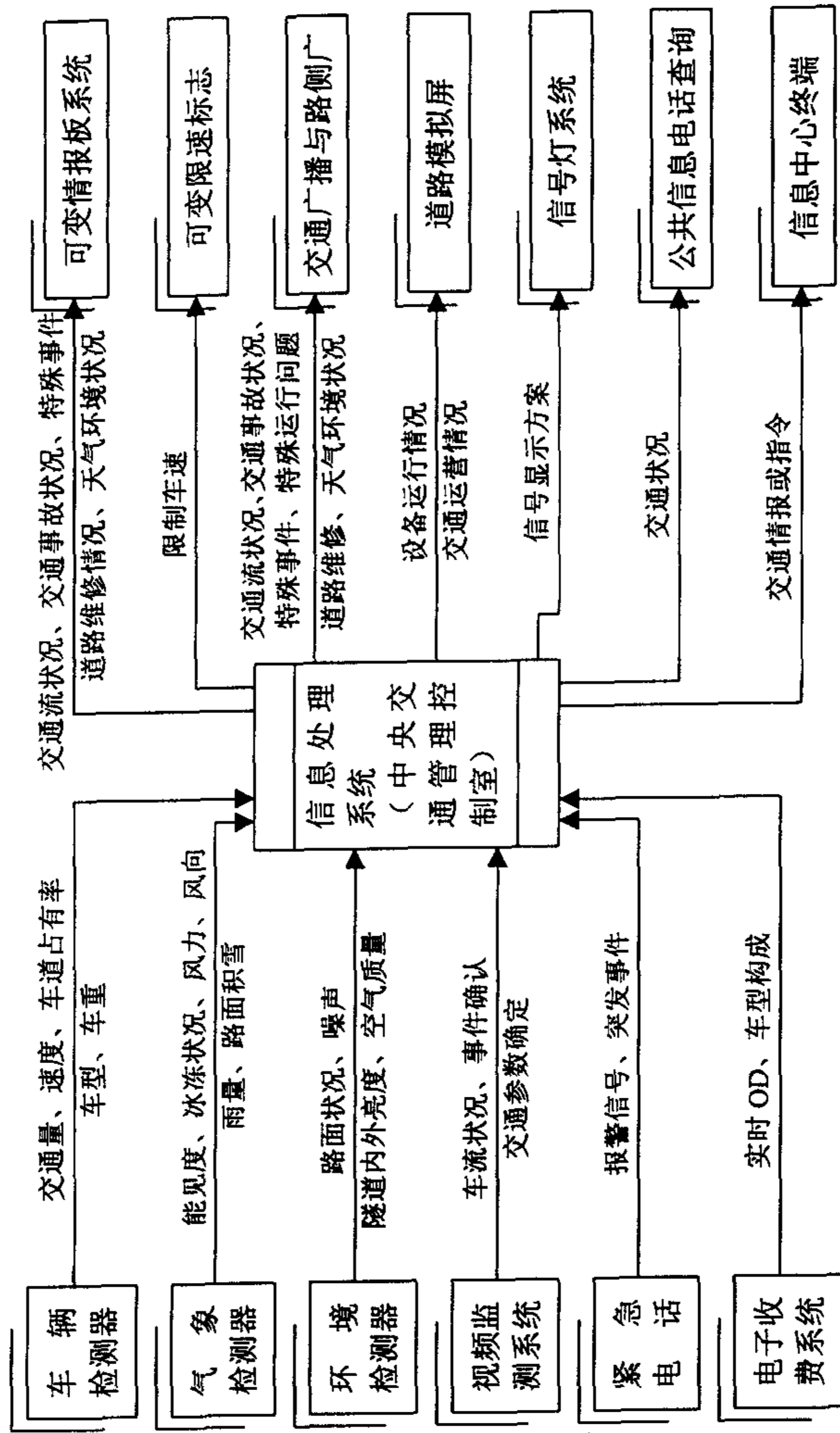


图 4-3 信息采集、提供的数据流程

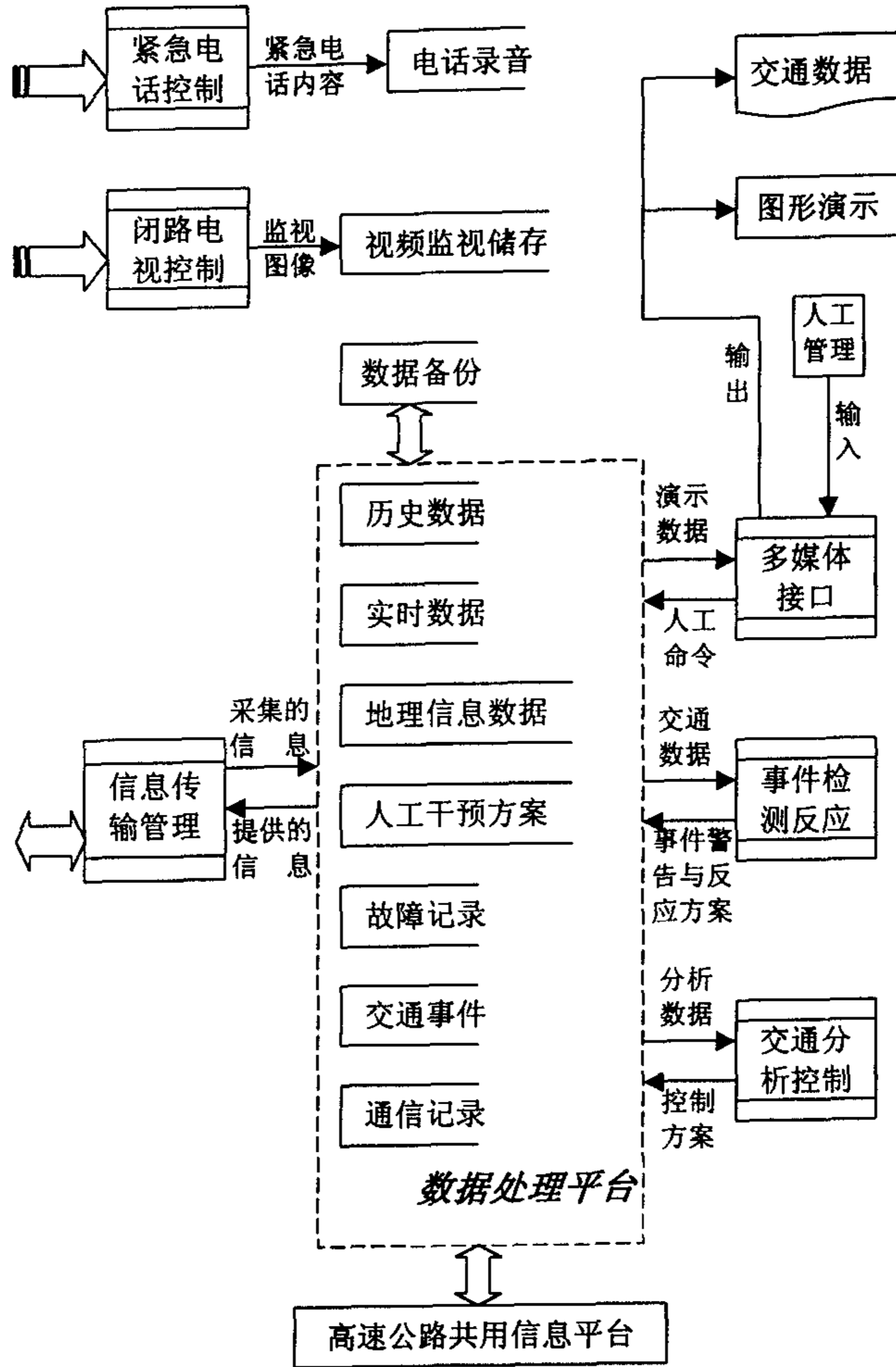


图 4—4 信息处理系统内部数据流程图

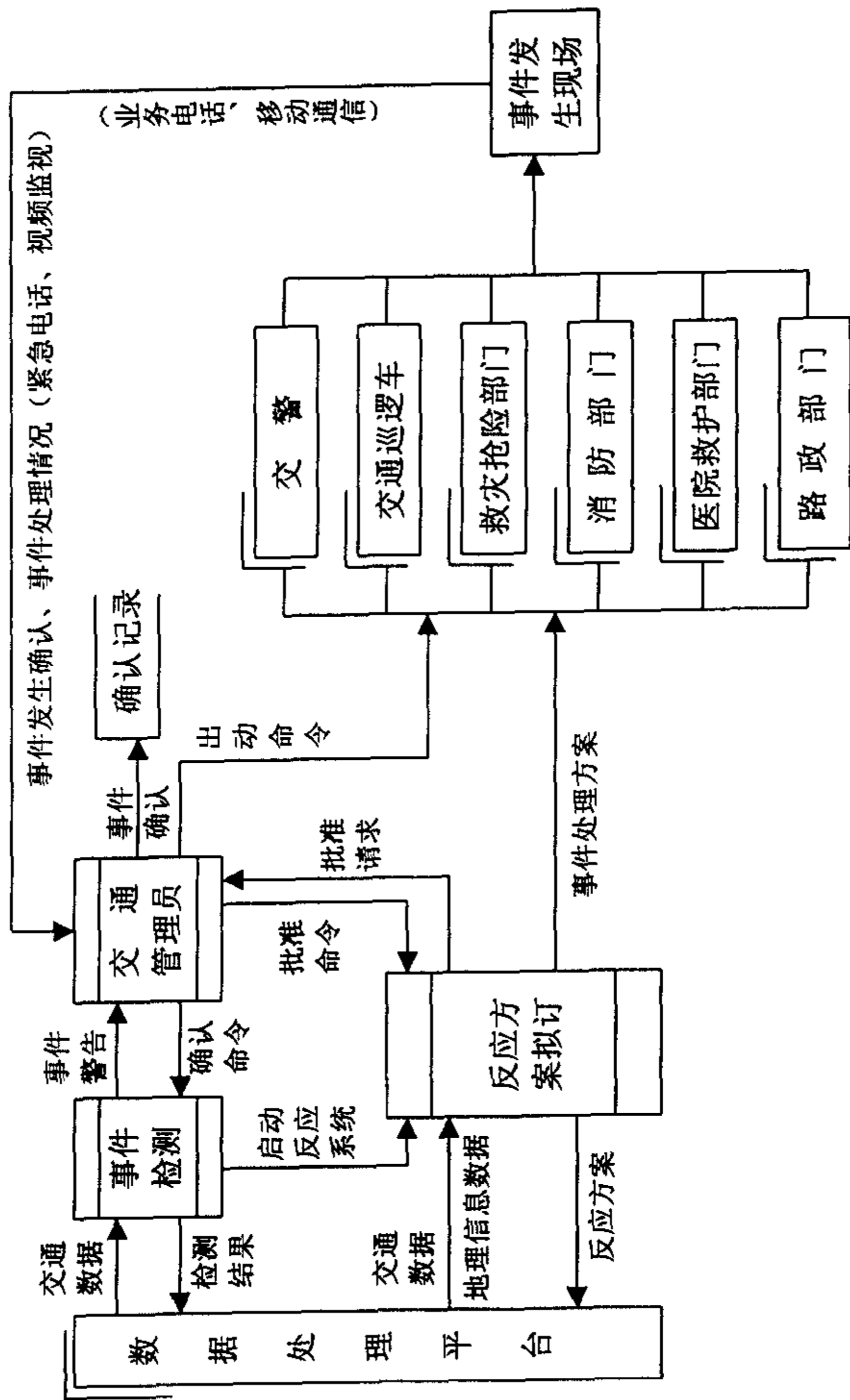


图 4-5 事件检测与反应系统信息流程图

4.2 系统数据管理概要分析

从上节系统数据流程概要分析中可以看出,高速公路交通管理系统的信息处理系统要分析、处理、储存大量的、类型多样的数据。这些数据既包括信息采集系统采集的基础数据,道路几何设计(地理信息)基础数据、向信息提供系统发出的管理控制方案数据、信息分析、处理过程中的中间数据,还包括重要的历史数据、交通事件记录数据等等。这些数据不仅是高速公路进行管理、控制的基础,也是实现事件检测与反应等基于决策支持理念的信息增值服务系统的数据依托。

为了有效沟通高速公路交通管理系统各部分之间的信息联系,实现将数据组织成为信息,将信息提炼成为知识,将知识融入整个交通管理,全面支持交通管理控制、决策分析,对高速公路交通管理系统的各种数据进行有效的管理显得十分重要。

4.2.1 系统数据特征

为了更好地使系统数据为系统运行服务,有必要简述一下系统数据本身及系统数据需求的基本特征。

1. 基础数据的共享性。高速公路交通管理系统运行依赖三个子系统提供基础数据,信息采集系统——道路交通流量、车速、高速公路出入口 OD 数据等;设计施工资料工程数据库(地理信息数据库)——道路几何设计数据;道路养护管理系统——道路铺装、封道施工等。对于这些基础数据实现整个系统内信息共享。

2. 现状数据与历史数据的需求差异。各子系统对数据的时间要求存在着一定的需求差异,如交通控制方案的拟定关注的是现状数据,事件检测与反应系统关注的是积累的历史数据与现状数据的结合。

3. 数据粒度的需求差异。信息粒度是反映信息详细程度的概念。不同的子系统对数据信息详细程度的要求是不同的,比如信息采集系统对交通参数的采集要求比较详细,而信息提供系统的可变限速标志对数据详细程度要求就简要得多,以 5Km/h 的梯度即可。

4.2.2 数据库系统的分析与设计

4.2.2.1 高速公路交通管理系统数据管理的总体结构。如前所述,中央管理控制室按高速公路交通管理系统的管理层次可划分交通管理控制总中

心、中心、分中心，其相应的数据库系统的总体结构也应按总中心、中心、分中心三个层面进行划分，具体如图 4—6 所示。

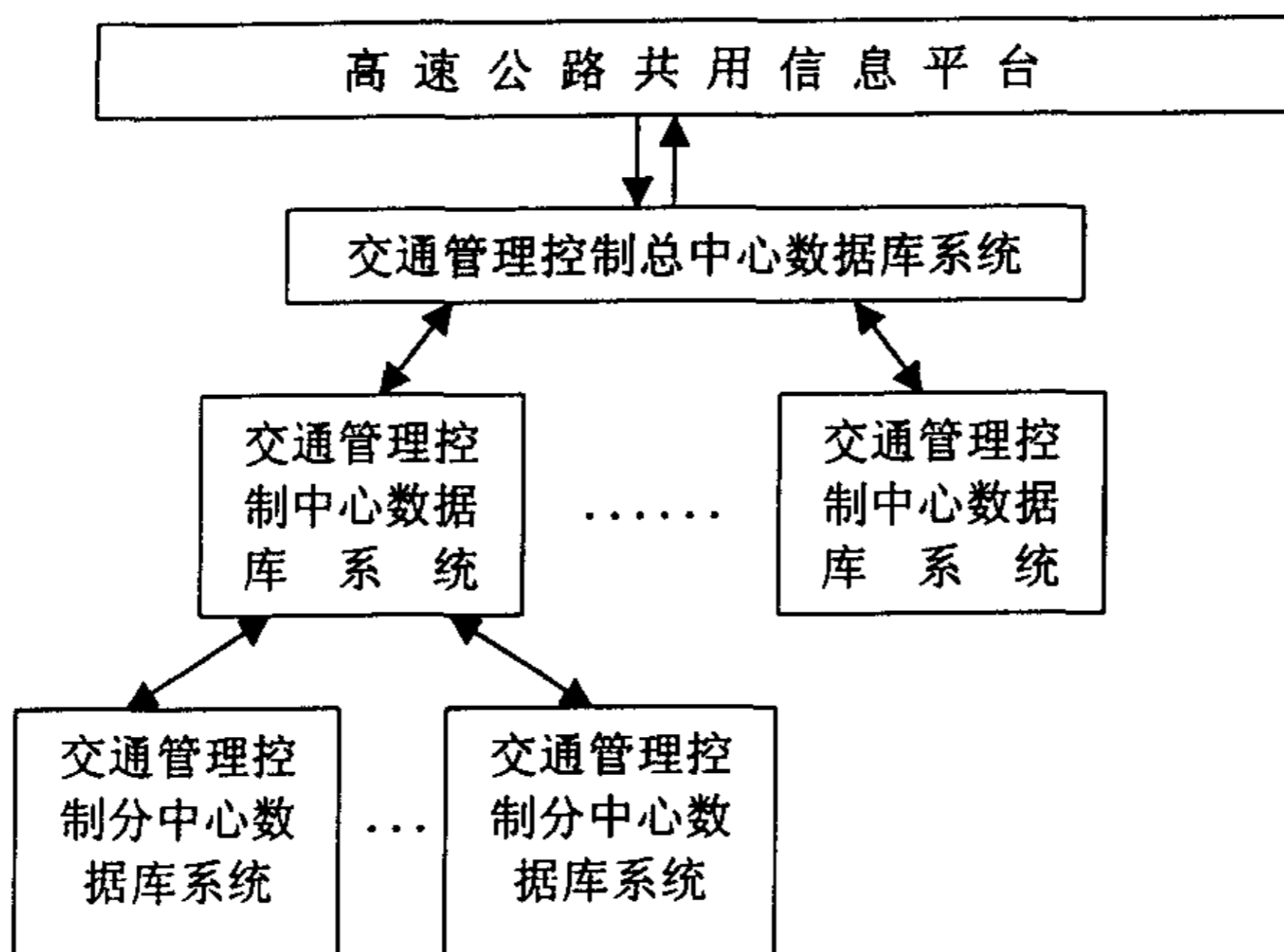


图 4—6 数据库系统总体结构图

4.2.2.2 数据库系统的基本逻辑结构。各交通管理控制总中心、中心、分中心的数据库系统基本逻辑结构如图 4—7 所示。

4.2.2.3 各组成部分功能分析。数据库系统由数据库管理系统、历史数据库、实时数据库、地理信息数据库、事物管理数据库组成。

1. 数据库管理系统。主要负责数据库系统所有数据的调用、修改、查询等操作和日常维护管理；

2. 历史数据库。用来存放重要的历史数据，为交通模型的标定、控制模型参数的确定、数据开采、交通规划等提供基础数据；

3. 实时数据库。其由静态数据库和动态数据库组成，静态数据库存放的是相对静态的数据，比如由信息采集系统采集的或下一级中央交通管理控制室上传来的实时交通数据、气象数据、道路环境数据、交通事件数据，将要提供给信息提供系统或下达至下一级中央交通管理控制室的交通控制

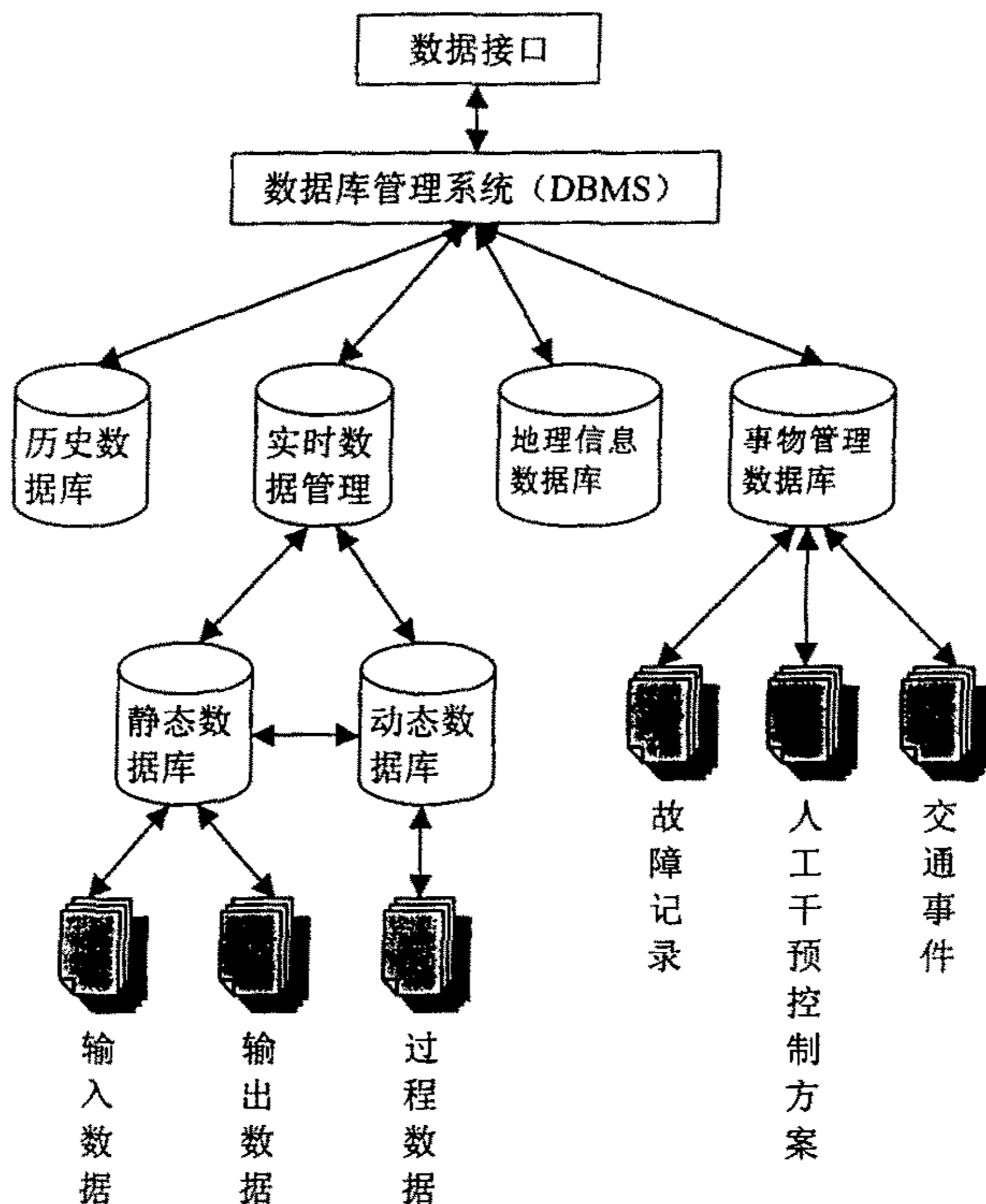


图 4—7 数据库系统的基本逻辑结构

方案数据等。而动态数据库存储的是应用软件计算推理过程中的中间数据。静态数据库为动态数据库提供初始数据，系统应用程序计算推理结束后，动态数据库中的结果再送回静态数据库；

4. 地理信息数据库。地理信息数据库主要用来存放道路路段及立交的几何数据，比如，道路交通坐标位置、互通式立交形式、道路路段里程及车道数、各匝道的容车数、道路各种桥梁基本设计图纸等。并将这些道路

几何数据以电子地图的形式保存,以便数据的使用者能够清楚、直观地应用。

5. 事物管理数据库。事物管理数据库主要用来存放故障记录数据、人工干预控制方案数据、交通事件数据等用于事物性管理的数据。

4.2.2.4 数据库系统查询访问接口设计。一般而言,大型数据库如 Informix、SQL Server、Oracle、Sybase 等均使用标准 SQL (Structured Query language) 访问数据库。在应用程序访问数据库时,数据库都有自己的应用程序接口,并通过它与工作站进行通讯。一个工作站应必须具备存取多个数据库的能力,它能够发出请求,数据传输到数据库支持的 API (Application Program Interface: 应用程序接口),通过 API 进行数据存取。在同类 DBMS 下,数据模型、查询语言等比较容易实现,目前的数据库技术和网络技术完全可以圆满解决这一问题。根据现有数据库和客户机/服务器技术,解决异种数据库或文件系统之间共享的主要途径是在客户一侧提供单一的应用程序接口(API)、网络接口;在服务器一侧提供单一核心 RDBMS 的功能调用接口、网络接口。

4.2.3 面向用户的数据组织关系描述

面向用户的共用数据组织关系描述,是为各子系统进行数据查询时提供可理解的数据间关系说明。这种数据关系包括:有关数据在空间位置及时间上的联系,数据的确切含义等。数据库系统通过共用数据规范保障对外服务的信息透明度,其中涉及如下与用户查询密切相关的基本概念:参照系、数据类型、数据粒度。

1. 路网参照系。由于交通管理系统涉及的各种事件(点事件,例如交通事故、地点车速等;区域事件,例如路段行驶车速等),需要在具有空间位置表现能力的系统(如 GIS 系统)中定位,所以需要为整个高速公路交通管理系统建立统一参照系作为空间信息组织框架。

路网参照系采用一种类似里程桩号的方式定义各种交通事件的发生位置,构成交通信息空间组织框架。为了适应不同的数据详细程度要求,路网参照系可采用能够从细致向粗略变换的三套参照系:基本路网参照系、中观路网参照系、宏观路网参照系(见图 4—8)。

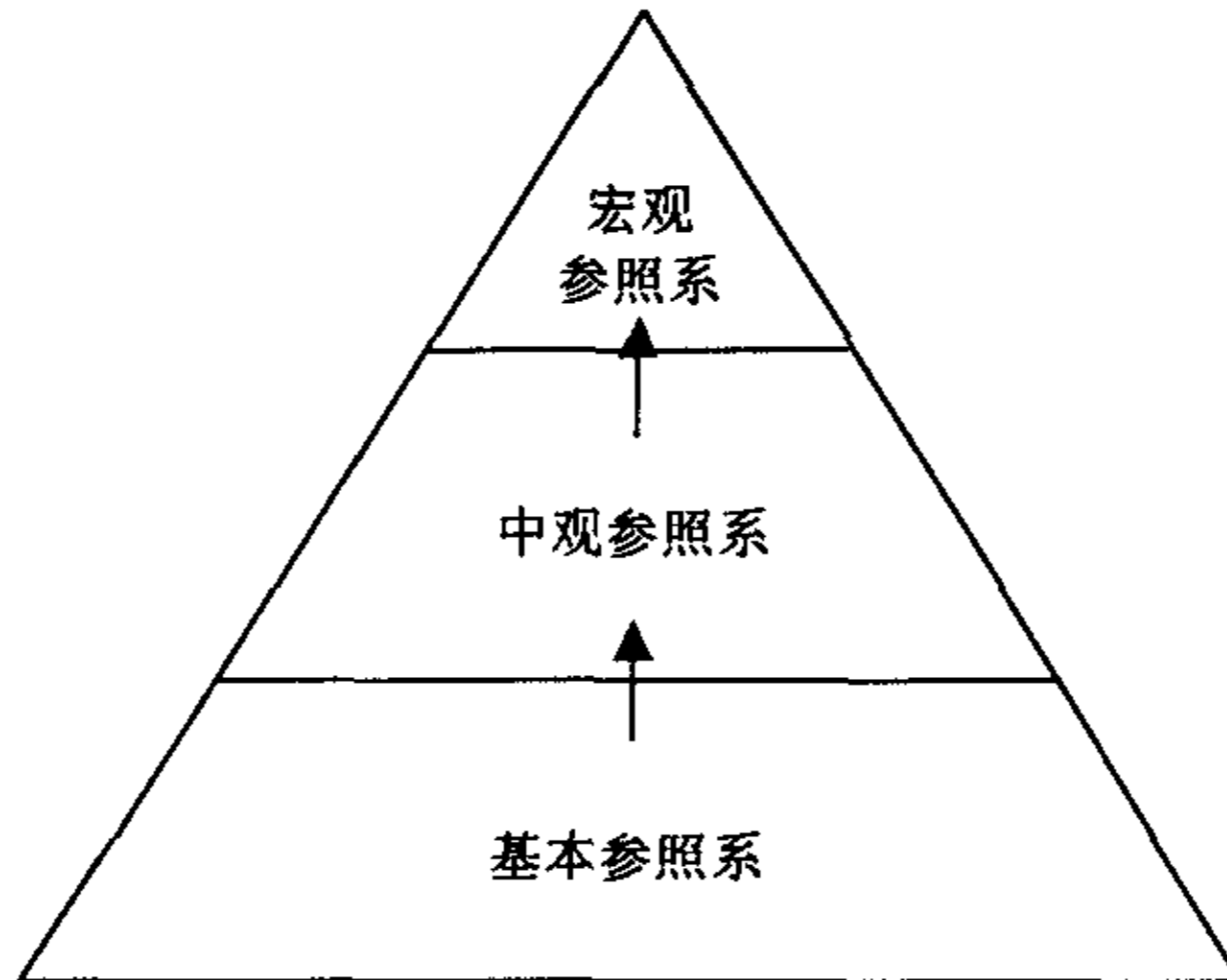


图 4—8 三种路网参照系之间的关系

(1)基本路网参照系。基本路网参照系提供了道路路段以及立交的几何数据详细描述，利用它能够精确确定交通事件的空间位置。基本路网参照系采用图 (X, A) 来描述路网拓扑关系，其中 X 为结点的集合，而 A 为有向边的集合。结点对应于高速公路的交叉点，采用平面坐标值描述其空间位置，采用结点编码与其他数据之间建立联系；边对应于两个结点之间的高速公路路段，采用两端结点编号定义在路网中的拓扑关系，采用几何样条曲线描述边的平面位置关系，采用直线和圆曲线描述边的纵段面线形。在基本参照系中有一种特殊的边——连接边，用于描述立交的连接匝道几何参数。

(2)中观路网参照系。中观路网参照系描述了路网结点的空间位置，路网结点之间的道路连接情况，连接路段的长度，以及连接路段的空间位置情况。与基本路网参照系相比，中观路网参照系省略了道路互通式立交的连接方式，以及出入口的细致情况。

(3)宏观路网参照系。宏观路网参照系用于说明路网的宏观情况，描述了路网结点的空间位置、路网结点之间的道路连接情况，以及连接路段的长度。与基本路网参照系相比，宏观路网参照系省略了道路的连接方式（互通式立交的详细情况），路线的详细空间位置，以及出入口的情况。

2. 数据类型

(1)道路技术数据。道路技术数据包括道路几何参数（平面线形参数、纵断面线形参数、横断面线形参数）及路面铺装数据。道路几何参数由高速公路设计资料工程数据库提供，道路铺装数据由高速公路设计资料工程数据库提供原始数据，由高速公路养护管理系统通过高速公路共用信息平台提供更新数据。

(2)交通流特征数据。交通流特征数据定义在路网参照系之上，其数据具有车种构成、数量、数据粒度等方面的特征。

(3)OD 数据。指高速公路出入口 OD 数据，它定义在空间结点对参照系之上，其数据具有数量、车种构成和粒度等特征。

(4)气象与环境。它定义在路网参照系之上，具有数量、粒度等特征。

(5)交通事件数据。交通事件数据也定义在路网参照系上，具有数量、类型等特征。

3. 数据粒度层次

(1)道路技术数据的粒度是通过路网参照系三层结构体系来提供的。参照系之间的变换通过抽象运算来加以完成，即从下层参照系数据中略去部分细节数据，获得高一层次的参照系。

(2)交通流特征数据粒度反映了交通流数据在时间和空间上的细致程度。按照时间划分为：实时交通特征、小时交通特征、日交通特征等，各交通特征分别包括合计流量、平均车速、平均密度。按空间轴划分为：道路分段（网络中的边的一段）、路段（两个交叉点之间的路段）、路线上的交通流特征。

(3)OD 数据粒度反映了时间上的细致程度。OD 数据可划分为：实时 OD 量、日 OD 量等。

(4)气象与环境数据粒度反映了气象与环境在时间和空间上的细致程度。

4.2.4 数据管理目标及措施

4.2.4.1 数据管理目标及分解。系统数据管理的目标主要是保证数据的完整性及一致性。数据库的完整性是指数据的正确性与相容性，其中包括数据一致性。数据库的完整性涉及如下几个方面：

1. 保护存在性，它包括隔离、备份和恢复；

2. 维护数据库的质量。包括：保证数据始终符合定义（定义一致性），验证储存数据和输入数据，更新控制（控制并发修改，同步多副本修改等）。

3. 保证敏感数据的保密性。保证数据保密性的技术有：隔离技术、建立存储管制，保证授权用户使用加密技术、跟踪和审计。

在数据库应用环境中，主要组成部分有：数据库的用户、数据库管理员、应用程序、数据库管理系统和数据库、计算机系统与网络设备等。在保证数据库完整性方面，具有高度可靠性与可用性的计算机系统是基础，数据库管理系统提供了基本技术手段，应用系统开发与维护人员要将这些技术手段溶入应用开发与维护中，数据库管理员要利用这些技术手段用于数据管理（如授权等）。在保证数据库完整性方面，数据库管理员具有重要作用。对数据库用户，应具有完整的事务处理制度加以约束，明确其责任，要其按规定进行应用操作，保证原始数据的及时、正确输入与处理。

4.2.4.2 保证数据完整性的措施。在系统建设与应用中，保证数据完整性的主要措施有：

1. 数据库管理系统所提供的技术手段。对于如何保证数据库完整性，特别是在分布式应用环境下如何保证数据完整性的问题，各备选数据库管理系统都提供了有效的方法。以 INFORMIX 为例，它对完整性有如下几方面考虑：

- (1)系统维护数据库定义，并且始终保证存储的数据符合它的全部定义；
- (2)对数据库中存储的数据有综合性验证标准；
- (3)扩充的数据库定义语言；
- (4)单独的存取/修改授权过程；
- (5)对数据加密存储的能力；
- (6)能够记录数据库所有变化（不考虑原因）；
- (7)提供检查点、重新启动、恢复运行和向前运行功能；
- (8)并发控制：控制试图同时访问/修改数据库的程序；

它提供的保证数据完整性的主要方法与手段有：

(1)通过触发器、存贮过程、规则、缺省值和域值等提供了强大的强制完整性；

(2)审计、事务日志，以及实施封锁过程、隔离级别等；

- (3)遵循 SQL 标准的完整性约束实现;
- (4)强功能的数据字典;
- (5)增强的安全性, 提供安全管理所需要的授权与审计功能;
- (6)保证数据完整性的快速恢复功能;

2. 具有较高可用性、可靠性的计算机系统与网络, 服务器上的快速备份手段为保证数据库完整性提供了基础。为保证数据库完整性, 还须在系统管理与维护, 机房(特别是放置服务器的机房)环境, 数据备份的安全保存等方面下功夫。

3. 充分利用计算机系统与数据库系统所提供的有关技术手段。将保证数据完整性的思想溶入应用开发与维护过程, 如保证数据库设计质量, 提供自动的数据有效性校核功能等。

4. 选择政治、技术素质好, 责任心强的人员为数据库管理员。
5. 充分利用系统所提供的数据字典, 建立和完善全局性的数据字典。
6. 制定完善的组织管理措施, 并将其落在实处。

为保障数据安全, 便于进行使用数据的授权, 须对数据按保密要求加以分类, 如可将数据库中的数据(文件)分为如下密级: 公开性数据、内部数据、秘密数据、机密数据、绝密数据等。

4.3 系统网络总体结构设计

4.3.1 系统网络设计原则

1. 充分利用各路段内部的通讯线路。以节省网络的投资费用和保证数据的安全性。

2. 在设备的选型方面, 应考虑到系统的生命周期。尽量选用较先进的具有国际、国内行业标准的设备, 尽量选择成熟先进可行的技术, 以缩短系统的开发周期。

3. 整个系统既要满足当前的要求, 又要考虑数年后的发展需要。保证对系统投资的升值和保护, 因此设计时既要考虑其实用性、易用性和开放性, 又要保证其先进性、可扩展性和安全性, 使系统达到最佳的性能价格比。

4.3.2 系统网络结构设计

4.3.2.1 网络的总体拓扑结构。高速公路交通管理系统网络总体结构如图 4—9 所示。为提高整个骨干网络的可靠性,一般采用具有较高的性能价格比环型保护方式。交通管理控制总中心(信息传输总中心)与各交通管理控制中心(信息传输中心)组成 622Mbps 的 ATM 环型网;各交通管理控制中心与其所辖的交通管理控制分中心(信息传输分中心)组成 155 Mbps 的 ATM 环型网;各交通管理控制分中心与其所辖的通信站以 2Mbps 的星型广域网连接。

4.3.2.2 交通管理控制总中心网络结构设计。高速公路交通管理控制总中心的网络结构示意图如图 4—10 所示。其中,双机热备份服务器对应于信息处理系统的信息处理服务器和备份服务器,而局域网工作站主要有交通分析控制计算机、事件检测反应计算机、多媒体计算机等。

4.3.2.3 交通管理控制中心及分中心的网络拓扑结构。交通管理控制中心及分中心的网络拓扑结构与交通管理控制总中心相似,由于交通管理控制中心既要与 622Mbps 的 ATM 环型网相连,又是 155 Mbps 的 ATM 环型网的组成部分,所以它有两个千兆位以太网交换机。交通管理控制中心及分中心都不直接与 Internet 和高速公路共用数据网(共用数据平台)相连,而是通过总中心与其进行数据交换。

4.3.3 网络操作系统及设备分析

4.3.3.1 网络操作系统。网络操作系统在很大程度上决定了网络系统的整体性能和水平,同时也大体上决定了应用及技术发展方向。在应用系统建立过程中,更换操作平台会付出很高的代价。充分认清国际国内网络操作系统的主流趋势,慎重选择网络操作系统是非常重要的。目前,网络操作系统产品有两大类:一类是专用网络操作系统,如 IntranetWare、NetWare、Lan Manager 和 VINES;另一类是单机和网络通用的操作系统,如 UNIX、WindowsNT 和 OS/2。一般认为,能够成为国际国内主流操作平台的产品是 UNIX、WindowsNT 和 NetWare、IntranetWare。

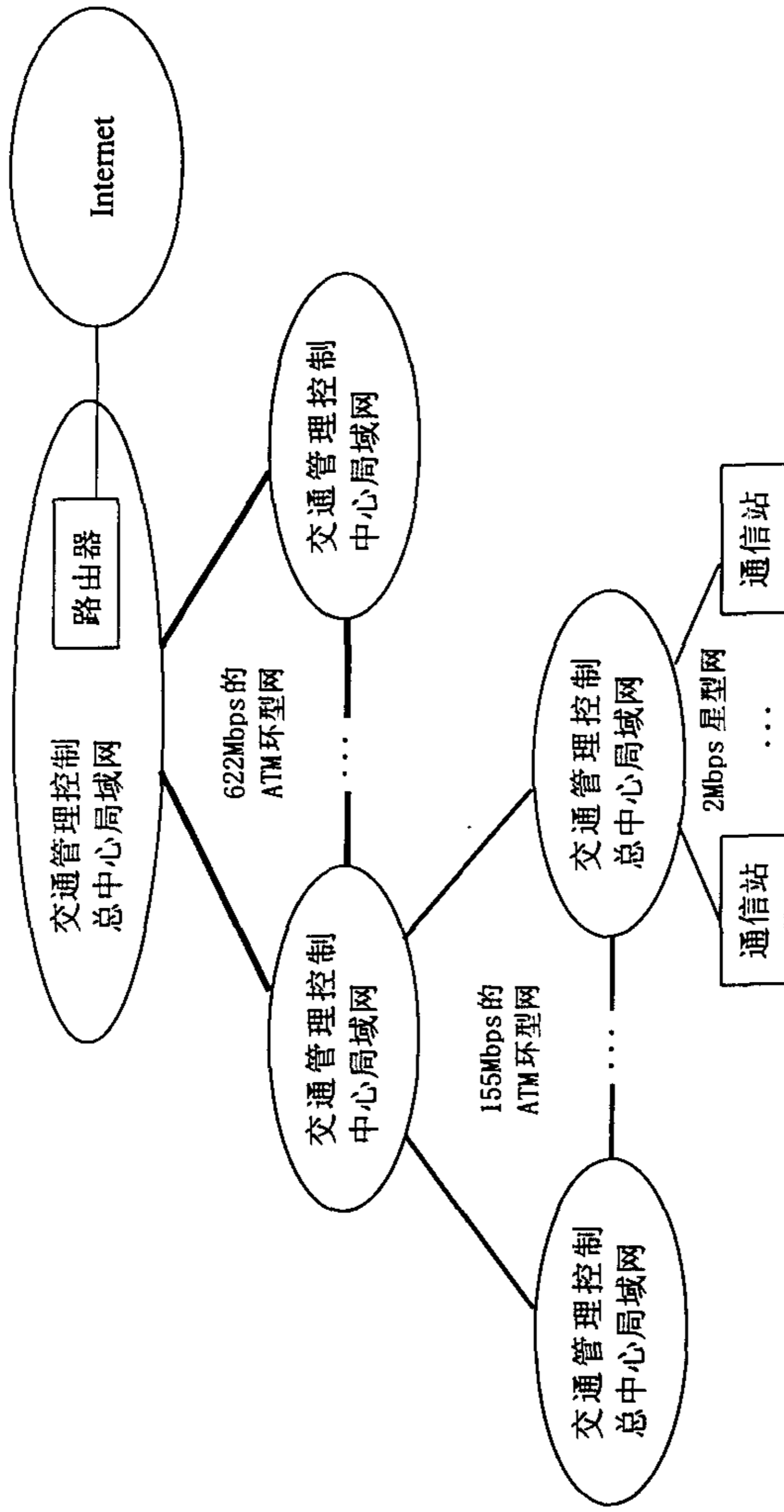


图 4—9 系统网络总体拓扑结构图

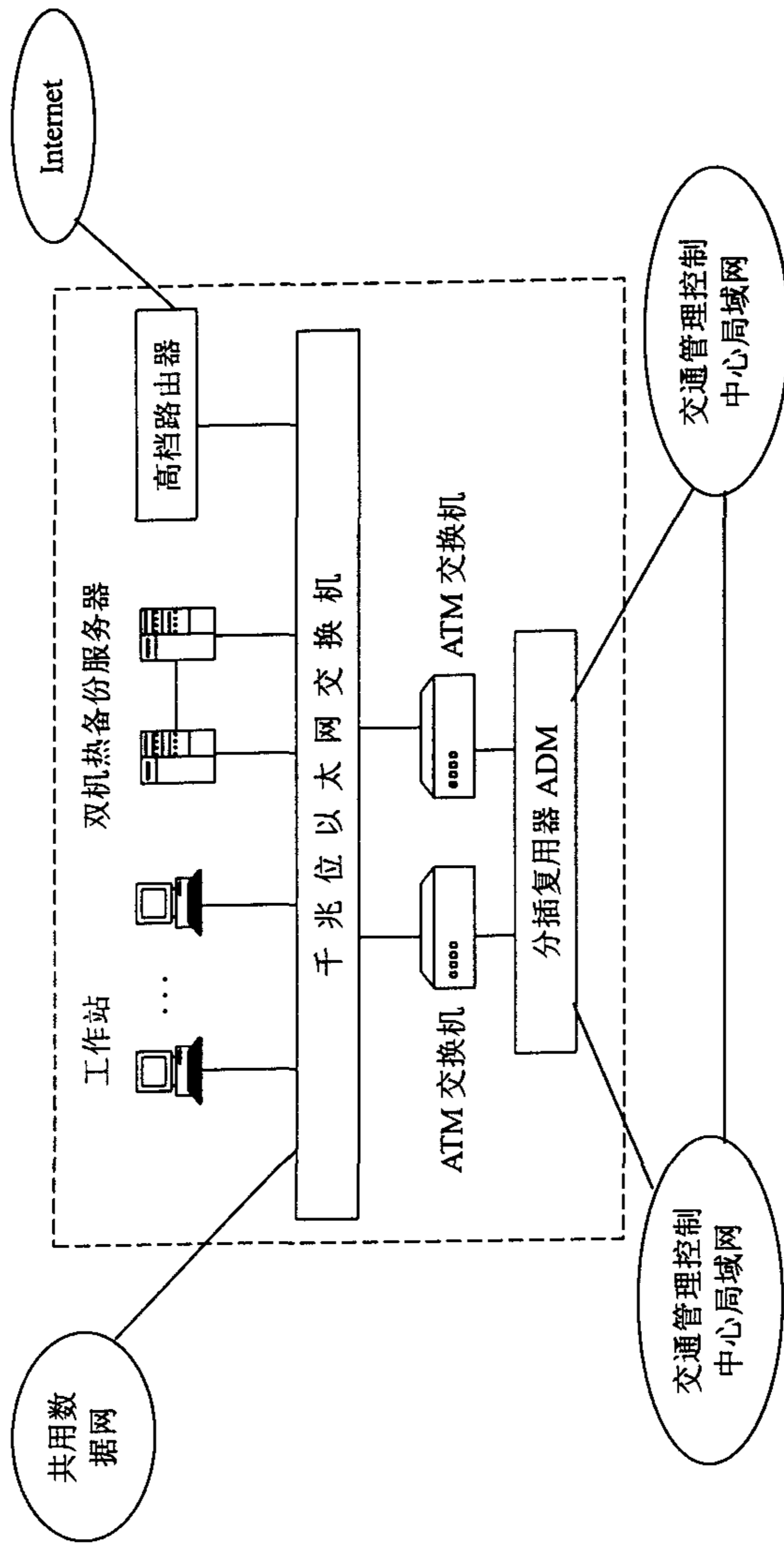


图 4—10 交通管理控制中心网络结构示意图

4.3.3.2 网络设备。

1. SDH 分插复用器 ADM, 如 STM-16 等级同步分插复用器的技术指标如下:

- (1)复接容量: 多个 622Mb/s 或多个 155Mb/s
- (2)光接口: 符合 ITU-T G. 957 建议
- (3)2Mb/s 电接口性能符合 ITU-T G. 703 建议

2. 千兆位以太网交换机

- (1)符合 ITU-T G. 957 标准
- (2)OC-12c 622Mbps 的 ATM 上连端口
- (3)10/100MBASE-T 自适应端口 (符合 IEEE 802.3)
- (4)支持第 2、3、4 层无阻塞交换
- (5)支持 OSPF/RIP/RIPv2 等多种路由协议
- (6)支持线速防火墙技术
- (7)支持自动路由选择管理
- (8)系统控制模块/电源系统的冗余备份
- (9)支持基于 Web 的图形化管理
- (10)支持 ATM 论坛 LANE 1.0, ATM 论坛 MPOA 1.0, LDAP, 802.1d, 多联 Trunk 功能, 支持基于 IP、端口、MAC 地址的虚网划分, SNMP MIB II, RMON1/2

3. 路由器

- (1)大于 80KPPS 的包交换能力
- (2)提供快速以太网接口 (UTP 接口)
- (3)标准的串形端口, 支持速度为 2Mbps, 支持 FR/X25/DDN 等
- (4)支持 RIP/RIP2/OSPF/BGP4 等标准的路由协议
- (5)提供加密、访问控制等各种安全机制

4. 核心 ATM 交换机

- (1)符合 ITU-T G. 957 标准
 - (2)622Mbps OC-12c/STM-4c SDH 上联端口 (SMF/MMF), 接口支持冗余备份和负载分担
 - (3)155Mbps OC-3c/STM-1c UTP 接口 符合 ITU-T G. 703 标准
 - (4)控制端口符合 RS-232 (DB-9) 标准
-

- (5)BITS 时钟输入接口符合 ITU-T G.811 标准
 - (6)支持 PVC/SVC/SPVC, CBR/VBR/ ABR/ UBR 业务类型
 - (7)快速重路由能力和快速自动备份能力
 - (8)基于 Web 的管理手段
 - (9)Stratum3/4 计时 (精密时钟), 外时钟 BITS 输入
-

第5章 交通控制与事件检测理论及应用

形成系统控制方案并对交通事件实时检测是高速公路交通管理系统的核心功能，也是信息处理子系统运行的理论依据，而且两者是相互联系的，事件检测及确认可以提示交通控制系统改变控制参数或启动应急控制策略。高速公路的交通模型则是高速公路系统控制设计不可缺少的内容。所以，本章将对高速公路交通模型、控制设计理论、事件检测理论及应用三个问题分别进行讨论。

5.1 高速公路交通模型

5.1.1 高速公路交通模型含义及分类

高速公路交通模型是描述交通流状态变量随时间与空间而变化、分布的规律及其与交通控制变量之间关系的方程式。

从模型描述范围来划分，可将高速公路的交通模型分为微观模型和宏观模型；从模型交通参数的时变特征来分，还可将交通模型划分为稳态交通模型和动态交通模型。由于宏观动态交通模型常用于实时交通控制，所以，这里只宏观动态交通模型，其它交通模型见论文[5]、[6]等参考文献。

5.1.2 宏观动态交通模型

5.1.2.1 动态密度模型及建模基本思想。考虑一条高速公路，其交通流可看作一个密度为 $\rho(x, t)$ 、流量为 $q(x, t)$ 的流体沿着公路坐标 x （行车方向）的运动，它遵从流体运动守恒基本方程：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r' - s' \quad (\text{式 } 5-1)$$

式中 r' —单位长度 (km) 平均匝道驶入流量；

s' —单位长度 (km) 平均匝道驶出流量；

显然，在路段 i 之内有：

$$r' = \frac{r_i}{\Delta_i}, \quad s' = \frac{s_i}{\Delta_i} \quad (\text{式 } 5-2)$$

式中 Δ_i —路段 i 的长度

r_i —路段 i 范围内匝道驶入流量

s_i —路段 i 范围内匝道驶出流量

式(5—1)的含义是：当断面 x 处交通流源 $(r' - s')$ 增大时，该处密度会上升，同时该处以下（沿 x 方向）流量呈增加趋势。这符合实际情况。

为便于交通控制系统设计之用，我们把(式 5-1)化为常微分方程，然后再化为离散时间形式的差分方程。为此，把所论高速公路划分为 N 段，每段内各交通变量近似地认为是均一的，每段至多含有一个入口和一个出口。设第 i 路段的长度为 $\Delta_i (i=1, 2, \dots, N)$ ，该路段内在采样时刻 kT (T 为采样周期，一般取为 10 秒)的交通密度、空间平均车速分别表示为 $\rho_i(k)$ 、 $v_i(k)$ ，主线上驶入该路段的交通流量 $q_{i-1}(k)$ ，驶出该路段的流量为 $q_i(k)$ ，该段范围内匝道驶入流量、匝道驶出流量分别记为 $r_i(k)$ 、 $s_i(k)$ 。于是，以增加变量数目(维数)为代价，把偏微分方程(式 5-1)化为如下一组(N 个)常微分方程。这种处理常被成为空间离散化。

为实现空间离散化，在路段 i 内将式(5—1)中的 $q(x)$ 用 q_{i-1} 、 q_i 表示，即

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{q_i - q_{i-1}}{\Delta_i} \quad (\text{式5-3})$$

为实现时间离散化，在路段 i 内采用如下近似处理(采样周期为 T)：

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} = \frac{1}{T} [\rho_i(k+1) - \rho_i(k)] \quad (\text{式5-4})$$

于是(式 5—1)近似为如下差分方程：

$$\rho_i(k+1) = \rho_i(k) + \frac{T}{\Delta_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k) + r_i(k) - s_i(k)] \quad (\text{式5-5})$$

$$i = 1, 2, \dots, N; \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

(式 5—5)表明，一个周期内该路段交通密度的增加量，取决于该周期内驶入流量 $(q_{i-1} + r_i)$ 与驶出流量 $(q_i + s_i)$ 之差。(式 5—5)被称为动态密度模型。

为了得出(式5—5)中流量 q 的表达式,还必须利用上述思想得出流量 q 的离散表达式:

$$q_i(k) = \alpha \rho_i(k) v_i(k) + (1 - \alpha) [\rho_{i+1}(k) v_{i+1}(k) - r_{i+1}(k)] - s_i(k) \quad (\text{式5-6})$$

式中 α — 加权系数;

其它变量意义同前。

5.1.2.2 动态速度模型。利用跟车理论和车速与前方车流密度的关系,利用上述离散手段可以得出动态速度模型:

$$v_i(k+1) = v_i(k) + \frac{T}{\tau} [v(\rho_i(k)) - v_i(k)] + \frac{T\xi}{\Delta_i} v_i(k) [v_{i-1}(k) - v_i(k)] - \frac{vT}{\tau\Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k) - \rho_i(k)}{\rho_i(k) + \lambda} \quad (\text{式5-7})$$

式中 τ — 车速变化的滞后时间;

ξ 、 λ — 修正系数;

其它变量同前。

(式5—7)的 $\rho-v$ 特性可用下式表示:

$$v(\rho) = v_f [1 - (\frac{\rho}{\rho_j})^l]^m \quad (\text{式5-8})$$

式中 v_f — 自由行驶速度;

ρ_j — 交通堵塞密度;

l 、 m — 为模型参数;

5.1.2.3 动态交通模型。将(式5—5)、(式5—6)、(式5—7)

(式5—8)联立起来,就得到了以密度 $\rho_i(k)$ 、速度 $v_i(k)$ 为状态变量的2N维差分方程组,也就是高速公路的动态交通模型(式5—9)。

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_i(k+1) = \rho_i(k) + \frac{T}{\Delta_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k) + r_i(k) - s_i(k)] \\ q_i(k) = \alpha \rho_i(k) v_i(k) + (1 - \alpha) [\rho_{i+1}(k) v_{i+1}(k) - r_{i+1}(k)] - s_i(k) \\ v_i(k+1) = v_i(k) + \frac{T}{\tau} [v(\rho_i(k)) - v_i(k)] + \frac{T\xi}{\Delta_i} v_i(k) [v_{i-1}(k) - v_i(k)] \\ \quad - \frac{vT}{\tau\Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k) - \rho_i(k)}{\rho_i(k) + \lambda} \\ v(\rho) = v_f [1 - (\frac{\rho}{\rho_j})^l]^m \end{array} \right. \quad (\text{式5-9})$$

式中, v_f 、 ρ_j 、 l 、 m 、 τ 、 ξ 、 v 、 λ 、 a 为待估参数, 其它变量意义如前所述。

5.2 高速公路控制理论分析

5.2.1 控制方法概述

在高速公路交通控制中, 常用的方法主要是入口匝道控制和主线控制。入口匝道控制的基本目标是控制高速公路的交通需求, 它以高速公路主线交通流为控制对象, 以匝道入口流量为系统的输入量, 通过计算匝道上游交通需求与下游道路容量差额来寻求最佳入口匝道流量控制, 从而使高速公路本身的交通需求不超过它的容量, 使高速公路主线交通流处于最佳状态; 主线控制就是对高速公路主线的交通进行调节、诱导和警告。主线控制的基本目标是改善高速公路运行的安全和效率, 缓解主线上的交通拥挤和交通瓶颈对交通的影响。这种控制对常发性和偶发性交通拥挤都是有效的; 高速公路的匝道控制和主线控制并不是相互孤立的, 应将其相互协调, 更好地为交通管理控制服务。

5.2.2 入口匝道控制理论分析

5.2.2.1 入口匝道控制方法分类。与交通模型相似, 入口匝道控制模型按控制范围可划分为单个匝道控制和多个匝道整体控制; 按交通流的时变特征来划分可分为定时控制和动态控制。论文只对入口匝道的全局动态控制做探讨, 其它控制方法见可参照论文的参考文献。

5.2.2.2 全局动态控制理论分析。全局动态控制把一条路的多个入口匝道统筹考虑, 确定一组调节率, 使某种形式的全局性能指标最优。全局控制又分为集中控制和分散控制两种方式。

1. 全局集中动态控制。高速公路交通控制系统设计与评价可以采用多种不同的性能指标。从满足道路使用者要求的角度讲, 应该力求全体车辆在此高速公路上消耗的总旅行时间为最小; 从高速公路管理部门的角度, 即尽量发挥道路通行能力的角度来考虑, 比如在过饱和情况下, 期望每个路段均运行在最大流量的状态之下。下面给出性能指标为所有车辆花费的旅行时间为最小时的一种全局集中动态控制模型。

当采用本章 5.1 节给出的高速公路动态交通模型时,多匝道交通控制系统的全球最优动态调节率计算可归结为如下最优控制问题。

已知:各匝道交通需求 $d_i(k)$,整条道路的起始—到达矩阵 $A(k)$,以及初始条件 $\rho_i(0)$ 、 $v_i(0)$ 、 $l_i(0)$, $i=1, 2, \dots, n$, $k=0, 1, \dots, K-1$, l_i 表示第 i 路段内入口匝道上排队长度, K 表示控制时间包括的周期数。

求解:最优的人口调节率 $r_i^*(k)$ 和限速控制系数 $b_i^*(k)$,使某种特定的性能指标函数取极值。例如,当取性能指标为所有车辆花费的旅行时间为最小时,性能指标函数为:

$$T_s = \sum_{k=0}^{K-1} T[\rho^T(k)\Delta + l^T(k)e] \rightarrow \min \quad (\text{式5—10})$$

式中 $\rho(k) = [\rho_1(k), \dots, \rho_n(k)]^T$ $\Delta = [\Delta_1, \dots, \Delta_n]^T$
 $l(k) = [l_1(k), \dots, l_n(k)]^T$ $e = [1, \dots, 1]^T$
 $l_i(k)$ —第 k 周期第 i 匝道的排队车辆数;

其它符号意义同前。

并遵守如下约束条件:

$$\rho_i(k+1) = \rho_i(k) + \frac{T}{\Delta_i} [q_{i-1}(k) - q_i(k) + r_i(k) - s_i(k)] \quad (\text{式5—5})$$

$$v_i(k+1) = v_i(k) + \frac{T}{\tau} [v(\rho_i(k), b_i(k)) - v_i(k)] \\ + \frac{\xi T}{\Delta_i} v_i(k) [v_{i-1}(k) - v_i(k)] \\ - \frac{\nu T}{\tau \Delta_i} \frac{\rho_{i+1}(k) - \rho_i(k)}{\rho_i(k) + \lambda} \quad (\text{式5—7})$$

$$q_i(k) = \alpha \rho_i(k) v_i(k) + (1 - \alpha) \rho_{i+1}(k) v_{i+1}(k) \quad (\text{式5—6})$$

$$v(\rho_i(k), b_i(k)) = b_i(k) v_f \left[1 - \left(\frac{\rho_i(k)}{\rho_j} \right)^{(3-2b_i(k))} \right]^m \quad (\text{式5—11})$$

$$b_i(k) = b_i(k+1) = \dots = b_i(k+7), \quad k = 0, 8, 16, \dots \quad (\text{式5—12})$$

$$b(k) \in \{0.7, 0.8, 0.9, 1.0\} \quad (\text{式5—13})$$

$$l_i(k+1) = l_i(k) + T[d_i(k) - r_i(k)] \quad (\text{式5—14})$$

$$\begin{aligned} \max\{r_{i\min}, d_i(k) - \frac{1}{T}[l_{i\max} - l_i(k)]\} &\leq r_i(k) \\ &\leq \min\{r_{i\max}, d_i(k) + \frac{1}{T}l_i(k)\} \end{aligned} \quad (\text{式5—15})$$

其中(式5—14)为关于排队量的状态方程, 式中 $d_i(k)$ 表示入口匝道*i*的交通需求, 是已知量。(式5—12)说明 b_i (限速控制系数)的改变每隔8个周期进行一次, 当 $T=15\text{s}$ 时, 即为每隔2min调整一次 b_i 值。其它变量符号同前。(式5—15)左半部分说明匝道调节率 $r_i(k)$ 的下限约束, 即应不低于最低调节率 $r_{i\min}$ (约为180辆/h, 否则会引起排队等待者抱怨, 或者误以为信号失灵而冒然闯入)和保证该匝道排队车辆数不超过排队容量 $l_{i\max}$, 以免影响其他道路的交通运行。(式5—15)右半部分为匝道调节率 $r_i(k)$ 的上限约束, 即不大于最大调节率 $r_{i\max}$ (这是匝道设施容量所限制的, 单车调节情况下 $r_{i\max}=900$ 辆/h)和至多把原有排队车辆和新到达车辆全部放行即可。

这是一个非线性系统最优控制问题。状态变量包括 $\rho_i(k)$ 、 $v_i(k)$ 、 $l_i(k)$, 控制变量为 $r_i(k)$ 、 $b_i(k)$, 性能指标中包含 $\rho(k)=[\rho_1(k), \dots, \rho_n(k)]^T$, $l(k)=[l_1(k), \dots, l_n(k)]^T$, 因此上述问题可以用极小值原理求解, 也可以用动态规划方法求解。

2. 全局集中动态控制存在的问题。对于一条多路段、多入口的高速公路来说, 其模型含有的状态变量比较多, 控制变量亦比较多, 且状态方程具有很强的非线性, 即使使用计算机程序求解, 计算量、存储量也相当大, 这就是通常所说的“维数灾”。假如计算时间太长, 解出的控制规律可能“事过境迁”, 跟不上动态实时控制的需求, 无法付诸实用。好在随着计算机硬件、软件技术的发展, 这个问题已渐获得解决。除此之外, 还有一些问题需要解决。第一是自适应能力问题。最优控制问题中所使用的

交通模型及许多参数都可能因为交通事件、环境与气象条件的变化等原因而发生改变。例如发生事件时,车道数目暂时减少,车道通行能力下降,原来的交通模型不再能适应这种情况,必须作某些修改才能求解出适应现时异常情况的最优控制规律。只有及时检测到事件发生,并适当地调节模型才能使控制具有自适应能力。第二是可靠性问题。上述集中控制系统中心计算机一旦发生故障就会造成全线入口调节失灵的局面。第三,求得的最优控制是开环控制规律,即是一些时间序列,不是交通反馈控制,因而抵抗外界扰动及内部参数变化的性能比较弱,即鲁棒性较差。

3. 解决集中动态控制存在的三个问题的基本思路。解决集中动态控制存在的问题可主要从两个方面入手:

(1)线性化次最优控制。就是先求解稳态最优控制问题,得出交通状态的标称点,把系统非线性模型在标称点附近线性化,得到一个近似的线性状态方程;构成一个二次型性能指标,力图让系统状态保持在标称点附近;于是动态控制问题简化为一个线性二次型(线性调节器)问题,解决如上一节所介绍的那样,比非线性最优控制计算要简便得多。当交通模型、参数、交通需求等条件发生改变时,重新启动稳态优化运算,得出新的稳态工作点,重新线性化,求解线性调节器问题。这种思想可以用多层控制系统来很好地实现。最下边一层(直接控制层)实现线性调节器功能,它的稳态工作点由上位机提供,上位机需要有自适应功能以及进行稳态优化计算的功能。

(2)分散化次最优控制。即把整个大系统分解为若干个彼此独立的子系统。子系统维数低,易于求解。子系统之间本来存在关联,不是完全独立的,但我们分解时设法使这种关联并不是那样强、那么重要,从而把这种关联略去。这种解耦处理使系统的最优性有所损失,故为次最优控制。对于高速公路交通控制来说,一个入口连同上、下游相近路段即是一个子系统,用单独的控制器实行控制。该控制器同上位控制器有通信联系,上位机要下传某些原始参数供子控制器用以修正自己的控制计算。

4. 多层分散控制。

(1)多层分散控制原理。多层分散控制就是基于上述解决问题的基本思路建立起来的系统,它是目前实现大系统最优控制的一种最先进的、广泛

应用的系统结构。其采用了分解和协调的设计原则。所谓分解，就是将被控的高阶系统（即大系统）划分为若干个较低阶次的子系统，解除彼此间的耦合，使之互相独立，以便于应用最优控制设计方法设计出局部的最优控制器，这样能很好地解决维数灾难问题和可靠性问题，也可用线性化设计方法设计成反馈控制规律，系统的分解包括模型分解和性能指标分解。所谓协调，就是在局部最优的基础上考虑各子系统之间的相互作用，使各个局部控制器协调工作，达到整个大系统的最优化，并且要自动适应内部及外部条件变化。协调功能是由设在管理控制中心的全局优化控制器和自适应控制器来完成的。所以，按照分解、协调方法设计的大系统控制，在纵向结构即从不同的控制任务来讲，分为若干个不同的层次。这种系统具有分散和集中相结合特点，所以称为分散控制系统或集散控制系统。

(2)分散型交通控制系统。分散型交通控制系统的一般体系结构分为三层，即直接控制层、优化层和自适应层（如图 5—1 所示）。

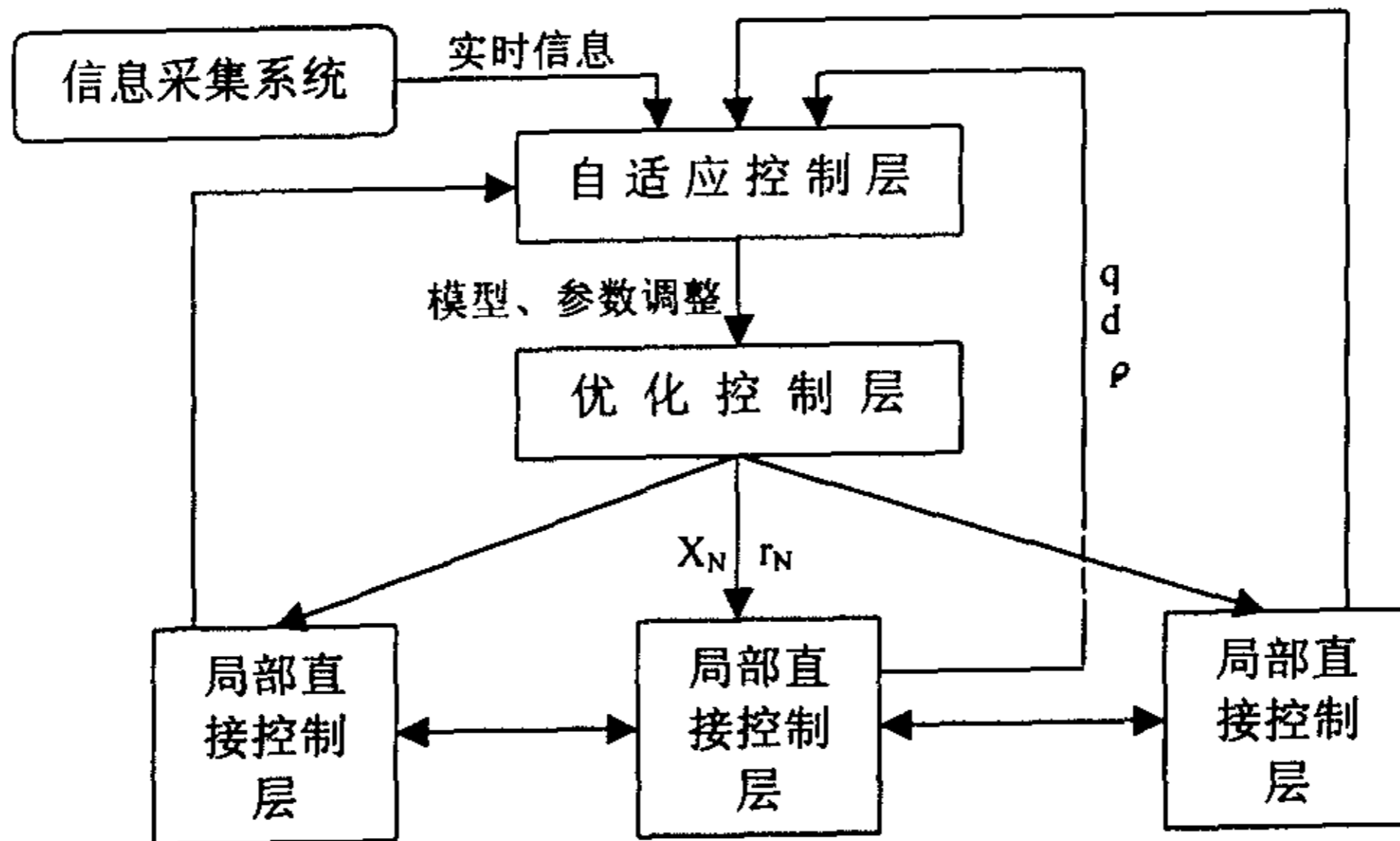


图 5—1 高速公路分散型交通控制系统体系结构

图中：

$X_N = (\rho_N, v_N, l_N)$ 为交通状态变量的标称向量。各变量符号意义同前；

r_N 为入口匝道调节率标称变量;

q 、 d 、 ρ 为流量、匝道交通需求、密度等交通信息;

模型、参数的调整主要包括对起始—到达矩阵 A_N 、交通需求 d_N 、通行能力 q_{\max} 等;

直接控制层的控制器(局部控制器)面向各个入口匝道,任务是选用适当的入口匝道调节率 $r_i(k)$ ($i=1, 2, \dots, N; k=0, 1, 2, \dots$),使该路段交通状态始终保持在期望的标称值附近,偏差越小越好,同时要求 $r_i(k)$ 也不要太多地偏离标称值,以求实现较平稳的控制。直接控制能克服较轻微的外扰所带来的不良影响,促使交通很快恢复到标称值。

优化控制层的任务是确定状态和控制的期望轨线 $X_N(k)$ 、 $r_N(k)$,下传给直接控制层,供后者应用于在线实时控制。一天当中道路交通情况在不断变化, $X_N(k)$ 、 $r_N(k)$ 应随时间不断调整,但这种变化与调整不宜过于频繁,在一个时段内优化层可简化为一个稳态控制器。

自适应控制层的任务是为优化控制层提供符合实时交通状况的模型参数与约束条件。当道路交通特性发生改变或出现较大扰动时,自适应控制计算机及时地对模型参数、约束条件进行适当调整,并下传给优化控制层,使之从新启动,计算新的期望轨线,在下传给直接控制层。自适应层要实现上述功能,必须从现场检测器获得齐全的实时交通信息。

关于各层控制模型有多种形式,具体可参阅论文参考文献。

5. 其它控制理论简介。除上面介绍的控制理论,还有一些其它的算法。比如启发式控制算法和智能控制理论。启发式控制是把理论分析与实验结果相结合而得出的控制算法,理论背景不是那么严密,但来源于实践,实用而有效。递阶智能交通控制系统主要包括控制级、协调级和组织级。控制负责识别交通模式,实时选择恰当的数学模型和性能指标进行优化计算以确定相应的匝道控制规律。协调级则通过在线学习确定各匝道控制器的协调向量,并将协调向量与慢扰预报信息发送到控制级。同时接受来自组织级和控制级的信息。

5.2.3 高速公路主线控制

5.2.3.1 主线控制目的。主线控制主要用于下述目的:

1. 保持主线交通流均匀性和稳定性。当交通需求接近道路通行能力时，主线控制可以使主线上的交通流保持均匀性和稳定性，以增加驾驶员的舒适程度，提高高速公路的利用率并预防拥挤发生；

2. 改善交通流运行状态，使其在主线的瓶颈路段上能达到最大通行能力。

3. 在不利的天气条件和发生交通事件的情况下，保证运行安全。

4. 当某些时段高速公路交通需求在方向上有很大差别或因维修施工使某一方向的通行能力减少时，需改变高速公路不同方向上的通行能力；

5. 2. 3. 2 主线控制模式及方法。主线控制模式也分为定时控制和实时控制两种模式。控制方法主要有可变限速标志、车道关闭、主线调节、可逆车道控制等。下面对实时模式下的各控制方法作一简介：

1. 可变速度控制。可变速度控制的基本原理是依据道路、交通、气候等条件对高速公路主线交通流安全高效运行的限制要求和路段交通流的流量、速度、密度的关系，确定能够允许的最大交通流量下的最佳速度和最佳密度，并据此采用可变限速标志等方法对高速公路主线交通流进行速度控制。可变速度控制的目标主要是速度指标。最佳目标速度可依据交通流状态和道路、气候等条件，通过修正的数学模型参数，来获得不同交通环境条件下的最佳速度控制目标值。由于最佳速度模型相对比较简单，这里就不再赘述。得到最佳速度值后，可依据服务水平，选择控制逻辑中设置的速度值（比如：120km/h、100km/h、90km/h 等）和自然状态（不限速、交通拥挤等）。主线可变速度控制除用可变限速标志系统实施外，还可利用可变信息系统、驾驶员信息系统、交通广播和路侧广播来实现。

2. 车道关闭。车道关闭是用禁止车辆进入高速公路的一个或多个主线车道的方法对主线交通流进行控制。作为主线控制的手段，车道关闭一般限于以下几种应用：

(1) 预告下游车道堵塞；

(2) 改善入口匝道汇合运行。在高速公路与高速公路互通式立交处，用车道关闭来减少大交通流条件下汇合运行产生的拥挤；

(3) 转移交通；

(4) 隧道控制；

3. 可逆车道控制。可逆车道控制又称变向车道控制。其目的在于改变高速公路主线不同方向上的通行能力以适应高峰时某一方向的交通需求。当主流方向与次流方向的交通量分别占交通量的 70%和 30%，主流方向交通量超过正常情况下该方向的通行能力，并且交通需求主流与次流在方向上定期或不定期地经常转换，一般被认为运用可逆车道控制是合理的。其基本方式有可逆单向通行方式（潮汐式单向通行）和可变向车道运行。

4. 主线调节控制。主线调节控制是根据输入的交通需求和下游的能力，对经由主线入口（例如收费站、隧道或桥梁入口）进入高速公路控制路段的交通流实行一些限制的方法，使该路段下游高速公路主线能保持期望的服务水平。

5.2.4 控制模型的应用分析

本节阐述的高速公路匝道及主线实时控制系统应主要应用于交通量已近饱和的高速公路。在我国目前情况下，城市高速公路（也称快速路）的交通量饱和度较大，应首先应用于此，特别是在城市高速公路系统与城市主干道系统的耦合点—匝道口实施流量控制，显得尤为迫切。至于城市间高速公路，由于目前车流饱和度一般不大，所以实施主线控制就可基本满足要求，其控制任务由传统的监控系统就可基本胜任。当然，传统监控系统的一些基本功能对高速公路交通管理系统来说也是必不可少的。

5.3 基于预测的高速公路匝道控制理论研究

5.3.1 研究的必要性

本章 5.2 节分析的匝道实时控制理论，无论是采用集中式还是分散型控制模型，都是用检测出来的交通参数来进行控制计算，然而无论系统的反应速度有多快，它的分析结果的实施总是具有一定的时间滞后性，也就是说，交通控制实施方案所采用的数据是前一个周期或前几个周期采集来的，因此，这种实时只是“相对的实时”，不是“绝对的实时”。

要解决上述问题，合适的手段之一就是要把交通预测融入交通分析、控制理论，使交通预测能为实时控制系统和动态交通分配系统提供预测信息。

5.3.2 基于预测的匝道控制理论模式

基于预测的匝道控制理论可采用以下两种模式。这里姑且称为交通需求预测模式和交通网络预测模式。

5.3.2.1 交通需求预测模式。即在对高速公路路段及出入口进行交通量检测的同时，对与高速公路相连的相邻路段上的交通量也进行检测，并以历史数据作参考、约束，对高速公路主线和匝道的交通需求作短时间的预测，并将此预测数据作为控制模型计算过程中交通需求数据 $d_i(k)$ 代入控制模型，得出控制方案（其流程如图 5—2 所示）。交通需求预测的周期应与控制模型的计算周期相同，这样就保证了交通需求数据是基于预测的真正的实时数据。

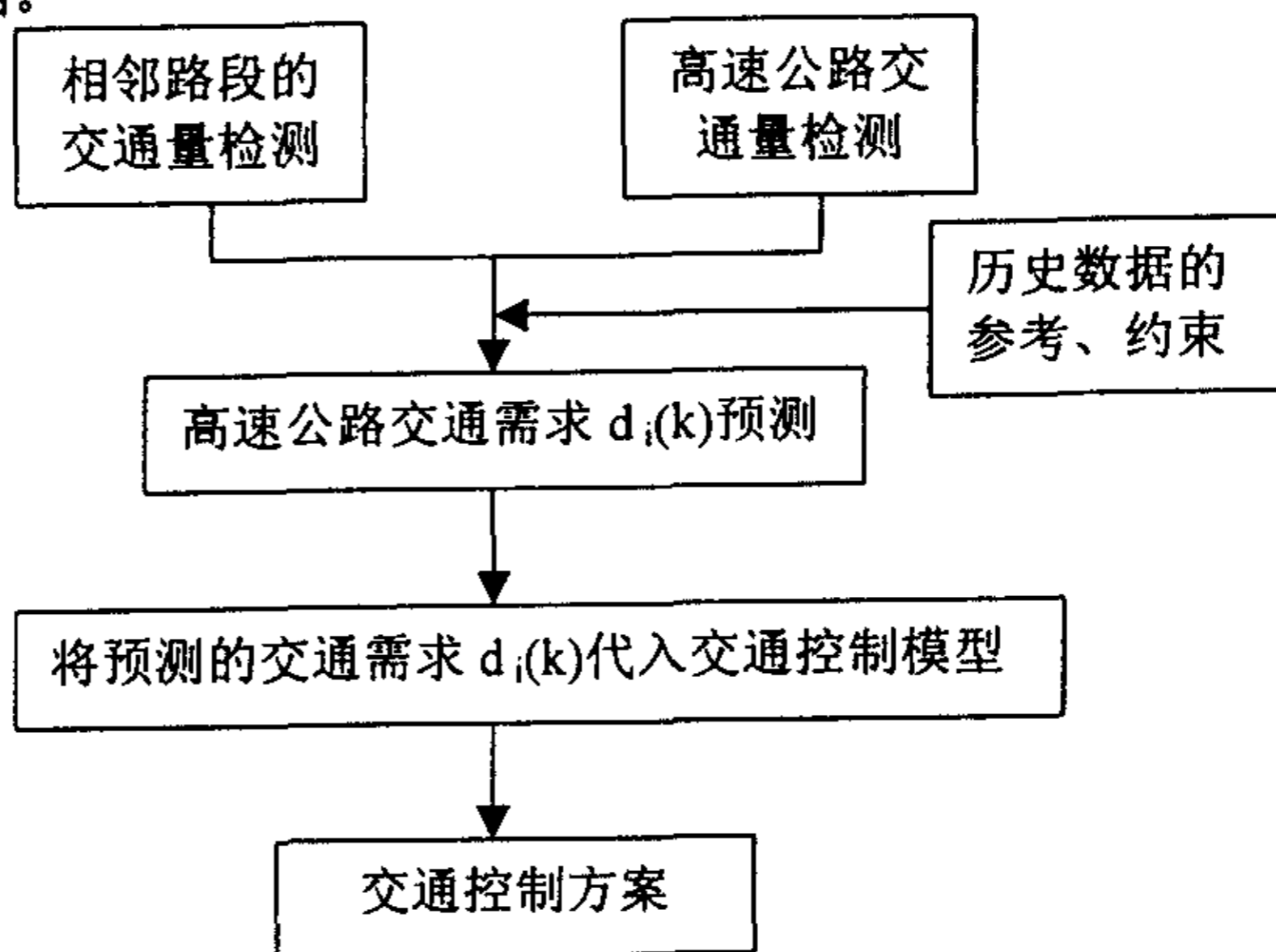


图 5—2 交通需求预测模式流程图

5.3.2.2 交通网络预测模式。交通网络预测模式的基本思想是在对高速公路及相邻道路网络交通需求进行预测的基础上，利用动态交通配流模型对高速公路的交通流分布进行预测，并以此制定交通控制方案（其流程如图 5—3 所示），变非预测情况下被动地自适应为预测后主动地适应。对于动态配流模型的研究目前还没有标准的成熟理论和实用方法，具体可参阅论文参考文献[57]、[60]等。

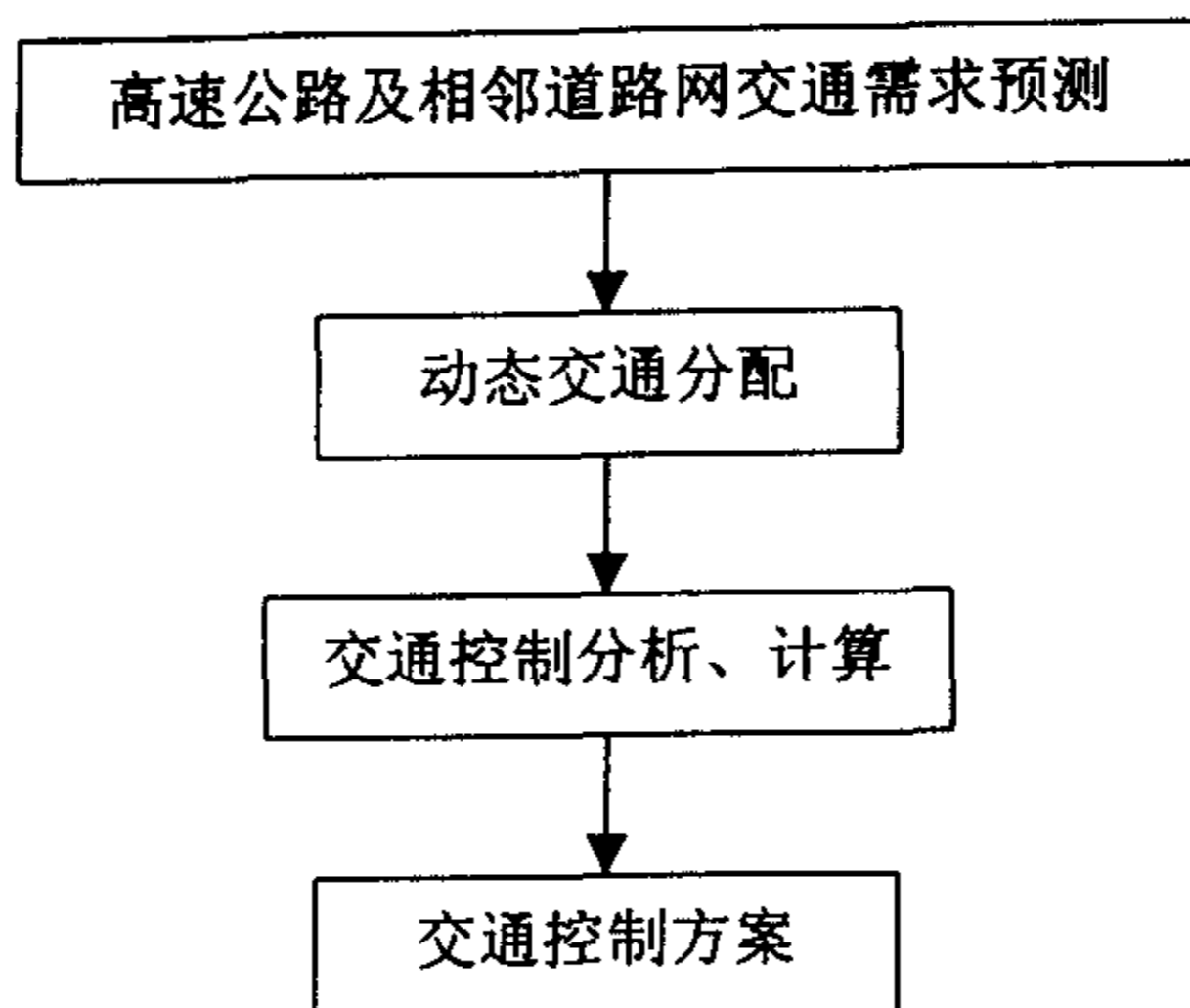


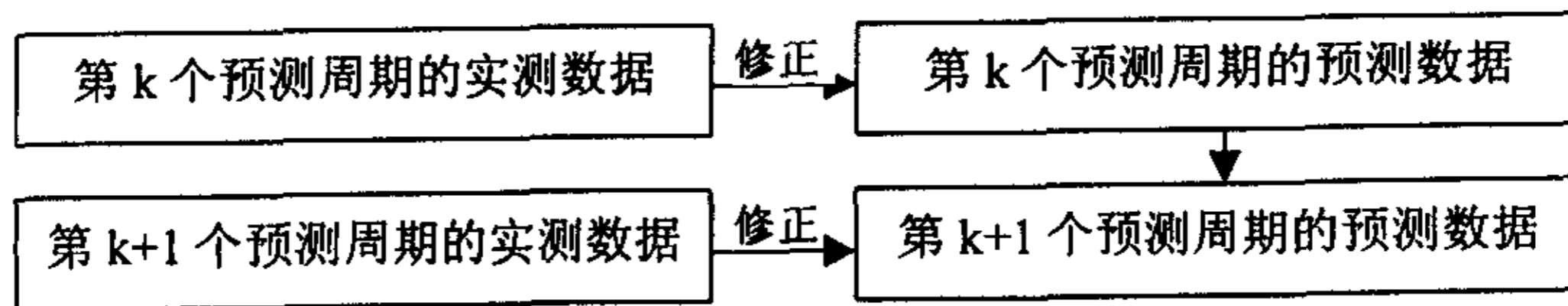
图 5—3 交通网络预测模式流程图

5.3.3 两种模式的概要分析

交通需求预测模式相对简单。由于其只对交通需求进行了预测，而对于其它交通参数及模型参数，还是用 5.2 节所提及的方法进行“实时采集”、“不断的调整”，所以，这种方法也无法克服在自适应性和鲁棒性方面存在的问题。交通网络预测模式比较复杂，由于它对整个高速公路网络的交通情况进行了预测，所以，在自适应性和鲁棒性方面要优于交通需求预测模式，但交通配流模型一直是一个没有完全解决的问题，因此，还有一个深入研究的过程。

5.3.4 预测信息的反馈分析

预测就要有误差，这是用任何预测方法都不能避免的，也是我们必须面对的。但误差的积累问题是我们能够解决的，其基本思想就是用观测到的数据更正前期预测的数据（如图 5—4 所示），也就是说实测结果与前期预测结果相比具有优先权，这样就可以避免预测误差的积累。



5.4 事件检测理论与应用

高速公路事件检测可分为人工监视和自动检测。人工监视包括闭路电视和公路巡逻车等,运行成本较高,受时间和天气的影响较大,检测时间长,检测率低。因此,各国纷纷积极研究开发具有运行成本低、不受天气和时间限制且检测率高的自动事件检测系统。本文主要就是对自动事件检测系统的理论与应用问题进行研究。

5.4.1 事件检测理论及算法

5.4.1.1 事件检测理论。自动事件检测系统是根据实时采集的数据信息,由算法自动判断是否发生交通事件,达到提高运输效率的目的。其主要运用了模式识别、统计预测两种理论。基于模式识别方法的检测原理是通过一个或多个交通参数来区分异常状态和非异常状态,它不涉及交通流模型,实际上是一些有效的经验公式。比较有代表性的有加利福尼亚算法、算法 7 和 McMaster 算法。基于统计预测方法的检测原理是建立在实时采集的数据基础上,根据采样值预测下一次采样值,将预测值与采样值相比较,判断是否有拥挤发生。该方法难点在于如何滤波、预测与选择阈值。典型算法有标准正常偏差法和平滑算法。

5.4.1.2 事件检测算法。论文这里只介绍加利福尼亚算法,其它算法可参见论文参考文献。加利福尼亚算法由美国加利福尼亚州运输部开发,并得到广泛承认和应用,一般为评价新算法的参考。该算法属双截面算法,它基于事件发生时上游截面占有率将增加,下游检测截面占有率将减少这一事实。它用一分钟平均占有率 $OCC(i, t)$, 即在时刻 t 从检测站 $i=1, 2, \dots, n$ 得到的平均占有率,按下面三个条件,判断事件是否发生:

$$OCCDF = OCC(i, t) - OCC(i+1, t) \geq K_1 \quad (\text{式5-16})$$

$$OCCRDF = \frac{OCC(i, t) - OCC(i+1, t)}{OCC(i, t)} \geq K_2 \quad (\text{式5-17})$$

$$DOOCCTD = \frac{OCC(i+1, t-2) - OCC(i+1, t)}{OCC(i+1, t-2)} \geq K_3 \quad (\text{式5-18})$$

如果上面三个条件都满足,则判断事件发生(算法见图 5—5):

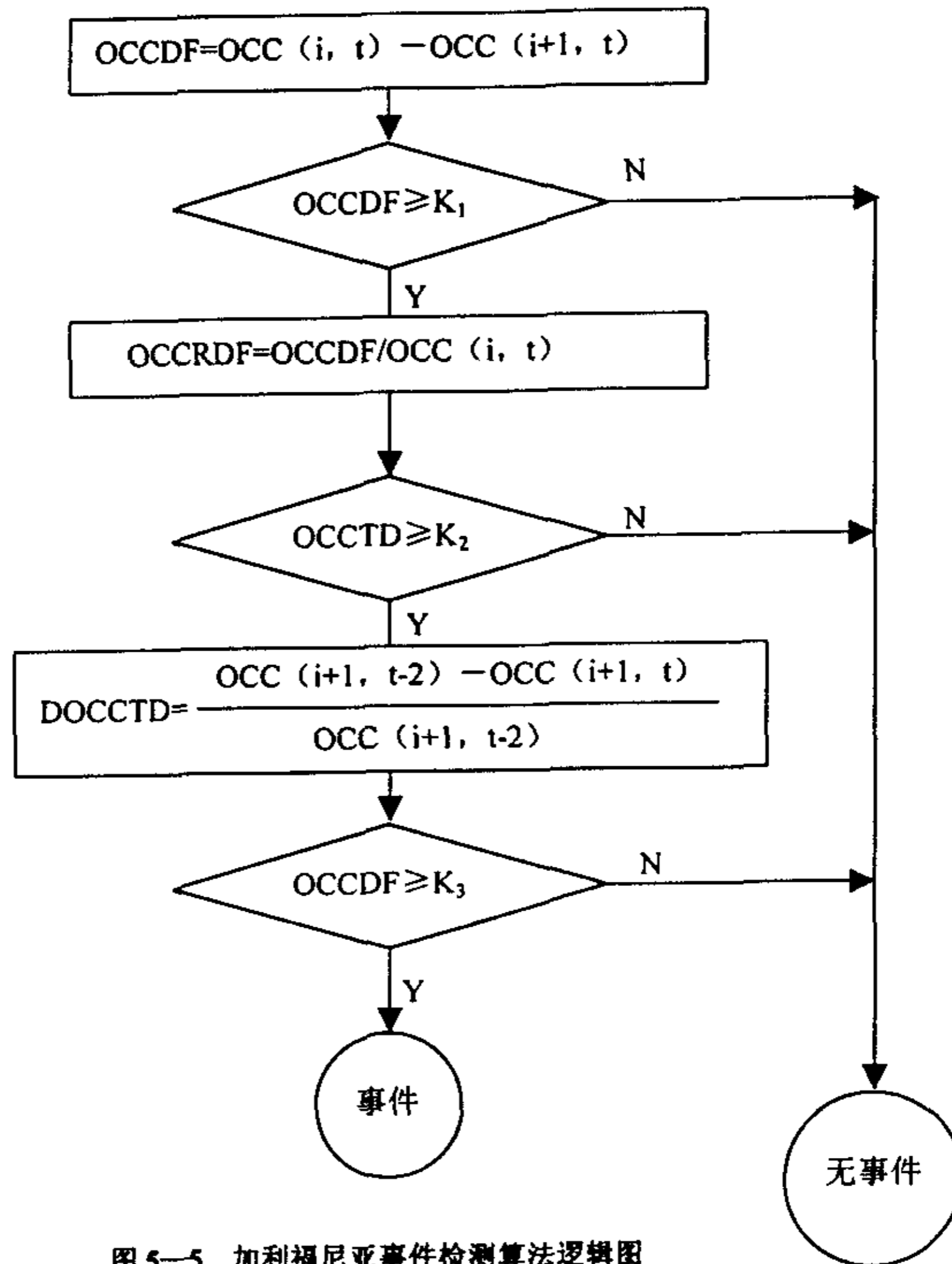


图 5—5 加利福尼亚事件检测算法逻辑图

加利福尼亚算法的指标如表 5—1 所示：

表 5—1 加利福尼亚算法的指标

组别	门限值			检测率 %	误报率 %	平均检测 时间 (min)
	K ₁	K ₂	K ₃			
1	5.3	0.308	0.061	82	1.294	0.55
2	5.8	0.340	0.112	71	0.901	1.99
3	7.7	0.498	0.049	61	0.309	3.33

5.4.2 事件检测理论的应用

论文采用面向对象的编程思想，以 Visual C++为编写工具，开发了高速公路事件检测系统分析软件。软件界面除了具有 Windows 界面常用菜单外，还设置了算法选择、数据导入、参数设定、事件检测、事件检测地点等菜单。算法选择菜单可选择加利福尼亚算法、算法 7 和 McMaster 等算法；数据导入接口应与信息处理系统数据平台相连，从系统数据平台得到事件检测数据，软件还提供了人工输入接口，用于软件及模型的检测；参数设定菜单便于管理员重新设定检测参数；事件检测地点则提供了警告事件发生的位置，以便于管理员通过其它方式（如视频监视系统）确认。软件的部分界面见论文附录。

结 论

经论文从不同层面对高速公路交通管理系统分析、研究,可以得到以下基本结论:

1. 高速公路交通管理系统作为现代化的管理、控制系统,对其进行深入、细致的研究与开发是十分必要的。从高速公路交通管理系统的功能上看,它在缓解高速公路特别是城市高速公路的交通拥挤、提高道路有效利用率和交通流量、减少交通事故发生率以及因交通事故造成的出行时间和经济等方面的损失、保护道路交通环境等方面起着重要的作用,因此,对其研究与开发有着重要的现实意义;从其研发手段上看,高速公路交通管理系统的研究与开发要运用系统工程、运筹学、控制论、计算机技术、信息网络技术等多学科理论和技术,所以,它的研究、开发对推动上述学科之间的融合、创新有深远的理论意义。

2. 高速公路交通管理系统是现阶段对拥挤的高速公路进行管理和控制的合适选择。在我国目前情况下,城市间高速公路车流饱和度一般不大,所以实施主线控制就可基本满足要求,其控制任务由高速公路机电工程的监控、通信系统就可基本胜任。而在城市高速公路(或快速路),交通量饱和度一般较大,所以,应建立更先进的系统来对高速公路进行管理和控制。由于目前全面开展 ITS 研究的条件尚不成熟,所以应在统一的战略规划下分布实施、逐步到位,而高速公路交通管理系统就是在对监控、通信和部分收费系统功能及资源重新界定、整合的基础上,建立起来的功能更完善、解决问题的层次更深入、反应能力更强、具有 ITS 特征的先进的交通管理系统,它是高速公路交通管理与控制功能实现的发展方向。因此,建立基于 ITS 技术的高速公路交通管理系统是目前情况下缓解拥挤高速公路交通状况的合适选择。

3. 对于高速公路交通管理系统的建设和开发,要充分作好系统分析工作。高速公路交通管理系统是一个复杂的大系统,这就要求开发者用系统的观点来分析、解决问题。论文从系统目标定位与概念设计,系统功能、建设需求分析,系统数据流程分析,系统数据管理方法、目标及措施,数据库系统的结构设计,系统网络拓扑及设备分析、设计,软、硬件需求等

多个技术层面对高速公路交通管理系统进行了深入、细致的研究。为高速公路交通管理系统的硬件规划、建设指明了方向，对其系统软件的全面、深度地开发有很好的参考价值。

4. 对高速公路系统控制理论研究虽取得了一定的进展，但还需进一步深入。高速公路系统控制理论是高速公路交通管理系统的核心理论，也是高速公路交通管理系统对交通流合理引导、限制和优化的科学依据。论文在综合分析了高速公路入口匝道实时全局最优控制和实时分散控制两种控制方法的基础上，提出了基于预测的高速公路匝道控制理论思想，并对理论模式及相关问题进行了研究。由于动态交通分配等一些问题的存在尚未完全解决的难点，所以，对高速公路系统控制理论，包括基于预测的匝道控制理论还需进一步地深入研究。

5. 在完善高速公路交通管理系统机电设备及系统硬件的同时，还要作好系统软件的规划与开发。在高速公路交通管理系统开发过程中，要用软件工程的思想对系统的软件进行统筹开发，并以统一规划、统一标准、统一设计、统一数据接口的原则系统地完成开发工作。高速公路交通管理系统不但要具有强大的信息服务功能，还应使其具有决策支持等信息增值服务的能力。论文除了对系统部分软件进行了设计之外，还开发了事件检测系统分析软件。该软件采用面向对象的编程思想，以 Visual C++ 为编写工具，界面友好。系统能自动提醒交通管理者可能发生的事件，交通管理者可利用视频监视系统或巡逻车对这种警告进行确认。本部分内容需要进一步完成的工作就是开发具有决策支持能力的事件反应专家系统，它应该可以根据一定的规则处理现有交通情报。这些规则就是把各有关单位交通专家的经验和对事件的处理办法汇集起来，经过处理后输送到计算机中形成知识库，试图达到在同样公路交通环境下交通管理专业人员亲自处理事故的效果。如事件检测系统检测到事件发生，并通过交通管理者确认，事件反应系统将会迅速提出一套处理方案供交通管理人员参考，为领导决策提供依据。

6. 加快高速公路管理信息系统中的共用信息平台的建设，为高速公路交通管理系统的高效运行创造良好的外部环境。高速公路管理信息系统的共用信息平台是高速公路各管理部门之间进行数据信息交换的载体。通过

它，高速公路交通管理系统可以方便地从高速公路其它管理系统（比如道路养护管理系统）获取数据信息，并将交通数据传给这些系统，为它们的决策提供依据，以促进各方面管理水平的提高。

致 谢

本论文是在导师熊天文教授的严格要求和精心指导下完成的。导师诲人不倦及严谨治学的精神使学生收益非浅，在此，我衷心地感谢导师多年来对我无微不至的关怀。

在我攻读硕士学位和撰写论文期间，还得到了交通运输学院众多位老师的帮助，在此一一表示感谢！

感谢家人的理解与支持。

参 考 文 献

1. 中国交通年鉴编辑委员会. 中国交通年鉴 1999. 中国交通年鉴社编辑出版发行, 1999
 2. 国家统计局. 中国统计年鉴 2000. 中国统计出版社, 2000
 3. 杨冰等编著. 智能运输系统. 中国铁道出版社, 2000
 4. 高速公路丛书编委会. 高速公路交通工程及沿线设施. 人民交通出版社, 1999
 5. 荆便顺. 道路交通控制工程. 人民交通出版社, 1995
 6. 刘伟铭主编. 高速公路系统控制方法. 人民交通出版社, 1998
 7. 项贻强. 高速公路规划与管理. 人民交通出版社, 1999
 8. 冯博琴主编. 软件技术基础. 人民邮电出版社, 2000
 9. 郑阿奇主编. VisualC++实用教程. 电子工业出版社, 2000
 10. 高速公路丛书编委会. 高速公路运营管理. 第二版. 人民交通出版社, 1999
 11. 王利, 张玉祥、杨良怀编著. 计算机网络实用教程. 清华大学出版社, 1999
 12. 薛华成主编. 管理信息系统. 第三版. 清华大学出版社, 1999
 13. 谭浩强. C 程序设计. 清华大学出版社, 1991
 14. 《运筹学》教材编写组. 运筹学. 第二版. 清华大学出版社, 1990
 15. 杨启帆, 方道元编著. 数学建模. 浙江大学出版社, 1999
 16. [美]William Stallings 著. 局域网与城域网. 毛迪林, 张琦, 楚春波译. 第六版. 电子工业出版社, 2001
 17. [美]Dusan Petkovic 著. SQL Server2000 基础教程. 吕静骅、史进译. 清华大学出版社, 2001
 18. 李塔垣, 李丁. 省级高速公路网监控通信系统规划方法的研究. 公路交通科技. 2000, 17 (3)
 19. 张辉. 高速公路综合信息管理系统的开发与应用. 华东公路. 2000, 5
 20. 胡大伟, 郭晓汾. 智能运输系统 (ITS) 的发展与对策. 西安公路交通大学学报. 2000, 1
 21. 陈唐民. 汽车运输学. 人民交通出版社, 1998
-

22. 贺国光. 智能交通运输系统的若干重要问题. 中国交通运输协会. 中国智能运输系统技术与市场研讨会论文集. 中国交通运输协会, 1998
 23. 史其信等. 中国 ITS 发展战略构想. 公路交通科技. 1999, 3
 24. ITS America and ITS Canada. ITS : Smarter , Smoother , Safer. TORONTO99, 1999
 25. 交通部科技信息研究所. 世界主要国家交通统计资料 (1990-1996) . 交通部科技信息研究所, 1998
 26. 冯蔚东, 贺国光, 刘豹. 交通流理论评述. 系统工程学报. 1998, 3 (1)
 27. 王亦兵, 韩曾晋, 贺国光. 城市高速公路交通控制综述. 自动化学报. 1998, 7 (1)
 28. B Burmeister , A Haddadi , G Matylis. Applications of multi-agent systems in traffic and transportation. IEE Trans on Software Engineering. 1997, 144
 29. C V Goldman, J S Rosenschein. Mutual supervised learning in multi-agent systems. Distributed AI[M] . 1991
 30. 崔叙, 熊天文. 编组站阶段计划 IDSS 的研究. 铁路计算机应用. 2001, 10 (3)
 31. 王亦兵, 罗赞文, 韩曾进, 史其信. 城市高速公路交通中的控制问题. 中国公路学报. 1997, 10 (3)
 32. Wattleworth J A. Peak Period control of a freeway system-some theoretical investigations, Highway Res. Rec, 89, 1995
 33. Prisini T. Neural network for minimization of traveling time on freeway systems. The 7th IFAC/IFORS Symp. on Transp Systems : Theory and Applications of Advanced Technology, 1994
 34. 谭满春, 徐建闽, 毛宗源. 高速公路交通流的建模与入口匝道最优控制. 中国公路学报. 2000, 13 (4)
 35. 姜紫峰, 荆便顺, 韩锡令. 高速公路入口匝道控制的仿真研究. 中国公路学报. 1997, 10 (2)
-

-
36. 王亦兵, 韩曾晋, 史其信. 高速公路交通流建模. 系统工程学报. 1998, 13 (2)
 37. MARKOS PAPAGEORGIOU , IEANMARC BLOSSEVILLE , HABIB HAJSALEM. Modelling and realtime control of traffic flow on the southern part of boulevard peripherique in Paris: part I: modelling[J] .Transportation Research A, 1990, 24A (5)
 38. MARKOS PAPAGEORGIOU, HARIB H S, JEAN M B. ALINEA: A local feedback control law for on-ramp metering[R] .Transportation Research Record 1320 , TRB , National Research Council , Washington, D.C. , 1991
 39. RONG SHIYANG , MAZE T H. Freeway surveillance and control system using simulation model[J] .Journal of Transportation Engineering, 1989, 115 (4)
 40. Kouiss Khalid, Pierreval Henri, Nasser Mebarki. Using multi-agent architecture in FMS for dynamic scheduling[J] .J of Intel Manuf, 1997, 8 (1)
 41. Lee C Y, Piramuthu S, Tsai Y K. job shop scheduling with a genetic algorithm and machine learning[J] .Int J of Prod Res, 1997, 35 (4)
 42. 张亚平, 张起森. 高速公路速度—流量模型研究. 中国公路学报. 2000, 13 (3)
 43. 美国交通研究委员会, 任福田等. 道路通行能力手册. 建筑工业出版社. 1985
 44. HURDLE V F , DATTA P K. Speeds and flows on an urban freeway. Some measurements and a hypothesis[R], 1983
 45. FRED L. HALL , FRANK O. MONTGOMERY. The investigation of an alternative interpretation of the speed-flow relationship for U.K. motorways[J] .Traffic Engineering Control, 1993, 34 (9)
-

46. 张亚平等. 道路交通研究中的数据采集与处理方法探讨. 中国公路工程. 1999, 24 (3)
 47. 荣建等. 基于高速公路通行能力分析的车辆分类研究. 中国公路学报. 1999, 12 (3)
 48. 张亚平, 张起森. 控制出入公路车辆折算系数研究. 长沙交通学院学报. 2000, 16 (1)
 49. Ferrari P. Tbt mstability traffic. Transp. Res, 1994, 28
 50. Smulder S A. Application of stochastic control concepts to freeway traffic control problem. Proc. 6th IFAC/IFIP/IFORS Conf. on Control, Computers, Communications in Transp. Systems, Paris, 1989
 51. Febbraro A D .A new model for an integrated urban transportation network. The 7th TFAC/IFORS symp. on Transp. Systems: Theory and Applications of Advanced Technology, 1994
 52. Forbes G J. The applicability of catastrophe theory in modelling traffic operations. Transp, Res. 1990, 24A(5)
 53. 戴世强. 交通流动力学. 自然杂志. 1997, 19 (4)
 54. 杨晓光, 杨佩光, 饭田恭敬. 关于城市高速道路交通动态控制问题的研究. 中国公路学报. 1998, 11 (2)
 55. Xiao-guang Yang, Yasunori Iida, Nobuhiro Uno, Pei-kun Yang. Dynamic traffic Control System for Urban Exprrssway with Constraint of Off-ramp Queue Length, Third Annual on Intelligent Transport Systems, Orlando, Florida, 1996, 10
 56. 李硕, 张祥. 高速公路主线流量对入口加速车道设计影响分析. 中国公路学报. 2000, 13 (2)
 57. 王炜, 石小法. 预测型动态交通网络配流模型. 系统工程学报. 2001, 16 (1)
 58. Friesz T L, Bernstein D, Stough R. Dynamic systems, variational inequalities and control theoretic models for predictig
-

-
- time-varying urban network flows[J]. Transportation Science, 1996, 30(1)
59. Friesz T L, Bernstein D, Mehta N J, Tobin R L, Ganjalizadeh s. Day-to-day dynamic network disequilibria and idealized traveler information systems[J]. Operations Research, 1994, 42(6)
60. 陆化普, 史其信, 殷亚峰. 动态交通分配理论回顾与展望. 公路交通科技, 1996, 13(2)
-

附 录

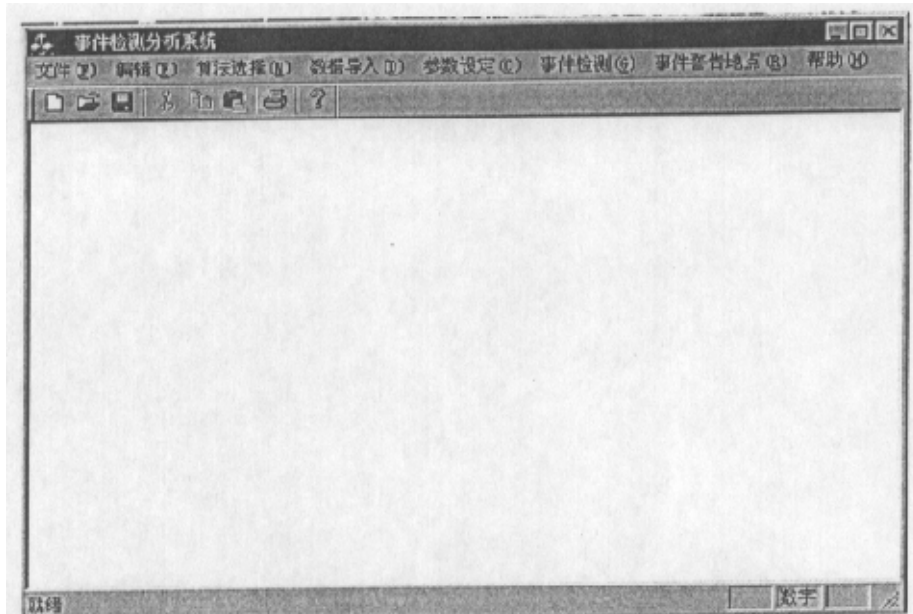


图1 软件基本界面

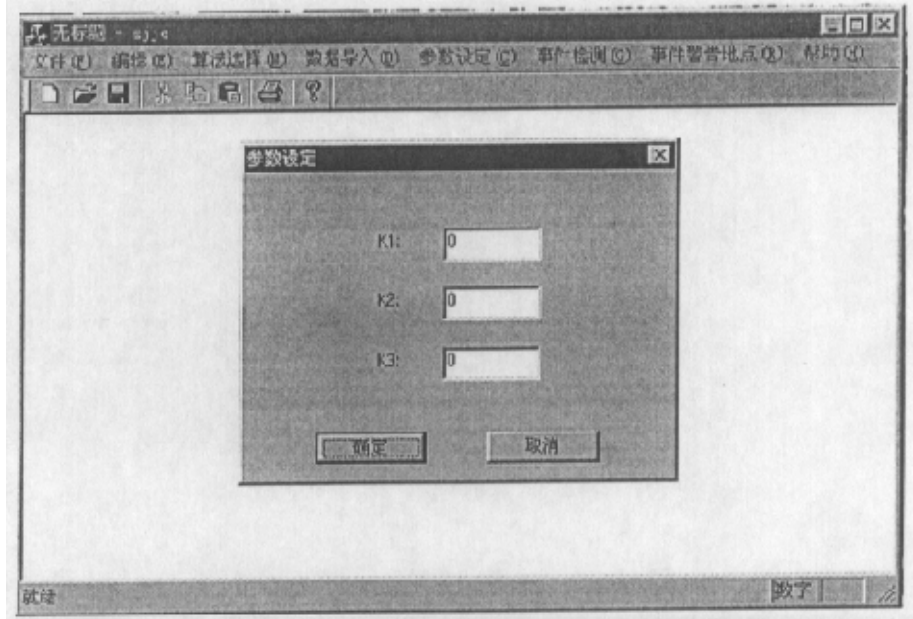


图2 参数设定界面

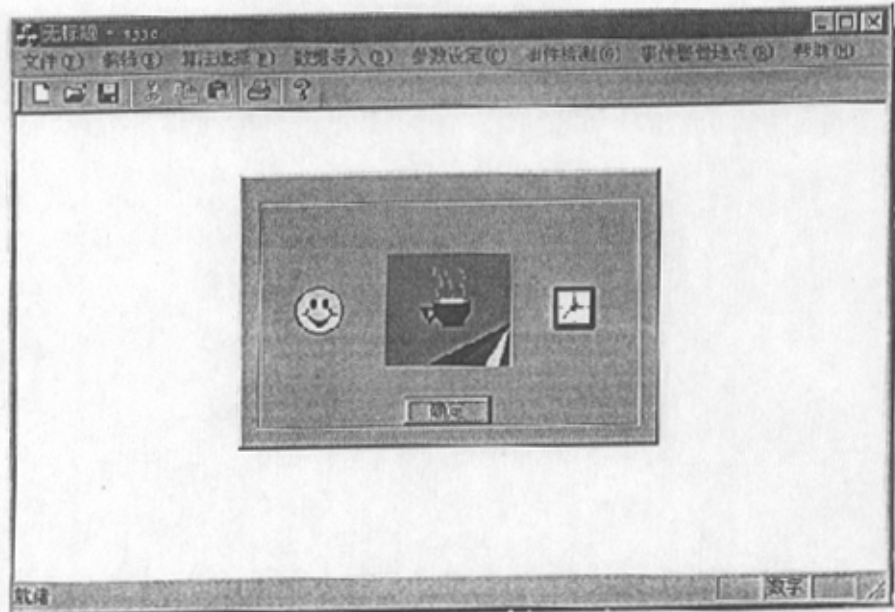


图3 无检测事件发生界面

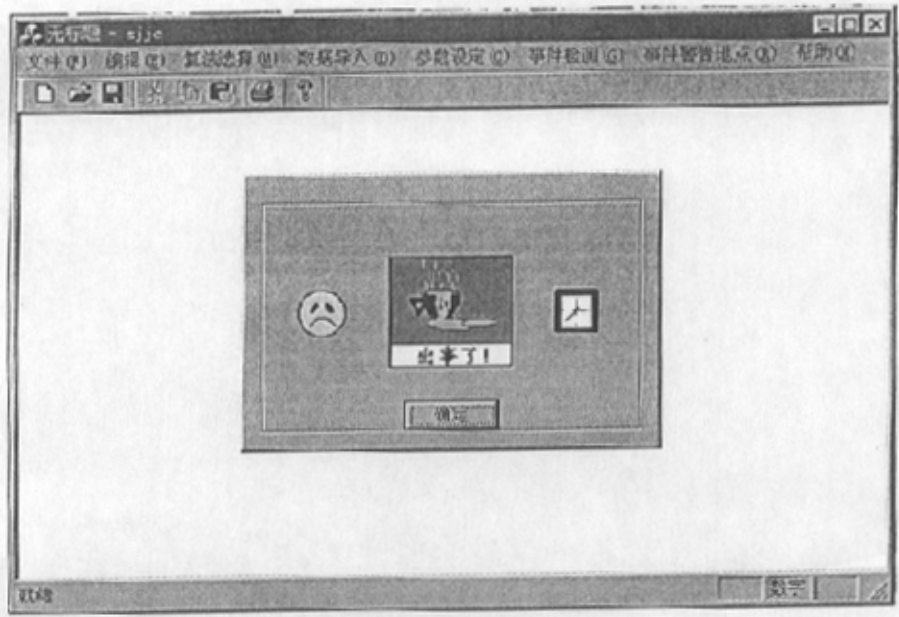


图4 事件警告界面

攻读硕士学位期间发表的论文及科研成果

1. 崔叙, 熊天文. 编组站阶段计划 IDSS 的研究. 铁路计算机应用. 2001, 10(3)
 2. 崔叙主研. 高速公路项目建设及合理工期研究. 四川省交通厅课题. 2000, 3月-12月
 3. 高世廉, 罗霞, 崔叙主研. 成都市城市北出口交通组织方案研究. 成都城北出口高速公路有限公司, 成都市交通管理局课题. 2001, 9月-12月
-