



新一代智能化交通控制系统 理论及技术

袁建华 姚丹亚 | 等著
张雷元 李志恒

Next Generation of
Intelligent Traffic Control System:
Theory and Technology



化学工业出版社

新一代智能化交通控制系统 理论及技术

袁建华 姚丹亚 | 等著
张雷元 李志恒

Next Generation of
Intelligent Traffic Control System:
Theory and Technology



化学工业出版社

· 北京 ·

本书提出了适合我国大中城市交通特点的新一代交通控制系统结构、控制模式自适应转换方法、交通流优化与智能分析理论技术以及新一代交通控制系统技术标准体系,为实现跨系统、跨设备的资源和信息整合、协同控制消除了技术障碍。

本书共分7章。第1章绪论介绍道路交通信号控制技术发展历程、特点和发展趋势;第2章介绍交通控制相关状态获取技术;第3章介绍混合交通流控制策略和算法;第4章介绍大范围战略控制技术;第5章介绍交通网络在线仿真技术,提出交通能量概念;第6章介绍嵌入式交通信号控制机设计技术;第7章介绍智能化交通控制系统标准化技术。

本书可供道路交通管理部门、建设部门、科研机构和生产厂家等参考,也可作为交通类相关专业学生的教材或参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

新一代智能化交通控制系统理论及技术/袁建华等著. —北京:化学工业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-122-20934-4

I. ①新… II. ①袁… III. ①交通控制-智能控制 IV. ①U491.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第127784号

责任编辑:郝英华 唐旭华

装帧设计:韩 飞

责任校对:王 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限公司

装 订:三河市永新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张12 字数250千字

2014年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

序



交通是现代社会和经济发展的基础，人类社会的进步与交通息息相关。随着我国经济的快速发展和城镇化进程的加快，机动车辆迅速增加，人们出行更加频繁，我国的城市交通状况日益严峻，产生的交通问题也越来越严重。城市交通堵塞不仅造成交通事故频发、出行时间增加，而且带来了能源的浪费以及环境污染的加重。城市交通问题已成为困扰城市发展的重要问题之一，严重影响我国经济的持续、快速、健康发展。

解决交通问题的传统办法是修建道路，提高路网密度和道路通行能力。然而，这种方式受到土地资源和资金的限制，特别是在一些城市的中心城区，城市布局结构已经成型，在现有条件下很难再大规模地新建道路。国外发达城市的实践经验表明，交通问题不是单单靠修路、扩大交通容量就能解决的，道路容量的增加永远也跟不上交通需求的增长。在现有道路条件下，提高交通控制和管理水平，最大限度发挥道路设施潜能，挖掘道路通行能力，是解决交通问题的有效方法。

我国在“七五”期间开始了交通信号控制系统研究开发的试验应用，北京、上海、深圳等大城市引进了 SCOOT、SCATS、KYOSAN 等国外先进的交通控制系统，取得较好的应用效果。20 世纪 90 年代初，公安部交通管理科学研究所、同济大学、原电子部二十八所等单位合作推出了我国第一个具有自主知识产权的城市交通信号控制系统 HT-UTCS，至今已在全国 20 多个城市进行了应用。近年来，随着国内交通控制技术逐步成熟，一些厂家也纷纷推出了具有自主知识产权的交通信号控制系统，如海信 HiCon、舒达 SUATS、浙江中控 Intellific 等。国内这些系统吸收了国外先进的控制理念和技术，结合了我国混合交通流特点，具有较强的适应性。目前，全国共有 300 多个城市实现了交通信号区域联网控制或主干道“绿波带”控制。北京、常州等城市建设了大容量公交车辆优先信号控制系统，提高公交车辆的

通行效率。交通控制技术的应用，对科学组织交通、提高现有道路通行能力、缓解交通堵塞起到了重要作用。

“十一五”期间，国家继续加大对交通控制系统理论及技术的研究支持力度，首次在国家高技术研究发展计划（863）中设立“新一代智能化交通控制系统”专项研究课题，组织科研院所、大专院校和企业共同协作攻关。目前，形成了新一代交通控制系统理论及技术体系，研发了具有我国完全自主知识产权的新一代交通控制系统软硬件产品，通过在国内一些大中城市的示范应用，取得了良好的效果。与此同时，交通控制技术的标准化工作也得到长足发展，已经建立标准化技术体系，从交通信号机到控制系统出台了一系列技术标准，有力地规范和指导了交通控制产品的生产、应用。

当前和今后一个时期，推广应用先进适用的交通信号协调控制系统，实现公交车辆的优先通行控制，仍将是解决我国城市交通拥堵问题的重要技术手段。本书的出版将为各地建设和应用新一代交通控制系统提供理论指导和技术参考。

清华大学 张毅教授
2014 年 8 月

前言



新一代智能化交通控制系统是交通控制技术发展到目前阶段的产物,在传统的区域交通控制系统技术基础上实现了集成创新,重点解决了大范围战略交通控制、基于空间信息系统和交通仿真的区域协调决策支持、智能化本地交通控制等方面的基础理论和关键技术。系统具有大范围、多模式和区域化的交通行为分析及交通流控制策略与管理模式生成和评估仿真能力,能够满足大中城市对大范围路网、主干道路和重要交通节点的交通协调控制。新一代智能化交通控制系统是 ITS 的重点研究领域,本书重点论述新一代智能化交通控制系统理论和技术,包括交通控制基础理论、控制策略模型以及关键技术实现。

本书共分 7 章。第 1 章为绪论,介绍道路交通信号控制技术发展历程、特点和发展趋势,提出新一代智能化交通控制系统技术框架。第 2~6 章是本书的主体部分。第 2 章介绍交通控制相关状态获取技术,从实时交通流数据采集、融合到分析处理等层面提出技术实现途径。第 3 章介绍混合交通流控制策略和算法。在分析和评价灯控交叉口各种交通行为特征基础上,给出混合交通流条件下交通控制的策略和算法,控制策略包括一种四级分布式控制结构、控制模式自适应转换技术、多关键路口优化控制技术以及公交优先控制策略;优化算法包括单路口多目标优化算法、干线协调控制算法和区域协调控制算法。第 4 章介绍大范围战略控制技术,阐述城市道路网络动态纵向分层、横向区域划分等方法,探讨如何实现大范围战略控制。第 5 章介绍交通网络在线仿真技术,提出交通能量概念,给出交通网络在线仿真模型,阐述交通控制仿真优化技术。第 6 章介绍嵌入式交通信号控制机设计技术,包含基于高性能板上系统和总线结构的交通信号控制主板设计、基于高精度电流电压检测的信号灯控制板设计、多模式交通流参数检测板设计。第 7 章介绍智能化交通控制系统标准化技术,简述了道路交通信号控制机、道路交通

信号控制机与检测器间的通信协议、交通信号机与上位机间的数据通信协议的标准编制情况、内容、适用范围。

本书第1章由袁建华编写，第2章由张雷元、树爱兵、袁建华、赵永进编写，第3章由袁建华、赵永进、姚丹亚、李志恒编写，第4、5章由姚丹亚、李志恒编写，第6章由何广进、方学新、胡家彬编写，第7章由袁建华、徐棱、高玉春编写。本书根据主要撰写人承担完成的国家高技术研究计划（863计划）“新一代智能化交通控制系统技术”研究成果，并结合实践经验整理而成。

本书的撰写得到了公安部交通管理科学研究所、清华大学、北京市公安局公安交通管理局交通科研所等单位领导和有关同志的指导和关心，在此向所有支持人士一并表示衷心感谢！

交通控制新技术、新理论还处于不断发展与创新过程中，本书的一些内容也需不断进行完善。

由于水平有限，难免存在疏漏，敬请各位领导、同行和读者批评指正。

著者

2014年8月



第 1 章

绪论

1

- 1.1 新一代智能化交通控制系统概述 1
- 1.2 新一代智能化交通控制系统技术框架 2

第 2 章

交通控制相关状态获取技术

5

- 2.1 概述 5
- 2.2 新型交通流实时采集技术与方法 5
 - 2.2.1 基于浮动车数据的交通流实时采集技术 5
 - 2.2.2 基于视频图像处理的交叉口交通流实时采集技术 18
- 2.3 道路多源交通流分析和融合技术 21
 - 2.3.1 多源交通流数据级融合技术 22
 - 2.3.2 交通流信息预测技术 27
 - 2.3.3 道路交通状态识别技术 33

第 3 章

混合交通流控制策略和算法

38

- 3.1 概述 38
- 3.2 混合交通流交通行为分析与评价技术 39
 - 3.2.1 灯控路口违章过街行人和非机动车行为特性分析 39
 - 3.2.2 灯控路口直行机动车流行为特性分析和应用 42
 - 3.2.3 灯控路口右转机动车流行为特性分析和应用 50
- 3.3 智能化区域交通协调控制技术 67
 - 3.3.1 分布式四级控制结构 67
 - 3.3.2 控制模式自适应技术 69
 - 3.3.3 多关键路口优化技术 72

3.3.4	公交优先控制策略	74
3.3.5	单路口多目标优化算法	80
3.3.6	干线协调控制算法	84
3.3.7	区域协调控制算法	93

4.1	概述	97
4.2	城市道路网络动态纵向分层技术	97
4.2.1	城市道路网络纵向分层 结构模型	97
4.2.2	城市道路网络分层数据流模型	102
4.3	城市道路网络横向区域划分技术	107
4.3.1	交通控制子区划分影响因素	107
4.3.2	交通控制基本参数	109
4.3.3	交通控制子区划分基本参数	109
4.3.4	基于请求响应的横向区域 划分技术	112
4.3.5	基于超图分割的横向区域 划分技术	115

5.1	概述	119
5.2	交通能量	119
5.2.1	交通能量概念	119
5.2.2	交通能量定义	120
5.3	路段交通能量模型	122
5.3.1	路段交通参数分析	122
5.3.2	单车道交通能量模型	124
5.4	路口交通能量模型	132
5.4.1	路口交通参数分析	132
5.4.2	路口交通能量模型	133
5.5	网络交通能量模型	138
5.5.1	模型定义	140
5.5.2	交通能量场概念	141
5.6	交通网络建模	144
5.6.1	网络的数学模型	144
5.6.2	网络的关联矩阵分析	146

6.1	概述	149
6.2	系统功能	149
6.3	嵌入式主控单元设计	150
6.3.1	硬件系统结构	150
6.3.2	核心处理器、总线、操作系统 选型	151
6.3.3	可编程器件的应用	153
6.3.4	多串口扩展芯片的应用	154
6.3.5	控制方式的应用	156
6.3.6	软件设计	158
6.4	负载参数的高精度数字化检测技术	161
6.4.1	高精度电流电压参数测量	161
6.4.2	数字化高精度检测电路	163
6.4.3	测量精度分析	165
6.4.4	输出回路故障检测	166
6.5	多模式交通流参数检测单元	169
6.5.1	设计原理	169
6.5.2	硬件设计	170
6.5.3	软件设计	173

7.1	概述	175
7.2	道路交通信号控制机	175
7.3	道路交通信号控制机与检测器间的 通信协议	176
7.4	交通信号机与上位机间的数据 通信协议	177

参考文献	178
------------	-----

第 1 章

绪 论

1.1 新一代智能化交通控制系统概述

道路交通信号控制技术源自 19 世纪中叶，至今大体经历了四个主要的发展阶段。

第一代机械式交通信号控制技术。主要由交通警察站在交叉路口，依靠目视心判，通过手动开关或机械拨码盘控制红绿灯点亮时间的长短。我国许多城市直到 20 世纪 70 年代仍在采用此种控制技术。这种技术完全依靠人脑在现场进行控制，控制的随意性很大。

第二代是固定配时交通信号控制技术。计算机技术开始进入交通信号控制，主要靠经验和历史交通数据脱机确定路口交通的信号周期和绿信时间，在路口由计算机技术实现自动控制，分成定周期控制和多时段控制。目前，国内外部分城市仍采用此种控制系统。定周期控制将全天分为一个时段，自动运行预置的信号周期和绿信时间。多时段则把一天的时间分成若干个控制时段，随着时间的推移，按预置的不同方案自动运行。这种技术不能“动态”响应路口的交通流量实时变化。

第三代是感应式交通信号控制技术。路口交通信号控制机根据车辆检测器测得的交通流数据来调节红绿灯信号显示时间，分为半感应控制和全感应控制。半感应控制是交叉路口仅部分方向有感应请求的感应控制方式。全感应控制是交叉路口所有方向均有感应请求的感应控制方式。

第四代是线控技术和区域交通信号协调控制技术。线控技术是把一条道路上多个相邻交叉路口的交通信号协调起来加以控制的控制方式。区域交通信号协调控制技术是把一个区域内所有交通信号联结起来进行区域协调控制的交通信号控制系统，可分成固定配时协调控制系统、方案实时选择协调控制系统和实时自适应协调控制系统。固定配时协调控制系统是根据预设的信号配时方案来对整个区



域交通实施多时段定时控制的交通信号控制系统。方案实时选择协调控制系统是对应于不同的交通状况事先配置好各类控制方案,再根据实时采集的交通流数据选取最适用的控制方案来实施交通控制的交通信号控制系统。自适应协调控制系统是根据区域内实时采集的交通数据进行联机优化控制的交通信号控制系统。

综观第四代线控和区域交通信号控制系统,其控制理论、方法和技术发展已从固定配时协调、方案实时选择协调过渡到实时自适应协调,目前正在向新一代智能化、递阶式实时自适应协调方向发展。

新一代智能化交通控制系统应运而生,着重解决体现交通控制系统的先进性、适应性,实现系统控制的多模式化、智能化、集成化、分布式、通用化和模块化。

(1) 多模式化

首先,在系统结构上采用灵活、可转换的系统结构,使系统结构更能适应交通流的区域变化;其次,在系统的目标上应根据不同的交通情况,对路口通行能力最大、总延误最小、排队长度最短等目标进行筛选和组合以确定不同的系统目标,使系统优化更具针对性;最后,在控制战略模式上,应有适应一般交通量、繁重交通量、饱和交通量和过饱和交通量的多种控制方式。

(2) 智能化

把智能交通控制理论和技术(遗传算法、模糊控制和专家知识等)融合到交通信号控制机、交通模型、优选算法和优化技术中,使交通信号控制系统的实时控制、协调能力适应智能交通系统发展的要求。

(3) 集成化

交通信号控制系统与其他交通管理业务系统、交通需求管理系统、城市停车管理系统等城市智能交通系统紧密集成,实现高度的信息共享,为交通管理者、交通规划者和交通出行者提供准确、及时、多样的信息服务。

(4) 分布式

交通控制策略、结构和功能上都要实现分布式控制,立足于“瘦中心”、“胖控制机”,把短时交通流分析处理工作和信号绿信比、时差参数等优化工作直接交给交通信号控制机去完成,增强交通控制系统的实时性、适应性和可靠性。

(5) 通用化和模块化

新一代智能化交通控制系统应立足于通用化和模块化,系统的中心控制软件、路口控制软件、交通信号控制机软硬件都要追求通用化和模块化,系统内部及其与外部的通信(中心与中心、中心与外场、外场与外场之间)都要实现通用、规范化。

1.2 新一代智能化交通控制系统技术框架

新一代城市交通控制系统是一种更新换代智能化交通控制系统,在传统的区域交通控制系统技术基础上实现了集成创新,重点解决了大范围战略交通控制调



整技术和策略、基于空间信息系统和交通仿真的区域协调决策支持技术、智能化本地交通控制技术等相关理论和技术，系统具有大范围、多模式和区域化的交通行为分析及交通流控制策略与管理模式生成和评估仿真能力。

863 城市交通控制系统技术框架如图 1-1 所示。

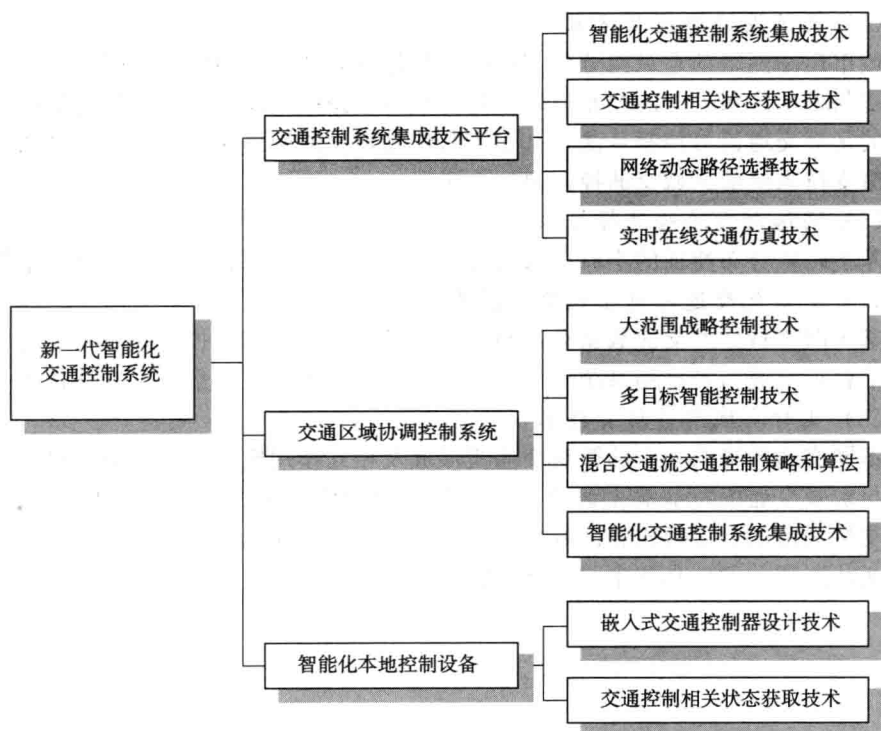


图 1-1 863 城市交通控制系统技术框架图

新一代城市交通控制系统适应我国城市交通控制与管理的需要，研究和解决了智能化交通控制的系列关键技术，从系统出发，涵盖交通信息采集、控制策略、系统集成、系统仿真等多方面的理论和技术，主要如下。

(1) 交通控制相关状态获取技术

新型交通流实时采集技术与方法，道路多源交通信息分析和融合技术，路口细粒度交通状态划分和转移技术，基于时空分布与动态迁移特性的大范围交通控制状态评价技术等。

(2) 嵌入式交通控制机设计技术

基于高性能板上系统和总线结构的交通信号控制主板设计，基于高精度电流电压检测的信号灯控制板设计，多模式交通流参数检测板设计，基于实时无线通信技术的智能信号灯设计，基于实时操作系统的智能本地控制软件平台等。



(3) 混合交通流交通控制策略和算法

混合交通流交通行为分析与评价技术, 混合交通流情况下路口交通控制实时优化算法。

(4) 多目标智能控制技术

多模式信号控制系统协调技术, 多目标智能协调控制技术。

(5) 大范围战略控制技术

城市道路网络动态纵向分层与横向区域划分方法, 基于城市道路网络动态纵向分层与横向区域划分的控制策略, 基于城市道路网络动态纵向分层与横向区域划分的区域交通信号控制算法, 基于实时仿真技术的网络交通状态预测算法, 基于决策支持系统的区域交通控制协调算法。

(6) 网络动态路径选择技术

基于时空分布特征的实时区域划分技术, 区域间动态路径选择管理技术等。

(7) 智能化交通控制系统集成技术

基于时空特性的交通数据存储与恢复技术, 多模式信号控制系统集成技术与软件平台, 交通信号控制系统软件平台, 交通信号控制系统集成标准化技术等。

(8) 实时在线交通仿真技术

不同交通环境约束下的微观交通流形成及相互作用模型, 微观交通出行行为模式与宏观交通流特征关系研究, 基于复杂交通流理论的宏观交通仿真建模技术, 支持大范围、多模式和区域化交通行为分析, 交通流控制与管理模式生成以及交通状态评估的仿真技术与软件平台。

≡ 第 2 章 ≡

交通控制相关状态 获取技术

2.1 概述

交通控制相关状态获取技术为交通系统的控制和管理提供信息基础，它采集、融合处理多种检测数据，包括检测线圈数据、视频检测数据、信号灯控数据等，综合利用这些数据来分析交通状态、制订控制策略。

近年来交通控制相关状态获取技术有了新发展，形成了新型交通流实时采集技术和方法、道路多源交通流分析和融合技术等新技术。具有代表性的新型交通流实时采集技术和方法主要有基于浮动车数据的交通流实时采集技术、基于视频图像处理的交叉口交通流实时采集技术。道路多源交通信息融合的目的是通过对不同来源的交通流数据进行融合处理，为获取比任何单个数据源更全面、准确的交通流状况信息。

多源交通信息融合分成三级：最基础级是数据级融合，它只完成数据的预处理和简单关联；第二级是特征级融合，根据现有数据的特征预测交通参数；第三级是状态级融合，根据当前交通流信息判断交通状态。

2.2 新型交通流实时采集技术与方法

2.2.1 基于浮动车数据的交通流实时采集技术

FCD (Floating Car Data) 意为“浮动车数据”，是一种交通流信息的来源。FCD 交通流检测技术就是将机动车作为移动检测器，依靠车上安装的 GPS 模块和通信模块，定期向信息中心发送车辆位置、速度、时间或状态信息，通过对这些信息的分析和处理获取交通流信息。



2.2.1.1 FCD 交通流检测技术

(1) 基本结构

FCD 交通流检测系统主要由车载设备、无线通信网络、FCD 数据中心和 FCD 数据接收或显示终端等组成,如图 2-1 所示。

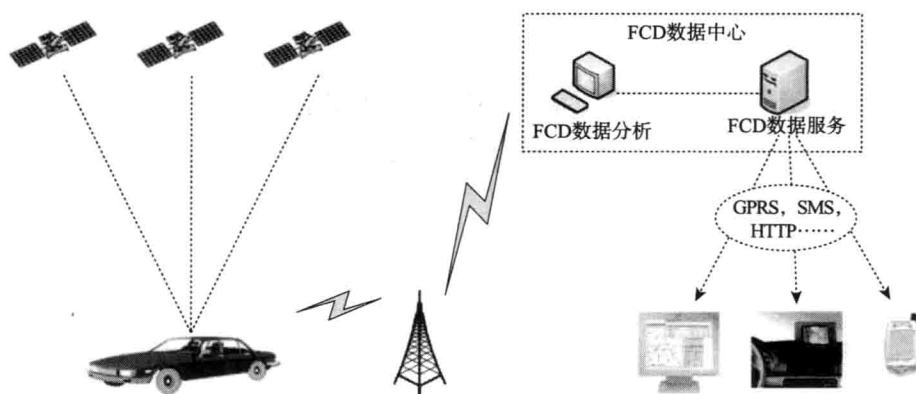


图 2-1 FCD 交通流检测系统结构

车载设备主要包括 GPS 数据接收器和无线通信终端,其中 GPS 数据接收器负责接收 GPS 卫星信号,并收集 GPS 卫星定位状态、GPS 坐标信息、地表运动方向与速度、GPS 时间和日期;无线通信终端负责与数据中心进行通信并将上述信息传输给数据中心,同时还接收数据中心发送的命令。

无线通信网络主要是指无线通信 ASP 提供的通信服务和通信设备,如 GPRS、SMS 服务和通信基站、通信交换机、通信终端等。

FCD 数据中心主要由 FCD 数据分析处理服务器和 FCD 数据提供服务器组成,FCD 数据分析处理服务器主要负责将 GPS 原始数据转换为 FCD 交通流数据并进行存储,FCD 数据提供服务器负责读取 FCD 交通流数据并对外发布数据,发布的方式为 Intranet、Internet 和 GPRS/GSM 等。

FCD 数据接收或显示终端主要包括 PC 终端、车载导航设备、手机或移动设备等,这些设备负责接收 FCD 交通流信息并进行显示,FCD 数据还可进一步处理,最终可以实现交通状态检测、路径诱导、信息预测等更加重要的功能。

(2) 检测过程

FCD 交通流检测的一般过程包括 FCD 数据采集、FCD 地图匹配和 FCD 交通流分析等过程,如图 2-2 所示。

①FCD 数据采集。FCD 数据采集是通过安装在车辆上面的 GPS 装置收集以下参数:车辆 ID、时间、经度、纬度、速度、方位角、车辆状态(停驶、运行等)。采集频率一般为每 30s 采集一次,上传中心的频率通常为每 60s 上传一次。

②FCD 地图匹配。通过 FCD 数据采集可以获得原始坐标信息,然而要进行

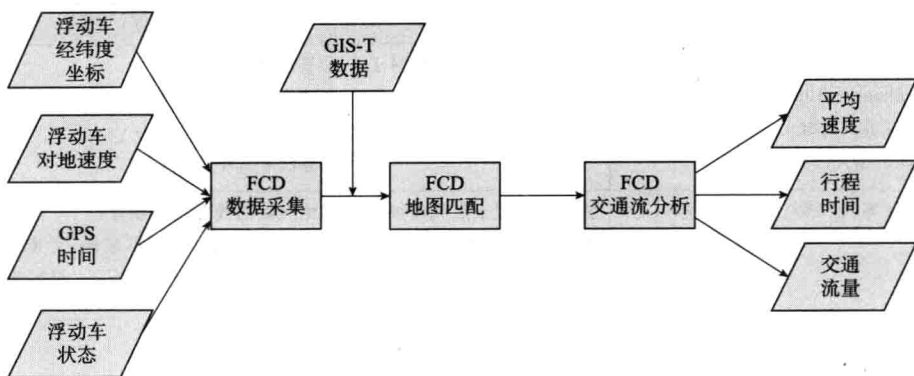


图 2-2 FCD 交通流检测过程

交通流分析就必须将这些坐标信息定位在道路路段上，FCD 地图匹配就是将 GPS 数据关联到道路路段的过程。GPS 数据本身存在一定的误差，主要是由卫星测量误差和几何位置造成的误差所组成，引起该误差的主要原因有卫星时钟误差、电离层或对流层的附加延时误差、多路径误差、接收机本身噪声等。地图匹配是一种将获取的 GPS 定位数据与 GIS-T 中的道路数据以一定的算法进行匹配，达到减少或消除各种误差产生的目的，使目标点精确定位在道路层上的方法。

③FCD 交通流分析。浮动车在道路上的覆盖率达不到百分之百，浮动车数据并不能直接换算为交通流参数，因此在获取了浮动车数据和地图匹配数据以后，需根据这些数据进行建模，利用模型对整条道路上的交通流参数进行估计，这就是 FCD 交通流分析。FCD 交通流分析包括路段平均速度分析、行程时间分析和交通流量估计。

(3) 地图匹配技术

FCD 地图匹配技术就是运用一定的算法将 GPS 数据和 GIS 数据进行匹配，以减少或消除 GPS 误差为目的，使浮动车 GPS 数据能够精确定位在道路上，为后面进行的交通流分析作准备。

目前常用的地图匹配算法有点到点匹配法、点到曲线匹配法、结合 GPS 航向的点到曲线匹配法、曲线到曲线匹配法、改进的点到曲线匹配法、改进的曲线到曲线匹配法、概率统计法、类似权重系统的匹配法等，各种算法的原理和缺点如表 2-1 所示。

表 2-1 各种地图匹配算法比较

作者(年份)	算法	过程/原理	优缺点
Bernstein 和 Kornhauser(1996) Kim 等人(1996) White 等人(2000)	点到点匹配法	将 GPS 点匹配到最近的路网节点或路线点	①只使用几何信息; ②没有利用历史信息; ③算法非常敏感,受路网数字化的方式影响,有可能出现多个相似的匹配点