

论文分类号 U491.3
密 级 内 部

单 位 代 码 10183
研 究 生 学 号 2200902

吉 林 大 学
硕 士 学 位 论 文

高速公路交通事件管理系统若干问题研究

The Study on Some Problems
of the Freeway Incident Management System

作者姓名：李 海 峰

专 业：交通信息工程及控制

导师姓名

及 职 称：姜桂艳 教授

论文起止年月：2001 年 12 月至 2003 年 2 月

提 要

高速公路交通事件管理系统是交通运输领域中研究的热点问题,但针对我国的实际情况,目前国内研究成果非常少。本论文以国家自然科学基金项目“智能化高速公路突发事件监控系统关键理论与方法研究”和吉林省科学技术研究计划项目“高速公路交通事件自动检测系统研究”为依托,对高速公路交通事件管理系统中的若干问题进行了研究。其主要研究工作包括:(1)高速公路交通事件管理系统需求调查方案设计与需求分析;(2)高速公路检测器技术研究、检测器性能比较以及检测器优化布置的定性分析和定量分析;(3)高速公路交通事件模式和非事件模式交通流特性分析、经典检测算法分析以及交通事件检测算法的研究设计。本论文设计的基于神经网络交通事件检测算法与传统的加利福尼亚算法、标准偏差法和滤波算法的对比分析表明,新算法具有非常好的检测效果。

关键词 高速公路 交通事件 需求分析 交通检测器 自动检测算法

目 录

第一章 绪论	1
1.1 问题的提出	7
1.2 课题来源	7
1.3 研究的目的及意义	7
1.4 论文的研究思路	8
1.5 论文主要内容	8
1.6 小结	9
第二章 高速公路交通事件管理系统的需求研究	10
2.1 交通事件管理简介	10
2.2 交通事件管理系统需求调查	12
2.3 调查数据的处理	14
2.4 调查结果分析	16
2.4.1 交通事件自动检测算法评价指标调查数据分析	16
2.4.2 其它指标调查结果	17
2.5 小结	18
第三章 高速公路动态交通信息采集方案优化研究	19
3.1 交通参数的选择	19
3.2 常用的交通参数检测技术	20
3.2.1 磁频车辆检测器	21
3.2.2 波频车辆检测器	23
3.2.3 视频车辆检测器	25
3.2.4 固定交通检测器比较	26
3.3 固定交通检测器的空间布置方法分析	28
3.3.1 固定交通检测器空间布置的定性分析	28
3.3.2 固定交通检测器空间布置的定量分析	28
3.4 小结	30
第四章 高速公路交通事件自动检测算法研究	31
4.1 交通事件对交通流的影响	31
4.1.1 交通参数	31
4.1.2 事件模式和非事件模式	31
4.2 交通事件自动检测算法概述	34
4.2.1 高速公路交通事件自动检测算法研究的历史与现状	34
4.2.2 交通事件自动检测经典算法	35
4.3 基于神经网络技术的交通事件检测算法综述	42
4.3.1 神经网络简介	42

4.3.2 神经网络在交通事件自动检测中的应用.....	45
4.3.3 新算法设计	47
4.4 实证研究	49
4.4.1 数据来源及预处理	49
4.4.2 算法对比分析	52
4.5 小结	56
第五章 结论与展望	57
参考文献	58
致谢	61
附录	62
附录 1 高速公路突发交通事件检测系统开发调查表.....	62
附录 2 高速公路调查对象分布表	66
摘要	1
Abstract.....	4

图 目 录

图 2-1 交通事件管理的过程	11
图 2-2 调查对象分布图	13
图 3-1 环形线圈检测器	21
图 3-2 超声波车辆检测原理	23
图 3-3 红外接收器原理	25
图 3-4 交通事件对交通流的影响	29
图 4-1 交通事件上游检测站交通量变化	32
图 4-2 交通事件上游检测站速度变化	32
图 4-3 交通事件发生后上下游检测站速度变化	33
图 4-4 交通事件发生后上下游检测站占有率变化	33
图 4-5 人工神经元模型	43
图 4-6 几种常见的人工神经元转移函数	44
图 4-8 反馈网络（单层互联网络）结构	45
图 4-9 基于 MLP 网络的事件检测算法模型	46
图 4-10 自动事件检测结构框架	48
图 4-11 目标路段示意图	51
图 4-12 检测率与误警率关系图	54
图 4-13 检测率与检测时间关系图	55
图 4-14 误警率与检测时间关系图	55

表 目 录

表 1-1 事件的类型	7
表 2-1 交通事件评价指标平均检测时间调查数据统计结果	14
表 2-2 交通事件评价指标检测率的调查数据统计结果	14
表 2-3 交通事件评价指标误警率的调查数据统计结果	14
表 2-4 社会期望值结果表	14
表 2-5 交通事件检测方式调查统计表	15
表 2-6 交通事件信息提供的时间性及可靠性比较表	15
表 3-1 常用算法交通参数表	20
表 3-2 固定车辆检测器性能一览表	26
表 4-1 道路参数表	50
表 4-2 模拟数据中的交通量参数	50
表 4-3 事件检测算法的可能计算结果	53
表 4-4 基于 MLP 神经网络算法的检测效果	53
表 4-5 加利福尼亚算法的检测效果	53
表 4-6 标准偏差法的检测效果	53
表 4-7 滤波算法的检测效果	54

第一章 绪 论

1.1 问题的提出

自 80 年代中期以来，我国的高速公路有了长足的发展，取得了世界瞩目的成果。2002 年，我国高速公路通车总里程跃居世界第二位，总里程达到 1.9 万公里。随着我国经济的迅速发展，我国高速公路运营管理也出现了发达国家面临的问题。如：高速公路发生的交通事件常常造成交通拥挤，严重的影响了高速公路的正常运营。为此，我国开始研究高速公路管理系统，使我国高速公路高效的运行。

1.2 课题来源

本论文以下述项目为依托，对高速公路事件管理系统的若干重要问题进行了研究：

国家自然科学基金项目：“智能化高速公路突发事件监控系统关键理论与方法研究”；

吉林省科学技术研究计划项目：“高速公路交通事件自动检测系统研究”。

1.3 研究的目的及意义

高速公路经常发生交通事件。交通事件是指导致道路通行能力下降或交通需求不正常升高的非周期性发生的情况。交通事件或是可预测或是不可预测，其分类如表 1-1 所示。

交通事件阻碍或限制交通流的正常运行，降低道路的通行能力。交通事件造成的后果不仅仅是交通拥挤和阻塞，还极易引发二次事件（事故），而且二

表 1-1 事件的类型

可预测的事件	不可预测的事件
<ul style="list-style-type: none"> ◇ 道路养护 ◇ 道路修筑 ◇ 大型活动(体育比赛、游行、音乐会等) 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 事故 ◇ 车辆抛锚 ◇ 恶劣的天气(雨、雪、冰、雾) ◇ 桥梁或道路坍塌 ◇ 货物散落

次事故通常都比原来的事件严重。清除交通事件的时间越长,引发二次事件的危险性就越大,事件处理工作人员的危险性越大。为了减少交通事件所造成的损失,发达国家普遍建立了先进的高速公路交通事件管理系统,以尽快结束事件状态。其主要功能包括交通事件的检测、事故现场的清理、上游交通流的诱导和匝道交通量的控制。尽管不同事件管理系统的规模和完善程度不尽相同,但都包括一些相同的组成要素:交通事件检测鉴别、交通事件反应、交通事件清除、交通事件现场管理、交通事件交通管理以及信息的发布。

应用交通事件管理系统来降低交通阻塞时间主要取决于怎样合理安排上述六个过程。同样,在事件处理的各个环节中,相关部门的相互协调也是非常必要的。各个部门如:路政管理部门、交通警察、消防队、紧急救援医疗小组、起重与拖车小分队、信息发布人员以及其它的交通运输相关部门等,在交通事件发生时,应该明确自己的责任和作用,使高速公路充分发挥其功能。

1.4 论文的研究思路

高速公路交通事件管理系统是一个涉及面很广的复杂系统,本论文从有关部门的实际需要出发,首先对高速公路交通事件管理系统建设的需求进行调查,明确高速公路管理部门的实际需求,尤其是交通事件检测算法评价指标的社会期望值;然后研究交通检测器的空间优化布置,最后对高速公路交通事件的自动检测算法进行了研究。

1.5 论文主要内容

本论文主要研究高速公路交通事件管理系统以下几个问题:(1)高速公路

交通事件管理系统的需求研究；(2) 高速公路环形线圈检测器优化布置研究；
(3) 高速公路交通事件自动检测算法研究。各章具体内容如下：

第一章：简要介绍了本论文的课题来源，研究的主要内容以及研究的目的、意义。

第二章：设计了“高速公路突发交通事件检测系统开发调查表”。对调查表的原始数据进行了整理，经过分析、计算，最后得出结论。调查所得出的结论，为高速公路事件自动检测算法设计提供了现实依据，有助于高速公路事件自动检测系统的研究开发。

第三章：根据交通流理论，得出高速公路交通固定检测器环形线圈布置最佳间距，并结合具体的高速公路实际情况，确定环形线圈的合理布置方案。

第四章：综述了交通事件自动检测算法的发展历史及现状，重点介绍了传统的事件自动检测算法中的模式识别法和统计预测法，最后在总结现有的神经网络算法的基础上，开发了神经网络事件检测新算法，并对新算法进行了实证分析。

第五章：对全文总结展望。

1.6 小结

经过多年的发展，虽然高速公路交通管理系统的基本功能没有发生大的变化，但管理与控制的效率和可靠性却随着相关技术的进步产生了巨大的飞跃。本章首先提出了高速公路交通事件管理系统存在的若干问题，然后介绍了本论文的课题来源，研究的目的、意义以及研究的思路，最后确定了论文的主要研究内容。

第二章 高速公路交通事件 管理系统的需求研究

为了满足研究高速公路交通事件管理系统建设的实际需求，我们设计了“高速公路突发交通事件检测系统开发调查表”。对吉林省高速公路管理局、吉林省交通警察总队和山东省高速公路有限责任公司进行了问卷调查。本论文对调查表的原始数据进行整理，经过分析计算最后得出结论。调查表的发放、回收以及统计历时两个月，所得出的结论，为高速公路事件自动检测算法设计提供了依据，有助于高速公路事件自动检测系统的研究开发。

2.1 交通事件管理简介

高速公路交通事件管理涉及高速公路交通管理的多个部门，高速公路交通事件管理就是发生交通事件时，多个部门为了使交通流恢复到正常状况下而进行的协调活动。组织周密、协调合作的交通事件管理系统能够管理发生的交通事件，缓解交通拥挤、减少延误和节约燃料。交通事件管理的过程由事件的检测和确认、反应、清理和恢复四个阶段组成。如图 2-1 交通事件管理的过程所示。

（1）事件检测和确认

事件检测和确认就是当高速公路发生交通事件时，交通事件自动检测系统通过采集到的交通参数，判断是否发生交通事件。交通指挥中心接到报警后，进行交通事件的确认，然后把事件信息传给外场控制设备和救援人员。

（2）事件快速反应

事件快速反应是在确认交通事件存在以后，所进行的协调各相关机构、管理相应的人员和设备、通信联络和信息发布等一系列活动的总和。恰当合适的事件快速反应过程取决于对所发生事件的了解以及现有条件下所能提供的装备与资源。

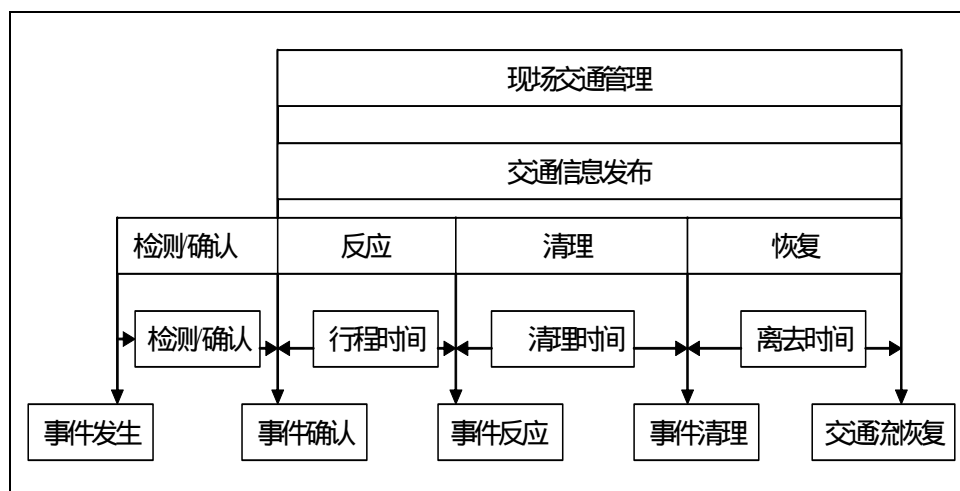


图 2-1 交通事件管理的过程

（3）交通事件的清理

交通事件清理是指移开失事残骸、清理道路上杂物以及其它影响道路交通流正常运行的东西，使道路通行能力恢复到事件发生前的正常水平的过程。

（4）交通事件的恢复

交通事件的恢复就是尽快清除高速公路中干扰交通正常运行的因素，使高速公路正常运营。

从交通事件管理的快速反应到交通事件的恢复过程中，还包括交通事件现场管理和交通事件信息的发布这两项活动。

交通事件现场管理的主要任务是在保证事件处理人员、事件的当事者以及其它车辆驾驶员和乘客安全的前提下，准确评价事件严重程度、确定合适的交通优先权、协调相关资源的使用、保证通讯的清晰与畅通、通过有效的方法，安全、快速、高效地清理事件现场。

交通事件条件下的交通管理就是将各种交通管理与控制方法应用于交通事件的处理现场，它主要包括车道关闭与开放、匝道控制、使用可替代路线和清理高速公路道路路面。

交通事件信息的发布是通过各种渠道和方式将交通事件信息传播给驾驶员的过程。常用的交通信息发布手段包括道路交通咨询电台、可变信息标志板、商业电台广播、车内路线导航器、有线电视交通报道、互联网和电话信息交换等。

我们只有详细地了解高速公路交通事件管理的过程,才有可能对发生的交通事件进行管理,才能不断完善高速公路交通事件管理系统。在下一节中,本文具体介绍了对高速公路交通管理系统需求的研究。

2.2 交通事件管理系统需求调查

我们进行交通需求问卷调查首先选择要调查的对象,然后根据调查的目的制定调查表,最后发送调查表、回收调查表、分析整理和得出结果。

(1) 调查对象的选择

本次调查目的主要是为了确定交通事件发生时,高速公路交通事件管理各部门对交通事件检测效果的评价指标、交通的诱导方式、控制手段等而采取的调查。通过分析高速公路交通事件管理所涉及的部门和人员,确定的调查的对象包括收费场站的收费人员、交通警察(巡逻人员)、监控中心的监控人员、驾驶员、道路维护人员、医护人员、消防人员、工程抢险人员以及与高速公路有关的专家组成。

(2) 调查表的设计

为了对高速公路交通事件管理系统的需求进行调查研究,在设计调查表时,应遵循以下原则:

第一、问题要集中,提出的问题既不要附带条件也不要带有倾向性。

为了能够得到评价交通事件检测系统的合理量化指标,在设计调查表时,应该详细列举高速公路车道阻塞时的交通流状况。对于单向二车道的高速公路,根据车道阻塞程度,可将交通流分为三种状态,状态1表示发生交通事件,但没用车道阻塞;状态2表示发生交通事件,一条车道阻塞;状态3表示发生交通事件,两条车道阻塞。

第二、调查表对问题的表述直接,要求回答的问题明确。

例如:当发生交通事件但没有车道被堵塞时平均检测时间最好保持在

☐3 分钟以内 ☐5 分钟以内 ☐10 分钟以内 ☐其他 分钟以内

第三、调查表要力求简化,调查表问题的数量不要太多。

调查表只设计了六类问题,每类问题要求回答的结果都简洁明了。例如:当发生交通事件时,有两条车道以上的车道被堵塞时,是否需要对接上游车辆进

行路线诱导。

△是 △否

第四、调查表在最后应该留有一定的空白。

应该给被调查者留出发表自己意见的机会 ,只有这样才能更加广泛的得到被调查者的想法。

例如：在本次调查表的最后，留出了下面一段话：“如果您对本次调查还有其他的想法和建议，请您填写在下面的空白处。”以便于被调查者发表独特的意见和建议。

(3) 调查表的发送

本次交通调查采用问卷调查与调查者深入实际走访 ,同第一线专家及实践工作者相互讨论相结合的调查方法。调查共发放调查表 100 份。其中吉林省高速公路管理局 32 份、吉林省交通警察总队 26 份、山东省高速公路有限责任公司 21 份以及采访调查使用的 21 份。调查表的发放、回收及统计历时两个月。如图 2-2 调查对象的分布图所示。

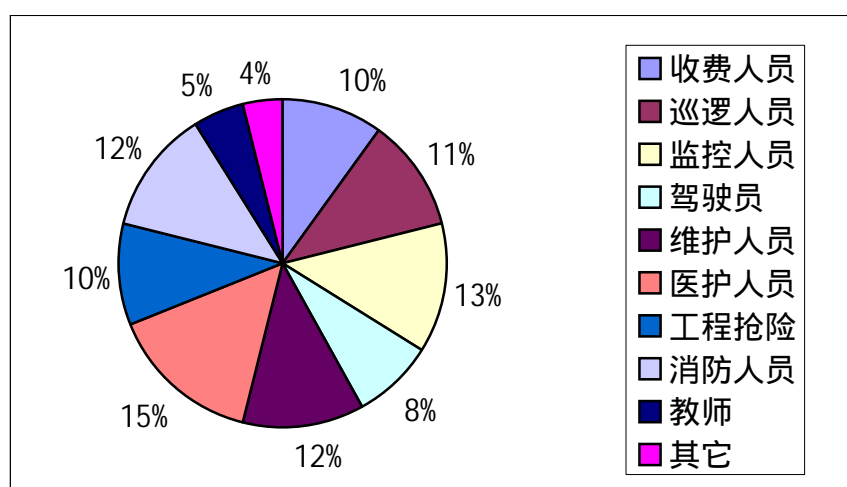


图 2-2 调查对象分布图

从图 2-2 可以知道，被调查者中高速公路收费部门人数占总人数的 10%，巡逻人员占总人数的 11%，监控中心指挥人员占总人数的 13%，驾驶员占总人数的 8%，道路维护部门人数占总人数的 12%，医护人员 15%，工程抢险 10%，消防人员 12%，教师 5%，其他人员占总人数的 4%。由此可以认为本次调查

具有一定的广泛性、实用性、可行性、真实性。

(4) 对交通事件紧急救援单位的调查

为了使高速公路的需求调查更全面完整,我们不但进行了问卷调查,还进行了走访调查,使调查者深入实际,了解高速公路更多的情况。本次座谈参与人系白求恩医科大学一院紧急抢救组成员,他们曾经与长平高速公路段的高速公路监控中心部门进行合作,他们的任务是当高速公路发生交通事件时,进行交通事件的救援活动。他们工作经验丰富,为我们提出了许多宝贵的意见,非常真实的反应了吉林省高速公路的实际情况。

2.3 调查数据的处理

根据调查得来的数据,本论文采用加权平均的方法对调查的原始数据进行了处理,结果列于下列各表。

表 2-1 交通事件评价指标平均检测时间调查数据统计结果 (单位 分钟)

	MDT1	MDT2	MDT3
状态加权值	5.80	5.33	5.06
个数	20	18	16
社会期望值	5.42		

表 2-2 交通事件评价指标检测率的调查数据统计结果 (单位 %)

	MDR1	MDR2	MDR3
状态加权值	92.92	89.76	89.31
个数N	25	25	19
社会期望值	90.78		

表2-3交通事件评价指标误警率的调查数据统计结果

	MFR1	MFR2	MFR3
状态加权值	7.00	7.125	6.167
个数	23	24	18
社会期望值	6.82		

表 2-4 社会期望值结果表

	FR	DT	DR
社会期望值	6.82%	5.42分钟	90.78%

表 2-5 交通事件检测方式调查统计表（单位 人）

	自动检测方式	手工检测方式		
		紧急电话	巡逻人员	摄像机
收费人员	4	16		
监控人员	3	5	3	3
维护人员	4	5	2	
巡逻人员	6	4		
驾驶员	1	4	1	4
医护人员		3	2	
工程抢险		4	1	
消防人员	1	6		
其它	2	4		
小计	21	51	8	7
总计	21	66		

表 2-6 交通事件信息提供的时间性及可靠性比较表（单位 人）

	尽可能早	尽可能准	前项与后项比较
医护人员	3	3	=
其它	6	1	>
驾驶员	3	7	<
维护人员	10	2	>
监控人员	2	10	<
收费人员	9	4	>
巡逻人员	7	4	>
总计	40	31	

下面对有关的概念和符号做一下定义、说明：

状态 1 表示发生交通事件，但没有车道阻塞。状态 2 表示发生交通事件，有一条车道阻塞。状态 3 表示发生交通事件，有两条车道阻塞。

M 表示平均值，O 表示其它的类别，DT 表示检测时间，FR 表示误警率，数字 1 表示状态 1，数字 2 表示状态 2，数字 3 表示状态 3。

例如；DT31（DT 检测时间 3 表示检测时间为 3 分钟 1 表示状态 1）即发生交通事件，但没有车道阻塞时，赞同在 3 分钟内检测到该事件的人数。

用 MDT₁ 表示状态 1 时的加权值，其含义是发生交通事件，但没用车道阻塞这种状态时，平均检测时间的社会期望值。计算示例如下：

$$MDT_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 \text{个数} \times \text{时间}}{\sum_{i=1}^3 \text{个数}} = \frac{7 \times 3 + 7 \times 5 + 6 \times 10}{7 + 7 + 10} = 5.80$$

在上式中，个数用来表示状态为 1 时，交通事件检测时间为 3 分钟的统计人数。

为了得到发生交通事件时，交通事件平均检测时间的社会期望值。本文把每种状态下的加权值，再进行加权。如下式：

$$\text{期望值} = \sum_{i=1}^3 mdi \times \frac{i \text{种状态下的人数}}{\text{三种状态下的总人数}} = \frac{5.80 \times 20 + 5.33 \times 18 + 5.06 \times 16}{20 + 18 + 16} = 5.42$$

最终，我们得到了高速公路发生交通事件时，平均检测时间的社会期望值为 5.42。

2.4 调查结果分析

2.4.1 交通事件自动检测算法评价指标调查数据分析

对上述数据处理的结果，进行如下分析：

(1) 由表 2-1 可以知道，三种状态加权平均值分别为 5.80 分钟、5.33 分钟和 5.06 分钟。这说明社会期望的平均检测时间随着所发生的交通事件的严重程度而逐渐减少，即交通事件越严重所期望的检测时间越少。检测时间的时间区间为 5.06~5.80 分钟，再对三种状态的加权平均值进一步求加权平均值，得到当交通事件发生时，检测时间的社会期望值 5.40 分钟。

(2) 由表 2-2 可以知道，三种状态的加权平均值分别为 92.92 %，89.76 %，89.31 %，从表中还可以看出状态二和状态三所要求的交通事件检测率相近，高速公路交通管理各部门，对于高速公路出现车道阻塞，需要及时的清除。综合三种状态的加权值，可得出检测率的社会期望值为 90.78 %。

(3) 由表 2-3 可以知道：在三种交通事件状态中，误警率随着交通事件的严重程度而依次降低，即交通事件越严重，所要求的误警率越低。状态二，

即阻塞一条车道的社会期望值为 7.00 %，状态三，即阻塞两条车道的社会期望值为 6.17，对三种状态的加权值进行加权，得到社会对高速公路中发生的交通事件误警率的社会期望值为 6.82%。

最后，我们把高速公路发生交通事件时，交通事件的评价指标整理成表 2-4，在表中检测率为 90.78%、平均检测时间为 5.42 分钟、误警率为 6.82%。

2.4.2 其它指标调查结果

本次调查完成了预定的调查目的，不但得出了检测率、误警率、检测时间的社会期望值，还得到其它有关方面的信息。

(1) 如表 2-5 所示，高速公路发生交通事件时，高速公路管理各部门所希望采取的事件检测方法主要是传统的手工检测方式。手工检测方式占交通事件检测方式的 75%，其中同意通过紧急电话进行交通事件检测占 72.7%、同意通过巡逻车的巡逻人员进行检测 15.18%、同意通过摄像机进行人工检测的有 12.12%。而同意通过自动检测方式的有 25%，占手工检测方式的三分之一。这说明我国目前为止交通事件的检测主要通过手工方式。

(2) 由表 2-6 可以知道，当发生交通事件时，驾驶员、监控中心的监控人员和道路维护人员希望知道准确的信息，以便减少损失，而在一定时限内提供信息的时间是第二位；收费人员、巡逻人员则希望尽可能早地获得交通事件的信息，以便提前做好准备，而信息的可靠程度是第二位的。医护人员所要求希望得到的信息，既要准确又要尽可能的早。

(3) 从对发生交通事件后社会所需求的诱导手段和控制手段的调查中可以知道：当发生交通事件但没有车道阻塞时，有 98%被调查人员认为仅进行诱导而不需对上游交通流进行控制，采取的诱导手段是以广播或可变显示板的方式提供交通信息；当发生交通事件，有一条车道阻塞时，被调查人员中有 60%的人认为进行诱导，40%的人认为对上游的交通流进行控制。

在认为采取诱导手段的被调查者中，被调查的驾驶员，有 80%的驾驶员认为诱导的手段是提供可替代的行驶路线，20%的驾驶员认为可以采取可变显示板的方式提供信息。被调查的收费人员中，86%的收费人员认为诱导的手段是提供可替代的行驶路线，14%的收费人员认为可以采取可变显示板的方式提

供信息。在道路维护人员、消防人员中大约有 80%的人认为通过可变显示板发布交通事件信息 ;交通监控中心的工作人员希望以可变显示板的方式发布交通事件信息。通过可变显示板 ,能够提醒驾驶员注意高速公路中的交通状况 ,使维护人员、消防人员及医护人员做好救援的准备 ,从而达到预先准备的目的。

在对上游交通流进行控制的手段中 ,采取的方式为控制上游入口匝道的流量、对行车速度进行限制并以可变显示板的方式发布交通状态信息及设置可逆车道变向功能。

当发生交通事件有两条以上车道阻塞时 ,被调查者认为既要进行交通诱导又要对上游交通流进行控制 ,采取控制的手段多为关闭匝道。通过对高速公路交通流的诱导与控制 ,使高速公路管理部门尽快清除高速公路中的障碍物 ,恢复高速公路的运行。

(4) 通过与紧急抢救组成员的讨论 ,最后归纳整理出紧急抢救组提出的主要建议为 :

紧急救援车到达事故地点的时间上限为 30 分钟 ;

应该与其它交通部门协调 ,开辟 “ 绿色通道 ”;

应该与高速公路指挥中心达成协议 ,使救援车在事故多发地点待命 ;

检测事件及鉴定事故类型的时间上限 10 分钟 ,误警率尽可能的低 ;

巡逻车应根据事故发生的频率 ,进行优化配置 ,减少反应时间 ;

安装附加的监控器 ,借助电话亭 ,获取更多的事故检测信息。

通过与白求恩医科大学一院紧急抢救组成员的座谈调查 ,使得本次的高速公路调查更加充实 ,更加具有实际价值 ,确实反映了高速公路各部门对高速公路交通事件管理的需求。我们更加清楚的意识到开发高速公路交通事件自动检测系统的必要性。

2.5 小结

本章首先介绍了高速公路中交通事件管理的主要工作 ,然后在此基础上对交通事件管理系统的需求进行了调查。本次调查不仅得到了交通事件自动检测算法评价指标的社会期望值 ,而且调查表的其它结果为完善高速公路交通事件管理系统提供了现实依据。

第三章 高速公路动态交通信息 采集方案优化研究

高速公路中的交通信息包括静态交通信息和动态交通信息两大类。高速公路中静态交通信息主要是指高速公路常规组成部分的性能、特征和指标的信息。例如：坡度的大小、坡道的长度、坡度的分布、路面类型、车道宽度、路缘宽度、路肩宽度、摩擦系数等。这些信息是相对的、有一定的稳定性。动态交通信息主要是指高速公路上所有移动物体所具有的特定信息，包括高速公路中的交通参数（车速、车型、车流量、占有率）、道路路口状态、停车场状态等。为了在第四章中对高速公路交通事件自动检测算法进行研究，我们在这一章中仅对交通事件自动检测算法所需的动态交通信息进行研究。研究的思路是先对交通事件自动检测算法所需的动态交通信息中交通参数进行分析，然后介绍固定交通检测器技术，最后对固定检测器中环形线圈的布设作了定性分析与定量分析。

3.1 交通参数的选择

我们所研究的高速公路交通事件自动检测算法的前提条件就是要求检测器提供完整、准确的交通信息。这里所谓的动态交通信息指的是反应高速公路交通流变化的交通参数。交通参数包括：交通量、速度、密度、占有率等交通特性指标。

为了进行高速公路交通事件自动检测系统的算法研究，我们首先分析一下各种事件检测算法在交通事件自动检测时所需要的交通参数，因为交通参数的选择是根据交通事件检测算法需要而进行的。表 3-1 列出了常用的几种交通事件检测算法所需要的交通参数。

由表 3-1 可见，在这些交通参数中，以占有率应用最为广泛，交通量与速度次之，密度由于难以检测而应用较少；采用一个交通特性指标作为交通参数

的较多，采用两个或多个交通特性指标作为交通参数的较少。

表 3-1 常用算法交通参数表

	交 通 量	速 度	密 度	占 有 率
指数平滑法	##	##	##	##
加利福尼亚法				#
HIOCC 法				#
互相关法			#	
卡尔曼滤波	#			
灾变法		#		#

注：##表示选择任意一个

当交通流发生变化时，交通参数变化明显的程度，取决于位于交通事件上游和下游的检测站。在上游检测站，速度参数最敏感，交通量和占有率次之。在下游检测站，速度和占有率交通量尽管有变化但变化程度不明显。具体的分析详见第四章有关论述。

本文在交通事件自动检测算法研究过程中，对交通参数进行选择时，所遵循的原则主要有三个：交通参数敏感性原则；系统可靠性原则；交通事件自动检测算法对交通参数的依赖程度的原则。

本论文研究所需要的交通参数是由固定交通检测器采集到的。固定交通检测器是相对移动交通检测器而言的，固定交通检测器就是检测器固定于某一地点，而移动交通检测器则是检测装置安装在车辆上的。固定交通检测器是采集交通流数据最常用的技术，它以车辆为检测目标，检测车辆通过或存在状况，同时也可以得到道路上车流的各种参数。从系统的可靠性考虑，应采用多个交通特性指标作为交通事件检测算法的输入，这样可以充分利用多种交通数据所包含的交通事件信息。本论文选择流量和占有率这两个交通参数。

3.2 常用的交通参数检测技术

近几年来，随着传感器技术、微电子技术和信息处理技术的发展，交通检测器也有较大发展，按其基本工作原理可分为电磁感应式、电接触式、光电式、超声波式、红外线式等多种类型。这些交通检测器的基本功能可概括为两大类：一类为检测车辆存在的存在型检测器；另一类为检测车辆通过的通过型检测

器。任何交通检测器至少应具有上述两个基本功能之一。在交通检测器中，可分为固定检测器和移动检测器。由于移动检测器的应用受到许多外部因素的影响，在一定时期内难以大范围使用，在本论文中仅对固定检测器进行介绍。

目前固定检测器具有代表性的分类方法是按检测器的工作方式及工作时的电磁波波长范围，将检测器划分为三大类：磁频车辆检测器、波频车辆检测器和视频车辆检测器。

3.2.1 磁频车辆检测器

磁频车辆检测器是基于电磁感应原理的车辆检测器。

这类检测器包括环形线圈检测器、地磁检测器、磁成像检测器和摩擦电检测器。

(1) 环形线圈检测器

环形线圈检测器是目前国内外使用最广泛的车辆检测器，它由3部分组成：埋设在路面下的环形线圈传感器、信号检测处理单元(包括检测信号放大单元、数据处理单元和通信接口)及馈线。该检测器的工作原理是检测单元同环形线圈与馈线线路组成一个调谐电路如图 3-1 环形线圈检测器所示。电路中的电感主要决定于环形线圈，环形线圈是此电路的电感元件；电容则决定于检测单元中的电容器。当电流通过环形线圈时，在其周围形成一个电磁场，当车辆行至线圈上方时，在金属车体中感应出涡流电流，涡流电流又产生与环路相耦但

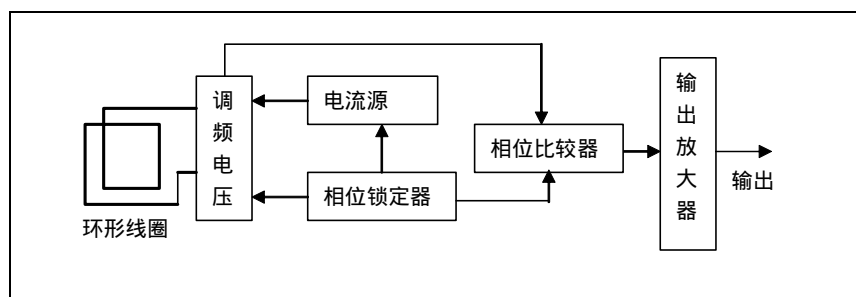


图 3-1 环形线圈检测器

方向相反电磁场，即互感，使环形线圈电感量随之降低，因而引起电路谐振频率的上升。只要检测到此频率随时间变化的信号，就可检测出是否有车辆通过。

从环形线圈的工作原理可知,不论车辆通过检测器或停在检测器上,都能使检测器工作,所以这种检测器既可以检测交通量,又可以检测占有率及大致的车速等多种交通参数。环形线圈的尺寸随需要而定,常用的是 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的线圈约三匝(圈),每车道埋设一个,计数精度可达到 $\pm 2\%$,排队长度测量可精确到 $\pm 4\% \sim \pm 6\%$ 。测出流量和占有率之后,借助于预定的平均有效长度即可估计出密度与平均速度。有些情况下,为了较准确地直接测量速度,采用每车道连续埋设两个环形线圈的方案,间距约 6m 。双线圈测量方式的精确度较好,速度测量值可精确到 $\pm 4\% \sim \pm 6\%$,但检测器投资及施工费用较高,计算量也较大。

环形线圈检测器可测参数较多,其感应灵敏度可调,使用的适应性较大,安装不太复杂,所以在国内外得到广泛的应用。缺点是线圈跟随路面变形(沉降、裂缝),因此其使用效果及寿命受路面质量的影响甚大,路面质量较差时,一般寿命仅 2 年。另外环境的变化和环形线圈的正常老化对检测器的工作性有较大的影响,可使检测器材谐振回路失谐而不能判断车辆存在产生的频率变化。因此,人工调谐的环形线圈检测器要定期进行手工调整,以便保持仪器的精度。自调谐检测器可自动进行调整,精度较高,现在已被普遍采用。

(2) 地磁检测器

地磁检测器是把一个具有高导磁率铁芯和线圈装在一个保护套内,里面填满非导电的防水材料,形成一根磁棒。在路上垂直于交通流的方向开一个 $0.2 \sim 0.6\text{m}$ 的孔,把磁棒埋在路面下,当车辆驶过这个线圈时,通过线圈的磁通量发生变化,在线圈中产生一个电动势,这个电动势经过放大器放大后去推动继电器,发出一个车辆通过的信息。这种检测器只能检测以相当车速通过的车辆,所以是通过型检测器,不适用于需要检测车辆存在的地方。这种检测器具有安装容易、不易损坏、价格便宜等优点。缺点是对慢速车辆不能检测,有时会出现误检,且材料容易老化,灵敏度会逐年衰减。

(3) 磁成像检测器

磁成像检测器是以近期研究成功的磁成像技术为基础的。它测量由于车辆的出现而引起的电磁场扰动或变化,通过与已记录的不同结构车辆的磁纹(Magnetic Footprint)相比较,不仅能将卡车和小车分离开来,而且可以测出车辆的构造、车型及车速。

(4) 摩擦电检测器

该检测器的探头部分是封装在一块人造橡胶中的屏蔽电缆内,橡胶块永久地固定在路面的切槽中。其工作原理是车辆通过时,电缆上的压力使电缆芯和屏蔽之间产生低电压,该电压可用适当的放大电路来检测并输出信号。此检测器响应快、恢复时间短,因此可用来精确地测量车轴数。当它与环形线圈检测器一起使用时,还可以测量车型、车速和车距等交通参数。

3.2.2 波频车辆检测器

波频车辆检测器是以微波、超声波和红外线等对车辆发射电磁波而产生感应的检测器。

(1) 超声波检测器

超声波检测器是一种在高速公路上应用较多的检测器,它是利用反射回波原理制成的。超声波检测器由探头和控制机构成,其探头具有发射和接受双重功能,被设置于道路的正上方或斜上方。

超声波检测器的工作原理是:由超声波发生器(探头)发射一束超声波,再接收从车辆或地面的反射波,根据反射波返回时间的差别,来判断有无车辆通过。由于探头与地面的距离是一定的,所以探头发出超声波并接收反射波的时间也是固定的。当有车辆通过时,由于车辆本身的高度,使探头接收到反射波

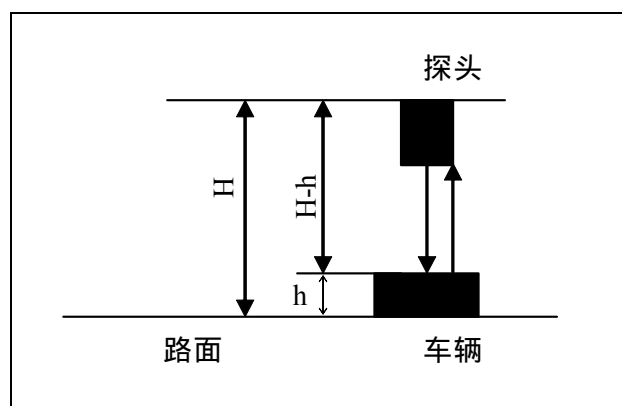


图 3-2 超声波车辆检测原理

的时间缩短,就表明有车辆通过或存在。如图 3-2:超声波车辆检测原理所示。若超声波探头距地面高度为 H , 车辆高度为 h , 波速为 v , 发自探头的超声波

脉冲的反射波从路面和车辆返回的时间分别为 t_1 和 t_2 , 则 $t_2 = 2H/v$
 $t_1 = 2(H-h)/v$ 。 可见时间 t_2 与车辆高度 h 相对应。根据这个特点, 超声波检测器既可以检测车辆的存在和通过, 也可以检测车高, 检测出车的数量和车的时间占有率。超声波检测器的横向检测范围大约为 3 ~ 9m, 可以覆盖 1 ~ 3 条车道, 能检测出高度在 0.75 ~ 1.6m 的车辆。超声波检测器探头可安装在行车道中间上方 5m 处, 也可以安装在路侧, 安装高度在 2.5m 以上。

由于超声波检测器采用悬挂式安装, 这与路面埋设式检测器(如环形线圈)相比有许多优点。首先是不需破坏路面, 也不受路面变形的影响; 其次是使用寿命长, 可移动、架设方便。不足之处是其检测范围呈锥形, 受车型、车高变化的影响, 检测精度较差, 特别是车流严重拥挤的情况下; 另外检测精度易受环境的影响, 尤其是大风、暴雨等的影响; 探头下方通过的人或物也会产生反射波, 造成误检。从架设、维护方便和使用寿命等方面来说, 路面埋设式检测器都不如超声波检测器, 所以超声波检测器成为目前使用量仅次于环形线圈的一种检测器。

(2) 微波雷达检测器

微波雷达检测器微波检测器按照多普勒效应原理工作。它由发射天线和发射接收器组成。架在门架上或路边立柱上的发射天线向路面检测区域发射微波波束, 当车辆通过时, 反射波束以不同的频率返回天线, 检测器的发射接收器测出这种变化, 从而测定车辆的通过或存在。微波检测器的工作频率通常是 24GHZ 或 10GHZ。新型的远端交通微波检测器最多可同时检测 8 个检测区域的车辆存在, 同时可检测交通量、车速和占有率等信息。

(3) 红外检测器

红外检测器是具有良好的应用前景的悬挂式或路侧式交通检测器。该检测器一般采用反射式检测技术。反射式检测器探头由一个红外发光管和一个红外接收管组成, 其工作原理是由调制脉冲发生器产生调制脉冲, 经红外探头向道路上辐射, 当有车辆通过时, 红外线脉冲从车体反射回来, 被探头的接收管接收, 经红外解调器解调, 再经过选通、放大、整流和滤波后触发驱动器输出一个检测信号(红外线接受器原理如图 3-3 所示)。这种检测器具有快速准确、轮廓清晰的检测能力。

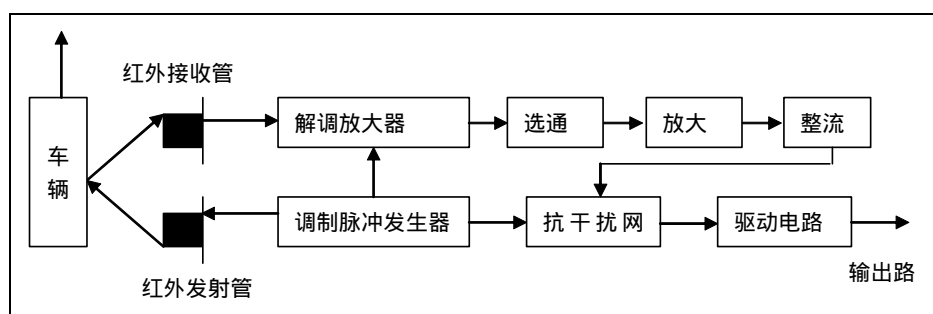


图 3-3 红外接收器原理

3.2.3 视频车辆检测器

基于视频图像处理的交通检测技术是近年来逐步发展起来的一种新型的检测技术。它具有可一次检测多个参数和检测较大范围的特点，使用灵活，预计将有很好的应用前景。

视频交通检测系统通常由电子摄像机、图像处理机和显示器等部分组成。摄像机对道路的一定区域范围摄像，图像经传输线路送入图像处理机，处理机对图像信号进行模数转换、格式转换等，再由微处理器处理图像背景，实时识别车辆的存在，判别车型，由此进一步推导其它交通控制参数。图像处理机还可以根据需要给监控系统的主控机、报警器等设备提供信号，控制中心可根据这些信号确定控制方式，向执行机构发出控制命令。在图像处理系统中，背景处理是一个复杂而棘手的问题，图像处理程序必须考虑到对多种干扰素。由于图像处理方法是在摄像机摄取的图像的基础上实现识别和检测的，因此不仅具有多点布设、无线检测的能力，而且还能获得车流密度、排队规模以及常规检测器很难测到的停车次数和车辆尺寸等重要交通参数。

另外检测系统装卸方便、不须破坏路面，不影响交通，在很多场合可以代替现有的环形线圈检测器。视频车辆检测系统在现代交通控制系统中占有很重要的地位，是未来智能运输系统发展的基础。但目前的问题是图像处理的实时性较差，而且车辆的检测精度受整个系统软、硬件的限制。尽管如此，随着图像信号处理技术的进步和微电子技术的发展，视频车辆检测技术又将得到不断地提高和更加广泛地应用。

3.2.4 固定交通检测器比较

通过以上对常用的交通参数检测技术的介绍,本节对目前常用的各类检测器的工作方式、性能的优缺点及测量功能作了归纳。其结果如表 3-2 所示。

表 3-2 固定车辆检测器性能一览表

检测器	测量功能						工作方式	优点	缺点
	流量	速度	类型	占有率	密度	车头时距			
感应线圈	✓	双线圈	✓	✓		✓	车辆通过埋在路面下的导线线圈时,干扰了通过线圈的地磁通线并在线圈里产生一个电压。这个电压被高增益放大器放大,使检测器的继电器工作。	<ul style="list-style-type: none"> ●线圈电子放大器已标准化 ●技术成熟易于掌握 ●计数非常准确 	<ul style="list-style-type: none"> ●安装过程对可靠性和寿命影响很大 ●修理或安装需中断交通 ●影响路面寿命 ●易被重型车辆、路面修理等损坏
磁力计	✓	✓	✓	✓			工作方式同感应线圈,使用埋在路面下的圈柱形感应头	<ul style="list-style-type: none"> ●可检测小型车辆,包括自行车 ●适合在不便安装线圈场合采用 	<ul style="list-style-type: none"> ●很难分辨纵向过于靠近的车辆 ●设置时需要关闭车道
红外线 (被动式)	✓	✓		✓	✓		设在道路上方的接收计通过从车辆和路面反射回来的热辐射强度的差别检测车辆	<ul style="list-style-type: none"> ●设置时无需关闭车道 ●昼夜可采用同一算法而解决昼夜转换问题 ●在有雾的天气比可见光检测装置检测距离更远 	<ul style="list-style-type: none"> ●可能需要很好的红外线焦平面检测器,也就是要用提高功率,降低可靠性来实现高灵敏度 ●在雨雪天气时性能降低
红外线	✓	✓	✓				设在道路上方	同被动式红外线	<ul style="list-style-type: none"> ●对环境光线

(主动式)							的发射接收计 通过从车辆和 路面反射回来 的光时间差的 变化,记录通过 的车辆。	检测器 ●可直接得到速 度	和路面颜色敏 感 ●对气候条件 很敏感 ●由于反射率 的差别不太准 确
声 波	✓	✓		✓			根据特定车辆 的声学特征识 别该车辆	●能够根据车辆 的声学特征识别 某一类车辆	●为识别车辆 需接受信号 进行大量的除 背景静噪声的 处理
超声波	✓			✓			车辆反射声波 (多普勒效应) 返回天线,使检 测器继电器动 作	●设置时不用关 闭车道 ●体积小易于安 装	●性能随环境 温度和气流影 响而降低
CCD 摄像机	✓	✓	✓	✓	✓	✓	摄像机摄取检 测点附近区域 的图像,由计算 机程序对图像 进行处理、识 别,从而检测车 辆	●可为事件管理 提供可视图像 ●可提供所有交 通流参数 ●单台摄像机和 处理器可检测多 车道 ●易于改变检测 地点	●大型车能遮 挡随行的小型 车辆 ●阴影、积水 反射或昼夜转 换可造成检测 误差
微波雷达	✓	✓		✓			车辆反射雷达 微波(多普勒效 应)返回天线使 检测器继电器 动作	●避免了电磁场 的干扰 ●设置时不必关 闭车道 ●在恶劣气候下 性能出色,直接 检测速度	●不能检测静 止或低速行驶 的车辆 ●以向前方式 用定向天线跟 踪单个车道

在上述检测器中根据放置的位置可以分为路面下放置的和路面上放置的。路面下放置的检测器包括感应线圈和磁力计检测器,其它的都是路面上放置的检测器。天气和环境是影响检测器正常工作的重要因素,相比之下地面上放置的检测器更容易受到各种环境条件的影响。到目前为止,应用于高速公路交通

事件自动检测最常用的固定车辆检测器是环形线圈检测器。这种检测器可以单环使用，也可以双环使用。单环形检测线圈能够检测到交通流量、占有率，双环形检测线圈还可以提供速度数据。超声波和雷达检测器由于架设方便、使用寿命长，用量仅次于感应线圈检测器。CCD 摄像机是近年来逐步发展成熟起来的一种新型车辆检测技术，虽然造价较高，但具有无线、可一次检测多参数和检测范围较大的特点，配合一定的图像识别软件，还可以直接用来进行事件检测，预计将有很好的应用前景。

3.3 固定交通检测器的空间布置方法分析

3.3.1 固定交通检测器空间布置的定性分析

交通事件自动检测需要在高速公路上安装固定检测器，可以从以下几个方面来考虑检测器的空间布置问题：

（1）高速公路中的车道数。一般来说应在检测站的每一个车道上都装上检测器，有几个条车道，就应该装几个检测器。

（2）检测算法所要求的检测参数也会影响检测器的布置。如果仅仅要检测到交通量、占有率这两个交通参数，每条车道安装单环形线圈检测器即可，如果要求速度这个参数，就要每条车道安装双环形线圈检测器。

（3）检测器的布置与交通事件发生的频率有关。如果某一路段经常发生交通事件，安装的检测器密度就应该大一些，甚至要安装视频检测器。在正常平直的高速路段上，一般每隔 500m~1000m 安装一个检测器就可以了。

（4）环形线圈检测器经常和视频检测器相互配合使用。在交通事件多发地点，需要用摄像机进行监视，作为交通事件的验证手段。

3.3.2 固定交通检测器空间布置的定量分析

本节应用交通流理论知识，尝试对高速公路固定交通检测器空间布置作简单的定量分析。

图 3-4 反映了交通事件对交通流的影响。当发生交通事件时，事件下游将形成扩展波，上游将形成冲击波。冲击波将向交通事件发生地点的上游传播，其强度取决于交通事件的严重性、横向位置、当时的交通状况以及道路的几何条件等。

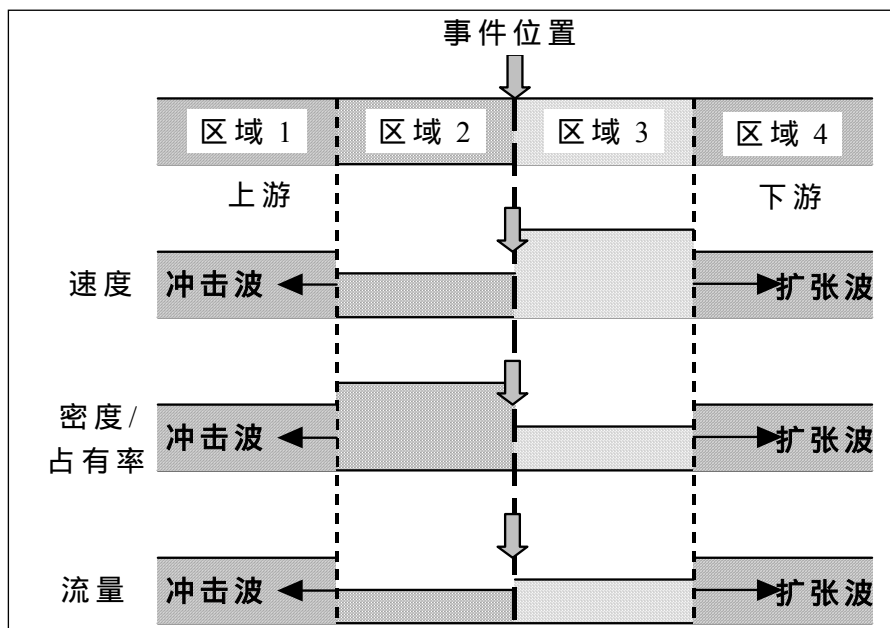


图 3-4 交通事件对交通流的影响

在这里假设交通量为 q 辆/小时，车流平均速度为 V 公里/小时，以下标 1 代表交通事件发生前，下标 2 代表交通事件发生后，相邻检测站间距为 L_d 米，交通事件发生时，离上游检测站的距离为 X 米，交通事件发生后 T_d 秒冲击波和扩展波传播到上游和下游检测站(这里以到达上游或下游检测站时间稍长的为计)，根据交通流理论，冲击波波速 V_w 为：

$$V_w = \frac{q_1 - q_2}{\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2}} \quad (3-1)$$

对单车道情况，若车辆抛锚，则车道将完全堵塞，设阻塞密度为 K_j ，则式 3-1 可写作：

$$V_w = \frac{q_1}{\frac{q_1}{v_1} - K_j} \quad (3-2)$$

发生交通事件的车辆的前导车在 T_d 内的行程为, $X_1 = V_1 \times T_d / 3.6$ 当 $V_w < 0$ 时, 将形成阻塞, 冲击波以 V_w 的速度相对于车行道方向向上游传播, 在 T_d 内的行程为 $X_2 = V_w \times T_d / 3.6$, 当 $V_w \geq 0$ 时, 将不形成阻塞。无论加利福尼亚算法所采用单环形线圈数据和还是 McMaster 算法采用双环形线圈数据, 只要上游或者下游检测站检测到交通流参数的变化, 这两种算法都将对交通事件做出反应。最不利的情况是发生的交通事件位于两个相邻检测站的中间位置, 因此检测站间隔最大值为:

$$L_d = 2 \times \max\{X_1, X_2\} \quad (3-3)$$

在确定检测器间隔时, 还应该根据高速公路道路线性的具体情况, 比如上、下匝道的位罝, 事件多发区等作适当的调整。

3.4 小结

本章首先研究了交通事件检测算法选择交通参数的原则, 然后介绍了固定交通检测器技术, 最后从定性和定量两个角度, 初步的探讨了高速公路中环形线圈检测器的空间布置。

第四章 高速公路交通事件 自动检测算法研究

4.1 交通事件对交通流的影响

4.1.1 交通参数

高速公路的交通流特性主要由交通量、速度、密度等参数来描述。交通量定义为在某一单位时间内通过某一定点的行驶车辆数，单位为辆/小时。速度为车辆通过道路某一点时的速度。交通密度定义为单位长度的车道上，某一瞬间拥有的行驶车辆数。在高速公路监视控制系统中，交通密度是主要测量的参数，但是由于密度不能用电子设备直接测量。因此，在交通控制方法中，经常使用易于测量的车辆占有率。车辆占有率定义为车辆占有长度总和与路段长度的比值。在一条已知路段上，采用直接的方法来测量车辆长度的总和是行不通的。但是可以通过时间的量测来计算该值。占有率即车辆的时间密度值，就是车辆通过检测器时所占有的时间与观测的总时间的比值。

以上的这三种交通参数与相应的交通状况（自由流，阻塞流等）相对应，如果确定了这些交通参数与交通状况的关系，那么就可以通过交通参数的变化来识别交通状况，而无需去看实际的交通状况。

高速公路交通事件自动检测的原理是：当高速公路发生交通事件时，事件发生地点上下游的交通流参数（流量、速度、密度、占有率、车头时距等）会发生突然变化，检测算法通过分析交通流参数的这种变化给出检测结论。

4.1.2 事件模式和非事件模式

当高速公路上发生交通事件后，交通事件会对交通参数产生影响。归纳起来即上游检测站的速度显著下降，流量减少而占有率明显上升。下游检测站的

流量、占有率降低而速度可能会增加。其中流量降低不显著、速度增加并不大。下面以模拟数据说明交通事件对上、下游检测站交通流参数的影响。

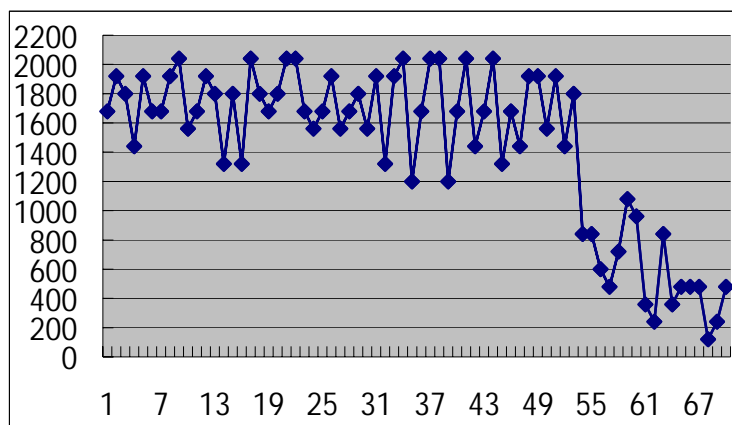


图 4-1 交通事件上游检测站交通量变化

图 4-1 是交通事件发生前、持续期间、将要结束时上游检测站流量对时间的关系图。交通事件发生在第 50 个时间段（每一时间段为 30 秒）。从图中可以看出在事件发生前，上游检测站的流量一直比较高，但是在第 54 个时间段到第 55 个时间段，流量从 1800 辆/小时下降到 840 辆/小时，之后该站的交通流量一直处于较低的水平，全部在 1000 辆/小时以下。同样的现象也可以从上游检测站的速度对时间的关系图 4-2 中看到。

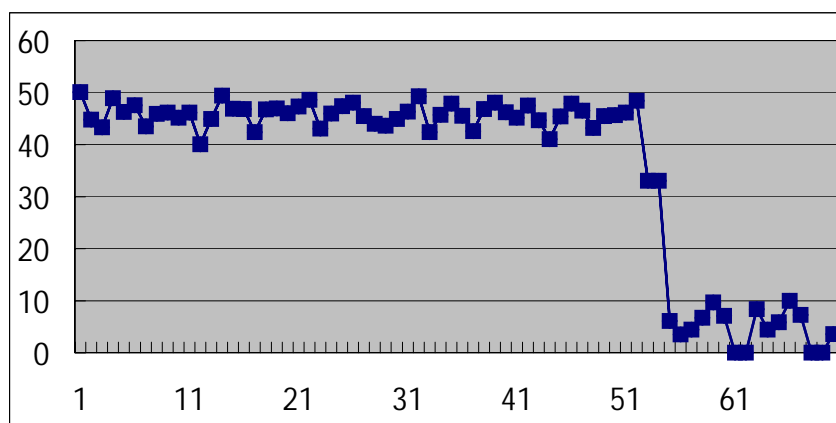


图 4-2 交通事件上游检测站速度变化

事件发生后，速度从第 53 个时间段的 33.03 公里/小时急剧下降到 6.08 英里/小时，在事件持续期间速度一直较低，甚至停滞不前，车流呈现出停停走走

走状态。

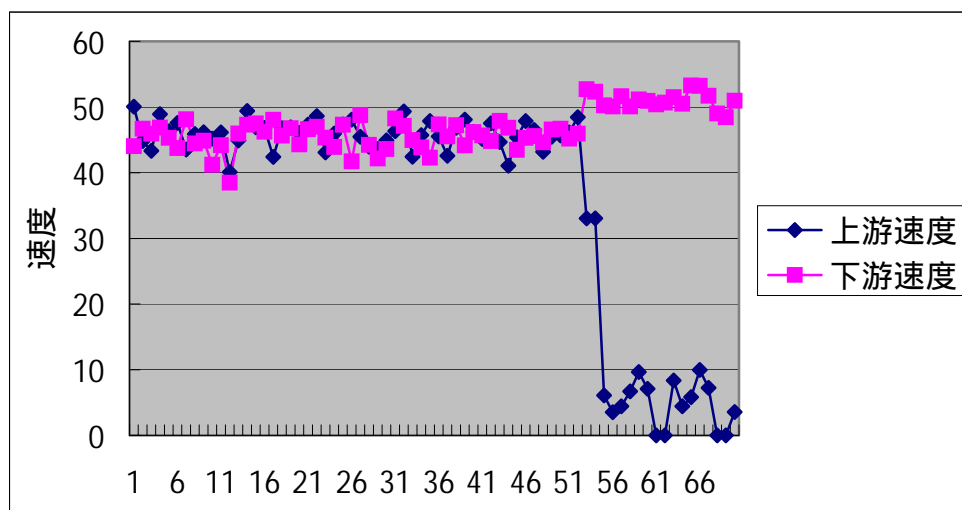


图 4-3 交通事件发生后上下游检测站速度变化

图 4-3 给出了事件发生期间事件上游检测站和下游检测站速度对时间的关系图。从图中可以清楚的看到上游检测站的速度从 40 ~ 50 英里/小时，仅经过两个时间间隔就下降到 10 英里/小时，在 60 和 61 个采样时间间隔，速度下降到 0 英里/小时，而下游检测站的速度虽然有上升，但是幅度不大，仅在 50 英里/小时以上。再看图 4-4 交通事件所在的上游和下游检测站在事件发生前、持续期间占有率对时间的关系图。

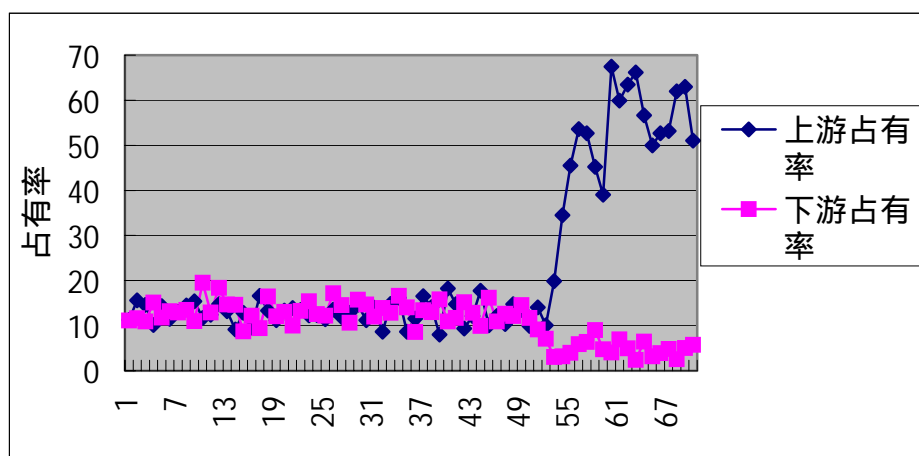


图 4-4 交通事件发生后上下游检测站占有率变化

在交通事件发生前，上游检测站和下游检测站的占有率变化幅度不大。当

发生交通事件时，占有率从第 52 个采样时间间隔开始，上游检测站占有率突然上升，仅经过两分钟占有率从 10 个单位左右上升到 50 单位左右。而下游检测站占有率一直下降，尽管有所下降，但是下降的幅度不大。因此交通事件自动检测算法能够根据交通参数的变化，判别是否发生了交通事件。

4.2 交通事件自动检测算法概述

4.2.1 高速公路交通事件自动检测算法研究的历史与现状

事件自动检测算法的研究始于二十世纪六十年代早期，伴随着美国州际间的高速公路系统的实施而出现的。经过 40 多年的发展，特别是随着交通量的增长和 ITS 的兴起，高速公路交通事件的自动检测不但越来越受到关注而且发挥的作用也越来越大。

(1) 60 年代高速公路事件自动检测算法

高速公路自动检测算法及运用自 1961 年开始，一些学者提出并建立了各类高速公路交通事件的自动检测系统。

纽约州政府在 Lincoln 隧道建立的事件自动检测系统是最早的系统之一。该系统的事件自动检测算法的根据是通过跟踪和识别经过隧道的单个车辆数目来确定隧道内路段的车辆数。这种方法在隧道中很有用，但不适合用于高速公路事件自动检测。1968 年，得克萨斯运输局在 Detroit Jone C 地区的高速公路上对 6 种以微观交通流参数为基础的不同的事件检测方法进行了试验。研究中，事件检测所用的预先设定阈值与误警率有关。6 种算法都能检测出一些事件，但由于误报警率太高，用于实际控制时应进一步改进这些算法。1968 年，加利福尼亚运输局开发的事件检测算法得到最广泛的应用，被称为“加利福尼亚算法”，它所采用的交通检测参数是车道占用率。

(2) 70 年代高速公路事件自动检测算法

70 年代，Cook 和 Cleveland 提出了双指数平滑模型。经过比较，他们发现在确定交通流运行趋势时，更多地考虑最近的交通运行参数得出的结果较为精确。在此算法中，采用信号跟踪的方法来去掉统计数据中的随机噪声。Cook 和 Cleveland 认为，指数平滑算法能较准确地进行事件检测。

1973 年,美国联邦公路局开始组织进行先进的事件检测算法的研究。此项研究以洛杉矶和明尼阿波利斯两个城市高速公路监测系统所得的数据为基础,对 10 种高速公路事件自动检测算法进行研究比较,并开发了参数标定软件。研究表明加利福尼亚算法和指数平滑算法都能较好地进行事件检测。

(3) 80 年代高速公路事件自动检测算法

70 年代末 80 年代初,英国 TRRL (运输及道路研究所)研究了在交通流较大时,由车辆停驻或缓行造成的连续检测器占用情况,并提出了 HIOCC(高检测器占有率)算法。此算法在 Bedfordshire 的美国一号高速公路上使用效果较好。

许多 80 年代提出的算法运用了概率模型。在事件检测时并不只是简单地判断是否报警,而且给出事件发生的概率。另外,在算法研究中,常将算法作为整个高速公路管理控制系统的一部分来考虑。例如,将事件检测算法与进出口匝道控制、可变限速控制和民用广播电台信息提供系统相联系。

(4) 90 年代高速公路事件自动检测算法

90 年代,随着各种数学方法和计算机技术的进发展和成熟,高速公路事件自动检测算法开始运用各种比较成熟的新方法新技术,提出了新的事件自动检测算法,例如将神经网络理论用于事件自动检测。

随着智能运输系统(ITS)研究的兴起,由于采集的动态交通信息量大增,提高了事件检测效果,有关各方对交通事件检测系统的功能更加关注,高速公路事件检测算法研究又再一次成为热点。

4.2.2 交通事件自动检测经典算法

(1) 模式识别方法

模式识别方法的检测原理是通过一个或多个交通参数来判别事件模式和非事件模式,其难点在于阈值的确定。典型算法有 California 算法和 McMaster 算法以及以此为基础形成的多种改进方法。

California 算法。California 算法于 20 世纪 60 年代晚期研制,用于洛杉矶高速公路和监视控制中心,该算法属双截面算法。所谓双截面法是指根据两个相邻检测面的监视信息进行事件检测。加利福尼亚算法基于事件发生世上游截

面占有率将增加,下用检测界面占有率减少这一事实。它用一分钟平均占用率 $OCC(i, t)$, 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:

$$OCCDF = OCC(i, t) - OCC(i+1, t) \geq K_1 \quad (4-1)$$

$$OCCRDF = \frac{OCC(i, t) - OCC(i+1, t)}{OCC(i, t)} \geq K_2 \quad (4-2)$$

$$DOCCTD = \frac{OCC(i+1, t-2) - OCC(i+1, t)}{OCC(i+1, t-2)} \geq K_3 \quad (4-3)$$

说明: 在式(4-1)中 $OCCDF$ 为上下游占有率差值; 在式(4-2)中 $OCCRDF$ 为上下游占有率的相对差值; 在式(4-3)中 $DOCCTD$ 为下游检测站前后 2min 占有率相对差值。 i 表示上游检测站, $i+1$ 表示相邻的下游检测站。 K_1 、 K_2 和 K_3 分别表示相应的阈值。

如果上面三个条件都满足, 则判断事件发生。

1973 年 FHWA 项目组出资对加利福尼亚算法进行改进, 测试并确定了 10 种改进的加利福尼亚算法。在这 10 种算法中, 加州#7 和加州#8 提供了最好的较为全面的效果。

在加州#7 中第三个参数(见 4-3 式)被当前的下游占有率测量序列所取代, 因此压缩波, 即误警率重复发生的原因, 能很容易的识别出来, 而且该算法要求事件状态的持续检测必须至少重复 2 次。加州#8 使用抑制特性, 在压缩波被检测出来后, 推迟 5min 再发出事件警报。

加利福尼亚算法主要的不足是只考虑了与占有率有关的参数作为输入, 而没有考虑与流量有关的参数。加州#8 算法主要的优点是这种算法具有低的误警率(见第四章)。

McMaste 算法。McMaster 算法是基于突变理论开发的一种算法。该算法不仅能识别拥挤, 而且能确定拥挤原因(常发性拥挤或偶发性拥挤)。由于该算法是由加拿大 McMaster 大学土木工程系开发出来的, 因而称为 McMaster 算法。

McMaste 算法基于下述假设: 当交通从拥挤变为非拥挤状态时, 其速度急剧变化, 而流量和占有率缓慢的变化, 使用从拥挤到非拥挤交通变化的流量—

—占有率关系,该算法开发了流量——占有率模型。算法在模型和实际检测器数据之间进行比较。该算法把一个检测站采集到的交通流量和占有率作为这种算法的输入值。这种算法在运行过程中要把实测数据与流量 - 占有率模型相对照。这种算法应用了两个不同的流量 - 占有率模型,一个是用于正常流的检测站点,另一个用于常发性拥挤或偶发性拥挤的检测站点。如果发现一个事件连续三个时间段属于常发性拥挤或偶发性拥挤的流量 - 占有率模型,就会报警。

McMaster 算法和加州 # 8 算法相比有一些明显的优点。在这种算法中,下游检测器出现故障,不会影响事件的检测,这和加州 # 8 算法不同。这种算法在确认可能的事件时采用流量作为一项输入量,而加州 # 8 算法只考虑把占有率作为算法的输入量。并且此算法数据采样平均时间间隔为 30s,比加州 # 8 算法数据采样间隔 60s 要快。McMaster 算法在确认事件时也把常发性拥挤或偶发性拥挤考虑进去了,这样就会使得误警率更低。

McMaster 算法主要的不足是数据都是在同一道路截面的快车道上采集的。当交通事件发生在路肩或者是靠右的车道上时,这种算法会需要一个更长的检测时间,直到交通事件影响到快车道上的交通流时,它才会检测到事件的发生。

(2) 统计预测算法

这类算法是基于这样一种假设:交通流模型和交通特征满足统计学原理。此类算法先根据历史时间序列数据做出预测模型,并利用该预测值与实际观测值进行比较,两者之间的差异程度即作为事件发生与否的判定标准。根据模型的不同可分为以下几种算法。

标准偏差算法。标准差 (Standard Deviation) 算法由德克萨斯州交通协会 (TTI) 在 1970—1975 年期间开发的,用于休斯顿海湾公路 (I-45) 的交通监视和控制中心。该算法的原理是当交通参数发生突然变化,高速公路上存在交通事件。算法用超过一分钟时间的占有率平均值、标准差和历史数据的平均值、标准差进行连续比较。通常情况下,计算三分钟或者五分钟的均值和标准差,连续迭代一次或两次,当存在显著差异时,触发事件报警系统。

先计算历史数据的交通变量(一般为占有率)的平均值 \bar{x} 和均方根偏差值 S , 设当前测量值为 $x(t)$, 则定义标准偏差为:

$$SND = \frac{x(t) - \hat{x(t)}}{S} \quad (4-4)$$

当用其它算法检测到存在交通拥挤之后（不论是常发性拥挤或偶发性拥挤），就来检验 SND ，若 SND 超过门限值，则认为发生了交通事件。

贝叶斯算法。贝叶斯 (Bayesian) 算法采用的是当路段通行能力下降时，根据事件发生频率的历史数据，计算由下游车道堵塞引起的交通事件的概率。虽然该算法和 California 算法一样，使用相邻两个检测器之间的相对占有率之差作为基础，不同之处在于它是计算由事件引起的相对占有率之差的条件概率。完成该算法需要三个历史数据库，即交通事件发生条件下的流量和占有率、无交通事件发生条件下的流量和占有率及发生事件的类型、位置和影响。贝叶斯算法的检测逻辑是：如果连续检测数个周期的交通参数均超过阈值，则认为有交通事件发生。

时间序列算法。时间序列分析法包括移动平均 (Moving Average)、双指数平滑 (Double Exponential Smoothing)、高占有率 (High Occupancy Algorithm)、滤波算法 (Filter Model)、动态模型法 (Dynamic Model)。

时间序列分析法是根据系统观测得到的时间序列数据，通过曲线拟和合参数估计来建立数学模型的理论和方法。当时间序列用于交通事件检测时，就是采用了时间序列预测技术对未来的交通参数进行预测，用这个预测结果与相应时段的实测数据进行比较，当时间序列中实际的测量值严重偏离时间序列预测结果时，算法认为发生了事件。通过平滑长时间的原始数据以消除短期的交通扰动（例如随机波动、交通脉冲）。经过平滑的数据和事件发生的临界值进行比较，如果有显著差异，则证明有交通事件发生。

指数平滑法。指数平滑法 (Cook and Cleveland, 1974) 分为双指数平滑和单指数平滑，对原始数据进行处理。

指数平滑采用如下加权递推方法：

$$D_n = \beta S_n + (1 - \beta) D_{n-1} \quad (4-5)$$

$$S_n = \alpha Z_n + (1 - \alpha) S_{n-1} \quad (4-6)$$

式中： α 为单指数平滑因子， $0 < \alpha < 1$ ， β 为双指数平滑因子 $0 < \beta < 1$ ，

Z_n 为第 n 次观测值, S_i 为 Z 的单指数平滑值, $i = 0, 1, 2, \Lambda, n$, D_i 为 Z 的双指数平滑值, $i = 0, 1, 2, \Lambda, n$

交通事件检测的判别函数如下:

$$TS(x, t) = y(x, t) / m(x, t) \quad (4-7)$$

式中: $y(x, t)$ —累计误差; $m(x, t)$ —绝对平均偏差

$$y(x, t) = y(x, t-1) + e(x, t) \quad (4-8)$$

$$m(x, t) = \alpha e(x, t) + (1 - \alpha)m(x, t-1) \quad (4-9)$$

式中: $e(x, t)$ 为预测误差, α 为平滑因子。

按照公式(4-5)~(4-8)可算出 t 时刻的检测信号, 若超过门限值, 则认为有交通事件发生。

指数平滑法比较简单便于应用, 如果要求较高的预测精度, 可采用时间序列 ARIMA 模型方法。

滤波算法。滤波算法 (Stephanedes and Chassiakos, 1991, 1993) 首先对原始交通数据进行处理, 消除短期的交通扰动, 在此基础上判断是否存在拥挤以及是否属于由交通事件所引起的拥挤。

设 t 时刻从某路段上游、下游两个检测站测得的占有率分别为 $occ_u(t)$ 和 $occ_d(t)$, 则该路段内事件检测所采用的信号定义为此二占有率之差:

$$x(t) = occ_u(t) - occ_d(t) \quad (4-10)$$

为减少原始数据 $x(t)$ 所含随机误差的影响, 采用均值滤波的方法对实测数据进行处理。假设 t 时刻发生事件, 则计算出 t 之后 M 分钟内 $x(t)$ 的均值 $y_a(t)$ 和 t 之前 N 分钟之内 $x(t)$ 的平均值 $y_b(t)$:

$$y_a(t) = \frac{1}{M+1} [x_1(t) + x_2(t+1) \Lambda + x_m(t+m)] \quad (4-11)$$

$$y_b(t) = \frac{1}{M+1} [x(t-n) + \Lambda + x(t-1) + x(t)] \quad (4-12)$$

一般取 $M=3$ 、 $N=5$ 。公式 4-10, 4-11 具有低通滤波性质, 限制了不希望的高频成份, 所以 $y_a(t)$ 和 $y_b(t)$ 所含的随即成份大大减少。交通流变化过程具

有很大的惯性，其演变总是较多的受先前状态的影响，不应该出现严重的不均匀和急剧的不连续，除非有严重的交通事件发生。

为了在不同占有率情况下使用相同的门限值，对 $y_a(t)$ ， $y_b(t)$ 作归一化处理。引入变量 M_t ，它表示 t 之前 N 分钟内上游和下游检测站平均占有率之最大者。

$$M_t = \frac{1}{N+1} \max \left\{ \sum_{i=0}^N occ_u(t), \sum_{i=0}^N occ_d(t) \right\} \quad (4-13)$$

若 $\frac{y_a(t)}{M_t}$ 大于门限值 K_1 ，则存在拥挤；若 $\frac{[y_a(t) - y_b(t)]}{M_t}$ 大于门限值 K_2 ，

则有事件发生。

公式(4-9)~(4-12)均假定 $occt(t)$ 的检测周期为 1min，若检测周期为 30s，则取 $M=6$ ， $N=10$ 。

交通流动态模型法。交通流动态模型法使用复杂的交通流理论描述和预测由事件发生和无事件发生的交通行为，用实测的交通参数与预测的交通参数相比较。交通流动态模型法有多重模型法(MM 法：Multiple Model)和概率统计法 (GLR 法：Generalized Likelihood Ratio) 两种算法。这类方法是建立在微观动态模型基础上的，该算法假设速度 V 、密度 ρ 、流量 q 服从线性高斯分布，相邻检测器间流量的变化(dq/dt)和速度的变化(dv/dt)为高度非线性关系。

MM 法 (Willsky et al, 1976, 1980) 依据 N 种假设，例如交通事件、交通冲击波、检测器失灵等分别建立模型。MM 法的目的是辨识如下线性高斯系统：

$$dX(t)/dt = AX(t) + W(t) \quad (4-14)$$

$$z(t_k) = C + v(t_k) \quad (4-15)$$

式中： $x(t)$ 为交通状态变量， $x(t) = [\rho_1(t), v_1(t), \rho_M(t), v_M(t)]^T$ ； M 表示模型中的高速公路段数； $z(t_k)$ 表示输出序列； $W(t), V(t)$ 表示零均值白噪声； A, C 表示状态阵。 N 个假设模型为：

$$dX_i(t)/dt = A_i X_i(t) + W_j(t) \quad i = 0, 1, 2, \Lambda, n \quad (4-16)$$

$$z(t_k) = C_i X_i(t_k) + V_i(t_k) \quad i = 0, 1, 2, \Lambda, n \quad (4-17)$$

MM 法为判别一组 N 个假设模型中每个模型的有效性，对每个模型做一次卡尔曼滤波，滤波中一步预测估计的误差为：

$$r_i(t_{k+1}) = z(t_{k+1}) - \hat{C}_i \hat{x}_i(t_{k+1} | t_k) \quad (4-18)$$

将式 4-16 被用来确定所假设模型的条件概率。若式 4-16 接近于零均值白噪声则说明该假设模型的状态估计 \hat{x} 最接近于当前系统，就可以判断该假设模型表征的交通状况已经发生。

GLR 法假设正常状况下动态交通流系统是一个线性高斯系统：

$$dX(t)/dt = AX(t) + W(t) \quad (4-19)$$

$$z(t_k) = CX(t_k) + V(t_k) \quad (4-20)$$

对模型进行卡尔曼滤波，假设 θ 为 t 时刻由于发生交通事件而产生突变，模型产生如下残差：

$$r(t) = \alpha g(t, \theta) + \bar{r}(t) \quad (4-21)$$

式中： $\bar{r}(t)$ 表示正常状态的零均值残差； $g_i(t, \theta)$ 表示 t 时刻引入 r 和 θ 时刻发生类型 I 突变时模型输出值； α 表示突变系数。

N 个假设突变所产生的卡尔曼滤波输出 $g_i(t, \theta)$ 的互相关系数为：

$$d_i(t_k, \theta) = \sum_{m=1}^k g_i(t_m, \theta) v^{-1}(t_m) r(t_m) \quad (4-22)$$

设

$$s_i(t_k, \theta) = \sum g_i(t_m, \theta) v^{-1}(t_m) g(t_m, \theta) \quad (4-23)$$

则 θ 时刻，类型 I 事件发生的概率为：

$$I_i(t_k, \theta) = d_i^2(t_k, \theta) / s_i(t_k, \theta) \quad (4-24)$$

令

$$I_i(t_k) = \max_{\theta} I_i(t_k, \theta) \quad (4-25)$$

如果 $I_i(t_k)$ 超过门限值，则认为 θ 时刻有类型 I 事件发生了，Willsky 研究

表明门限值选为 16 时,误报率小于 0.02%。交通流动态模型法优点是效果可靠,缺点是需建立大量模式特征模型,使得这种方法的实用性受到了限制。

通过对模式识别和统计预测两种事件检测算法的分析介绍,本文选择应用较为广泛的加利福尼亚算法、检测率较高的标准偏差法和误报率较低的滤波算法作为验证算法。从事件检测评价指标来看,本论文选择的比较算法具有代表性,很有说服力。

4.3 基于神经网络技术的交通事件检测算法综述

为了能更好地模拟实际交通流状况,许多人花费大量的精力不断地探讨、创新、改进、再检验,重点在于表达式的修改、修正项的增补、参数的调整,就使得模型日趋复杂化。模型用于检测交通事件的效果虽有所改进,但其实用性不高。事实上,由于交通流是无穷维的、非线性的、随机的、时变的和高阶的,非常复杂的动力学系统,想在理论知识基础上,推导某种规律来描述交通流,是不可能涵盖它的全部特性的。随着人工神经网络(Artificial Neural Network)技术不断的成熟和发展,人们把神经网络应用于交通事件的自动检测系统,神经网络能够把不同的交通状态同交通数据中的事件模式和非事件模式相对应,无需像传统算法那样建立数学模型,也就没有模型不完善造成检测精度降低的问题。本章将着重论述如何应用神经网络算法实现对交通事件的检测。

4.3.1 神经网络简介

神经网络,又称为人工神经网络,是指为了模拟动物神经细胞群学习特性的结构和功能而构成的一种信息处理系统或计算机系统,由于拥有很强的适用于复杂环境和多目标控制要求的能力,并具有以任意精度逼近任意非线性连续函数的特性(自组织,自学习,自适应)而适用于复杂系统的控制应用领域。神经网络在语音识别,字符识别,影像技术,图案识别和分类,信号过程,过程控制和优化等领域得到许多应用。特别值得指出的是进入九十年代后,神经网络在交通运输系统中得到了较广泛的应用,涉及的领域有汽车驾驶员行为的模

拟、参数估计、路面维护、车辆检测与分类、交通流预测、交通模式识别、交通控制、运输策略及经济、空中运输、船舶导航与识别、地铁运营等。

神经网络的应用过程由两个阶段组成：学习期和工作期。学习期也称为设计期，通过对样本的学习逐渐调整神经元之间的连接权值，直到实现预定的精度为止，这一阶段往往需要较长的时间。在工作期内，网络的权值不再发生变化，在给定输入的情况下，网络按照其内部机制快速计算出指定变量的结果。

从生物控制论和信息处理的角度来看，一个基本的人工神经元模型是一个多输入单输出的非线性处理器（Non-linear Processing Element），其结构如图 4-5 所示。

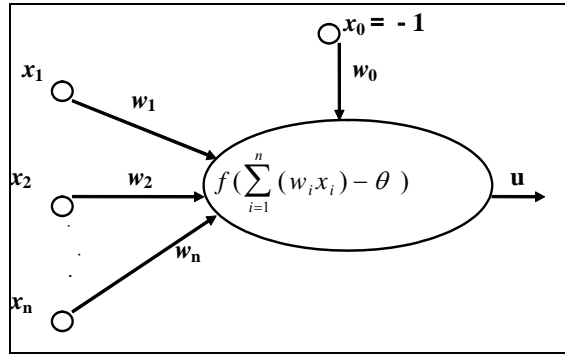
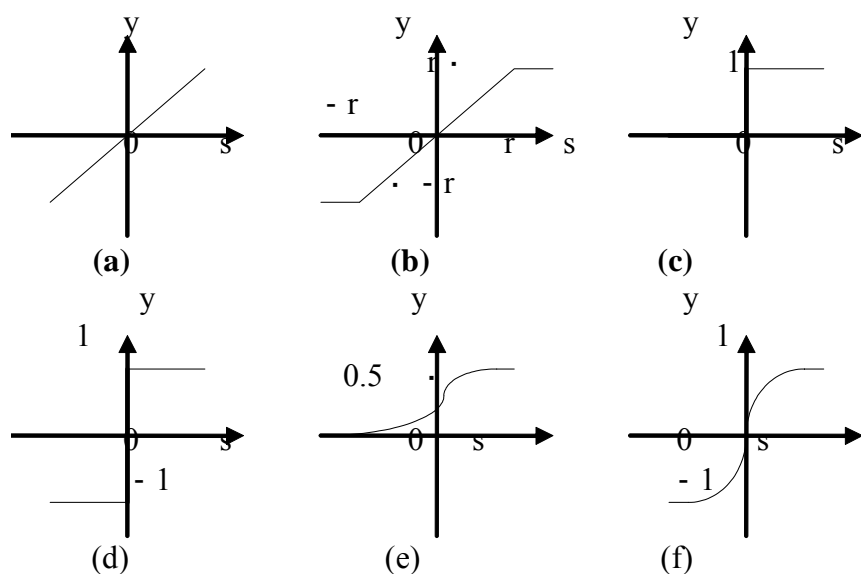


图 4-5 人工神经元模型

它共有 n 个输入 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ ， w_i 是与之相应的连接权值。为神经元内的阈值，用 $x_0 = -1$ 代表固定偏置输入，令其相应的连接权值 $w_0 = \theta$ ，则有：

$$u = f\left(\sum_{i=1}^n (w_i x_i) - \theta\right) = f\left(\sum_{i=0}^n w_i x_i\right) = f(W^T X) \quad (4-26)$$

式中 $f(\cdot)$ 称为转移函数，其作用是将可能的无限域变换到某一指定的有限范围内输出。 $f(\cdot)$ 同时也是人工神经网络设计中的第一个要素，图 4-6 给出了常用的几种转移函数曲线。 W 和 X 分别是由 w_i 和 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 构成的列矢量， W^T 是 W 的转置。



(a) 线形函数 (b) 斜坡函数 (c) 阶跃函数 (d) 符号函数
(e) S 形(Sigmoid)函数 (f) 双曲正切函数

图 4-6 几种常见的人工神经元转移函数

人工神经网络设计的第二个要素是其网络结构。根据神经元间的连接方式可分为前馈（Feedforward）网络和反馈（Feedback）网络，其一般结构如图 4-7 前馈神经网络结构和图 4-8 反馈网络(单层互连网络)结构。

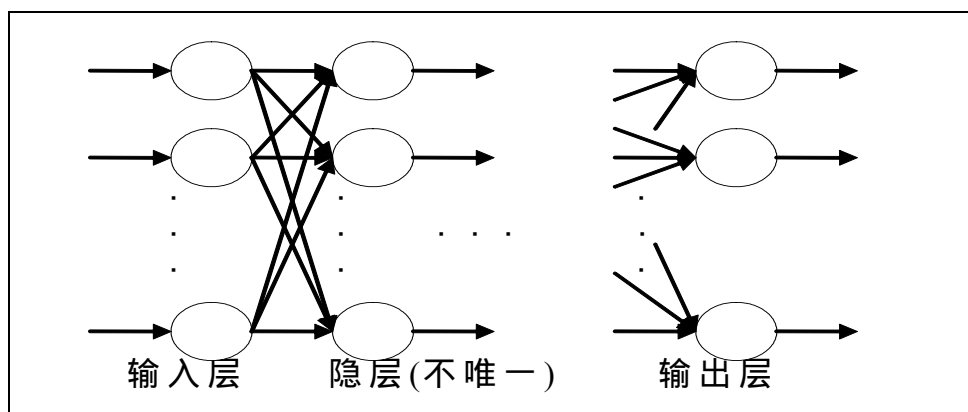


图 4-7 前馈神经网络结构

通常的前馈网络包括 MADLINE 网络、多层感知器网络（MLPN）、径向基函数网络（RBFN）、函数链网络（FLN）、概率神经网络（PNN）等；反馈网络包括 Hopfield 网络、Boltzmann 机、ART 网络等。

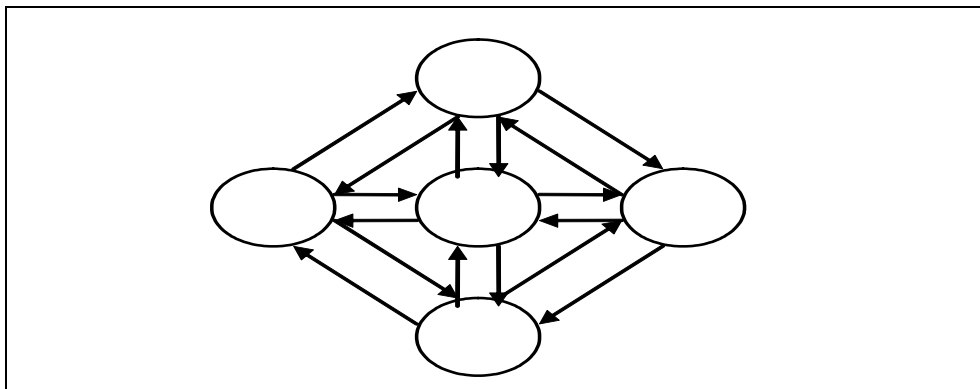


图 4-8 反馈网络（单层互连网络）结构

人工神经网络设计的第三个要素是其学习方式。在结构和转移函数确定以后，如何调整网络权值就成了人工神经网络设计的关键。学习方式主要有有导师学习（Supervised Learning）和无导师学习（Unsupervised Learning）两种，前者强调如何调整权值使得网络的实际输出与外部的期望输出尽可能一致，而后者重在通过调整参数使得网络的实际输出能够反映样本的统计分布。

4.3.2 神经网络在交通事件自动检测中的应用

随着神经网络在交通运输系统中广泛的应用，我国也有很多专家对基于神经网络的交通事件检测算法进行研究，现对其进行归纳总结。

（1）基于多层感知器（MLP）神经网络典型算法

多层感知器神经网络是一种前馈神经网络，是一类功能强大、应用最为广泛的模式分类器。典型的基于 MLP 网络的事件检测模型结构如图 4-9 所示。

西安公路交通大学的黄惠丹硕士在 1996 年的毕业论文中介绍了基于 MLP 神经网络的交通事件检测算法。该算法的神经网络共有三层：输入层、隐层和输出层。

输入层的神经元数等于选定的输入参数的个数共 16 个输入参数，具体为上游站 T 直到 $T - 4$ 时刻的流量和占有量，下游站在 $T, T - 1, T - 2$ 时刻的流量和占有率。输出层神经元为 1 个，分为两种状态，事件状态取值为 1，非事

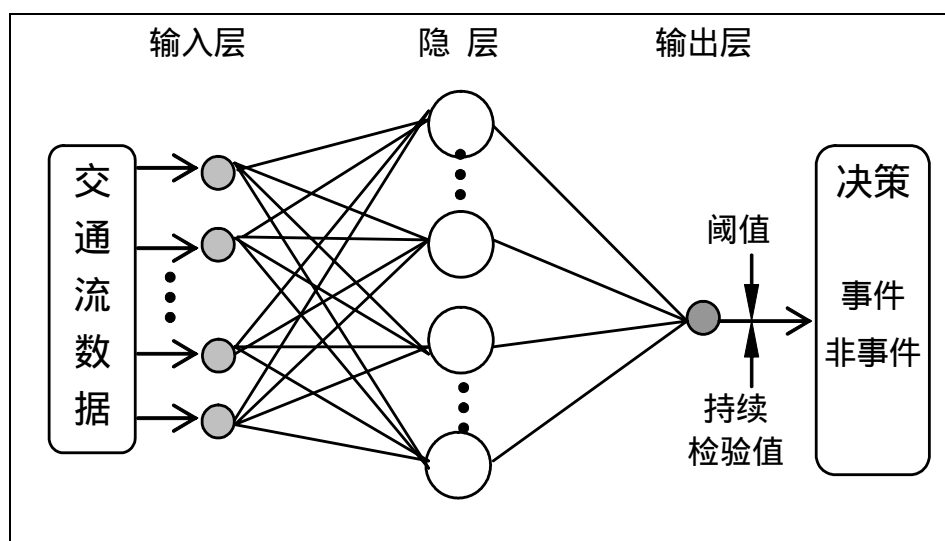


图 4-9 基于 MLP 网络的事件检测算法模型

件状态取值为 0。

MLP 的输出是 $[0, 1]$ 之间的实数，大于阈值认定为事件状态，小于阈值认为是非事件状态。连接不同层的是转移函数。采用误差逆传播（简称 BP 算法）训练多层神经网络。

（2）基于多层感知器（MLP）神经网络改进算法

西安交通大学的姜子峰，刘小坤对典型的基于 MLP 网络的事件检测算法作了进一步的改进，并把研究成果发表在 2000 年 7 月的西安公路交通大学学报上，具体的改进做法如下：

采用一个 4 层的 BP 网络代替 3 层的 BP 网络，网络结构选择网络选取为 $17 \times 25 \times 3 \times 1$ 的结构，即网络由输入层、隐层 1、隐层 2 和输出层共 4 层组成。其中输入层有 17 个节点，具体为上游站 T 直到 $T - 4$ 时刻的流量和占有量，下游站在 $T, T - 1, T - 2$ 时刻的流量和占有率。该算法又考虑了实际天气情况如雾、风、雨、冰雪等对交通状况的影响，把天气情况作为一个输入，这样网络共有 17 个输入变量，隐层 1 有 25 个节点，隐层 2 有 3 个节点，输出层有 1 个节点。隐层 1 的节点数据是通过反复调试获得的。隐层 2 的节点数之所以取 3，是考虑到在输出层给出最终结果之前，用隐层 2 的 3 个节点分别代表自由流、阻塞流和临界 3 种不同状态，以便能依据它们的取值，对此刻的交通状况有一个粗略的了解，从而增加输出结果的可信度。

上述神经网络算法是根据输入不同采样间隔的交通参数来进行事件检测的,其不足之处有三点: 需要更多的环形线圈检测器,增加了检测成本。必须是不同的采样间隔时间,使得神经网络对于交通事件的反映不敏感。该神经网络类型和结构固定,对于不同的高速公路,其检测效果并不理想,甚至是该网络模型完全失效,推广能力不好。因此在设计算法时要尽量克服上述神经网络的不足,以满足社会的需求。

4.3.3 新算法设计

自20世纪60年代开始的交通事件自动检测系统的目标一直是协助交通管理部门处理交通事件。尽管已开发并投入使用了多个自动事件检测系统,但是居高不下的误警率和较低的检测率,让一些交通管理者不得不放弃它的使用。为了提高自动事件检测系统的可靠性和实用性,本文第二章对高速公路交通事件管理系统需求进行了调查研究,在本章提出了一种基于神经网络技术的具有三级报警制度的高速公路交通事件检测算法,取得比较理想的检测效果。

以往的自动事件检测系统一般先对实时交通流数据进行预处理,后通过检测算法判断事件是否发生。一旦计算结果为事件状态(或经过指定次数的持续计算后)即触发事件警报,由交通事件的管理者进行相应的处理。这种工作程序不足以充分发挥自动事件检测算法的检测作用。一方面,如果发出的警报是可靠的,则因为较长的检测时间而可能导致更多人的车辆进入甚至卷入交通事件中,削弱了自动事件检测系统的预警作用;另一方面如果发出的警报是一个误警的话,则会浪费救援资源,并降低有关人员自动事件检测系统的信任。因此从高速公路交通事件管理系统宏观角度看,自动事件检测系统的警报应该有三个层次。第一是要求平均检测时间尽可能短的一级警报,可用于出行者信息系统,采用信息板等形式提醒上游的驾驶员对可能发生的拥挤注意(减速、改道)。第二是各种指标都居中的二级警报,供交通事件管理者准备救援手段(如通知有关交警、医院、消防、道路部门等)。第三是误警率较低的三级警报,供交通事件救援单位采取救援行动。因此,本文提出了如图4-10所示的自动事件检测系统结构框架。

SNN(Statistical Neural Networks)是目前国外较成熟的神经网络软件,具有

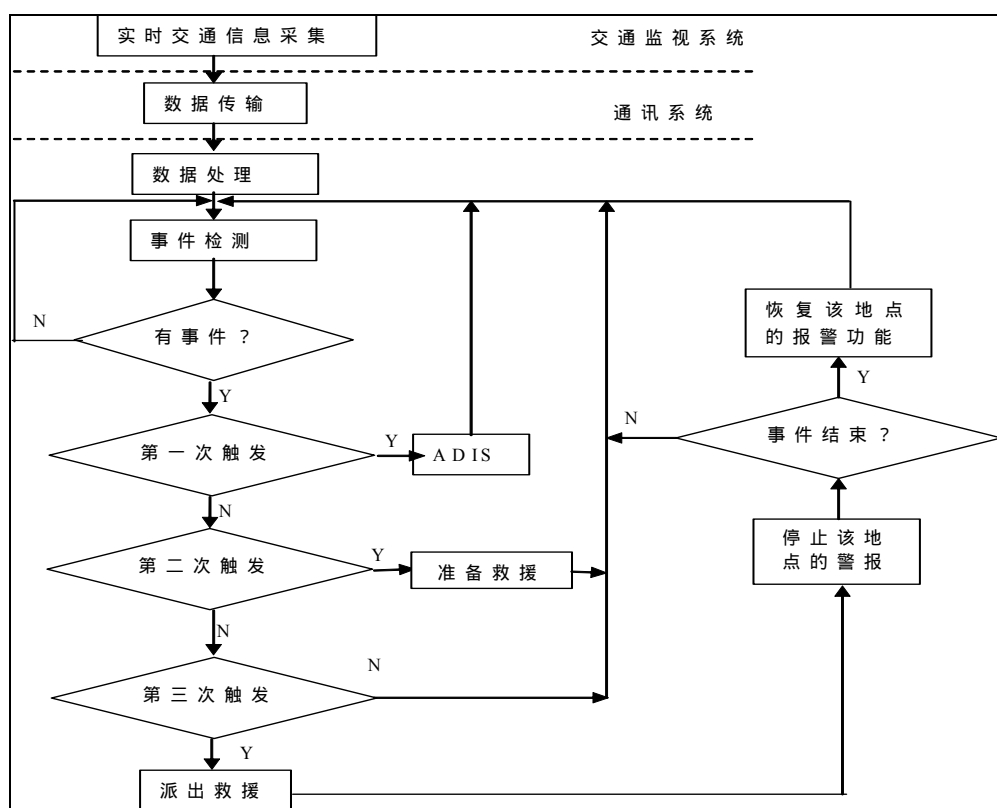


图 4-10 自动事件检测结构框架

自动选择输入变量、输出变量，自动设计神经网络和自动选择隐层节点，能够对样本交替训练和测试、对多种网络进行评价并按顺序给出预定数量的网络结构与权值自动选择算法。

本算法设计的思路是通过对单环形线圈采集到的交通参数进行预处理，形成一定格式的数据集合，然后以此数据作为 SNN 软件的输入数据，通过 SNN 软件对多种神经网络类型和网络结构自动选择，最终确定神经网络模型为多层感知器(MLP)神经网络。上游检测器神经网络模型隐层节点数为 8 个，下游检测器神经网络模型中隐层节点数为 18 个。

由于交通事件检测是模式识别的过程，为了提高算法的推广能力，就必须尽可能少用或不用有具体时空特征的指标。这里采用流量和占有率两个交通参数与其相应的移动平均值之比作为 SNN 软件的输入信息。我们按照交通流的方向每隔一段距离安装一个单环形线圈检测器，两个检测器之间称为检测区。

神经网络模型上游检测器的模型输入数据如 (4-27)和(4-28)二式所示。

$$X_{u1}(t) = \frac{occ(t)}{occ_n(t)} \quad (4-27)$$

$$X_{u2}(t) = \frac{occ(t)/vol(t)}{occ_n(t)/vol_n(t)} \quad (4-28)$$

在(4-27)和(4-28)式子中 $occ(t)$ 表示 t 时刻上游占有率, $occ_n(t)$ 表示 t 时刻占有率移动平均值。 $vol(t)$ 表示 t 时刻的流量, $vol_n(t)$ 表示 t 时刻流量的移动平均值。

神经网络模型下游检测器的模型输入数据如 (4-29)和(4-30)二式所示。

$$X_{d1}(t) = \frac{occ(t)}{occ_n(t)} \quad (4-29)$$

$$X_{d2}(t) = \frac{occ(t) \times vol(t)}{occ_n(t) \times vol_n(t)} \quad (4-30)$$

在(4-29)和(4-30)式子中 $occ(t)$ 表示 t 时刻占有率, $occ_n(t)$ 表示 t 占有率移动平均值。 $vol(t)$ 表示 t 时刻的流量, $vol_n(t)$ 表示 t 时刻流量的移动平均值。

模型的输出分别为上游和下游检测器所处的交通流状态。按惯例,事件状态取值为 1, 非事件状态取值为 0。

本算法的“新”主要体现在(1)输入指标不是单独的交通流参数,而是几个参数的组合,这样可以更充分地利用交通数据中包含的交通事件信息。(2)网络结构的确定方法,由 SNN 软件对多种网络进行比较选出最佳的网络类型和网络结构。(3)三级报警制度,设计了三个报警阈值分别用于不同用户的需要。

4.4 实证研究

4.4.1 数据来源及预处理

由于实际交通事件下的交通参数数据通常都比较难以采集,而且所采集到

的数据往往都存在事件发生和结束的时间不准确、数据规模小等问题。另外，受到我国高速公路基础设施以及人力、物力的限制，至今难以采集到完整的交通事件下的交通流数据。因此这里采用模拟数据进行神经网络的训练及测试与比较验证。

本文选择一段长达 3.6 公里的高速公路区段为模拟的目标路段。其道路、交通量参数如表 4-1 和 4-2 所示。

表 4-1 道路参数表

检测站	起 始 点	长度 (m)	坡度 (%)	超高 (%)	曲率半径(ft)
1	1090	100	1	-3	-
2	1450	100	1	0	1700
3	2770	170	0	-3	-
4	3440	220	0	-3	-
5	4060	250	1	-3	-
6	4510	220	-2	-4	2400

表 4-2 模拟数据中的交通量参数

时间	1 号检测站	2 号检测站	3 号检测站	4 号检测站	5 号检测站	6 号检测站
08	3750	697	1143	670	205	449
09	3549	593	1065	744	238	442
10	2687	413	839	529	178	434
11	2379	428	867	397	140	490
12	2652	460	1006	395	154	574
13	2598	412	1070	414	164	638
14	2988	465	1130	450	178	690
15	3184	528	1154	490	227	688
16	3208	506	992	482	199	617
17	3063	593	910	483	199	531

目标路段示意图如图 4-11 所示。

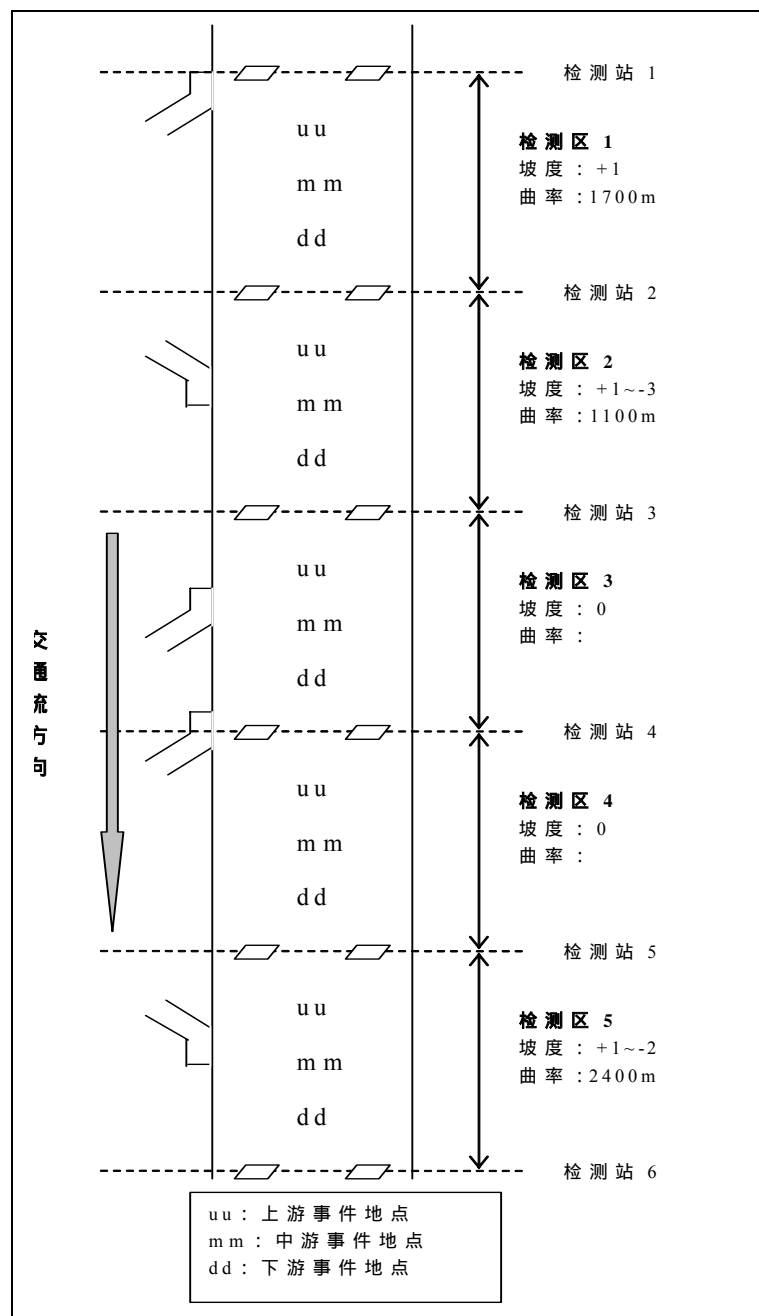


图 4-11 目标路段示意图

运用 FRESIM 软件分别对不同交通条件下的各种严重程度及位置（检测区上、中、下游）的事件（事故）进行了 300 次模拟。每次模拟持续 35 分钟，

其中前 15 分钟用于计算交通流参数的移动平均值的初始值,事件发生在第 25 分钟,其前的 10 分钟为非事件状态,其后的 10 分钟为事件状态。以 30 秒为一个时段采集每个检测站的流量、占有率、速度和车头时距。

数据预处理包含两个步骤:首先对检测站提供的实时交通流数据(流量和车道占有率)进行检查。对检测器故障、传输线路故障等非交通流因素进行分析和判别,并进行相应的处理。然后以移动平均的方式得到交通参数时间序列的移动平均值,以此作为没有随机干扰和交通事件的“正常”交通流参数。

4.4.2 算法对比分析

(1)交通事件自动检测算法的评价指标

通常用于评价交通事件自动检测算法的性能指标有检测率、误报率和平均检测时间。

检测率是指在指定的时间段内检测到的交通事件数占事件发生总数的比例。一般情况下,该指标越高越好。交通事件自动检测算法通常难以全部检测出发生的所有事件,尤其是对车流影响并不显著的轻微事件,但从交通控制的观点来看,交通事件的影响越小,则其重要性就不大。如欲提高对交通事件的检测率,通常会产生较多的误报次数。

误警率是在一定时间段内,误警数占总的检测次数的比例。其中误警数量既包括发生交通事件而未发出警报的次数,也包括发出警报而实际并未发生交通事件的次数。一般情况下,该指标越低越好。为了降低误警率,目前普遍采用的方法是进行持续性测试(Persistence Test),就是在呈报交通事件信号之前,要求这个事件信号必须持续某一个时间长度。在算法中加以持续性测试,可以有效的降低误警率。

平均检测时间是在一定时间段内检测每一个事件所用时间的平均值。一般情况下,该指标越低越好。三个指标是相互关联的,降低误警率的代价是交通事件的平均检测时间延长,而缩短平均检测时间会导致误警率上升和检测率下降。一般的做法是将误警率限制在一个可接受的范围内而尽量改善检测率和平均检测时间。

交通事件自动检测算法可能产生的结果包括:无事件正确检测、有事件正

确检测、无事件错误报警以及事件漏检四种结果，其相互关系如表 4-1 所示。

表 4-3 事件检测算法的可能计算结果

检测算法计算结果	实际状态	
	无 事 件	有 事 件
无 事 件	正确检测	漏 检
有 事 件	错误警报	正确检测

(2) 各种算法的对比分析

使用上述的模拟数据对设计的新算法进行训练和测试 ,并与传统的加利福尼亚算法、滤波算法、标准偏差法进行较比和验证。得到了以下结果，列于表 4-2~表 4-5。

表 4-4 基于 MLP 神经网络算法的检测效果

K1	K2	检测率	检测时间	误报率
0.1	0.2	98.333	2.805	7.591
0.1	0.25	93.333	3.151	5.583
0.1	0.5	90	3.555	3.9
0.1	0.75	86.666	3.759	2.55
0.8	0.85	65	4.192	0.358
0.85	0.25	75	3.511	0.558

表 4-5 加利福尼亚算法的检测效果

阈值			检测结果		
K1	K2	K3	检测率	误报率	检测时间
-2	-0.18	-8	96	15.5	8.556
4	0.02	0.12	91	10.5	5.8
10	0.35	0.13	85	6.5	2.533
22	0.55	0.15	75	3.5	0.9333
40	0.78	0.16	65	2.45	0.5833

表 4-6 标准偏差法的检测效果

阈值	检测结果		
K	检测率	误报率	检测时间
-1.4402	98	18.9	9.333
-0.8968	92	12.6	7.3
-0.3274	87	8.8	5.1

0.1593	77	4.5	2.933
0.1877	69	3.43	1.533

表 4-7 滤波算法的检测效果

阈值		检测结果		
K1	K2	检测率	误报率	检测时间
0.89	1.02	98	15.48	9.583
1.05	1.13	95	12.64	6.5
1.15	1.37	90	8.64	2.933
1.54	1.49	84	4.96	0.8
1.95	2.07	72	2.4	0.6

根据上述结果，绘制了检测率与误警率、检测率与检测时间以及检测时间与误警率之间的关系图，如图 4-12、4-13、4-14 所示。

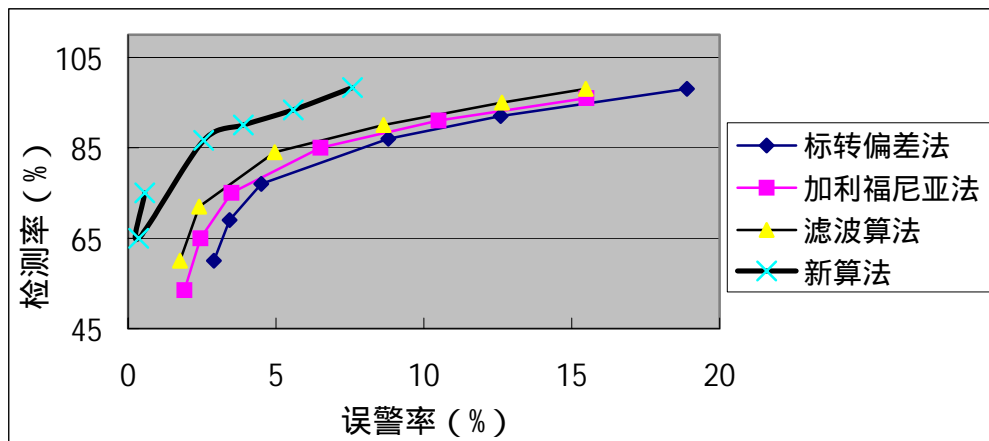


图 4-12 检测率与误警率关系图

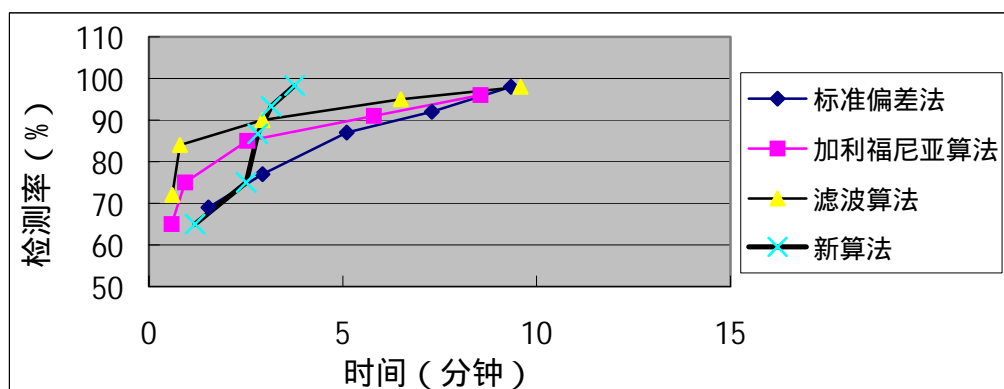


图 4-13 检测率与检测时间关系图

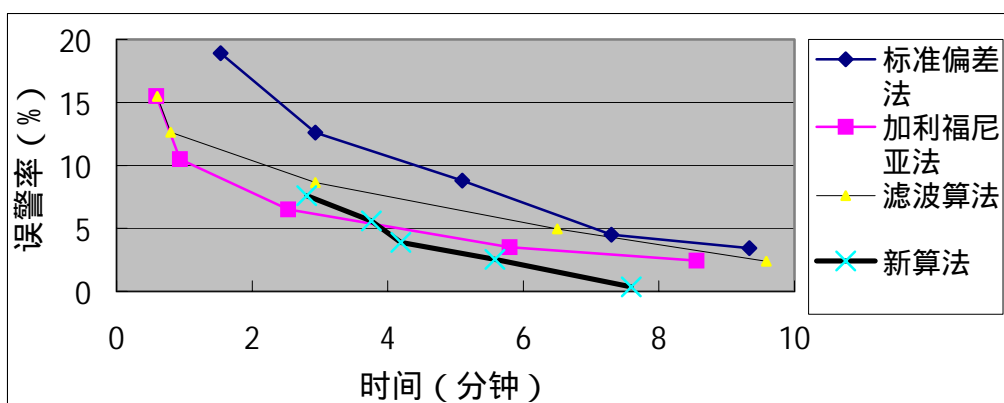


图 4-14 误警率与检测时间关系图

从图 4-11 可以看出，在相同的误警率条件下，滤波算法的检测率优于加利福尼亚算法和标准偏差法。相比之下新算法的误警率总是控制在 10% 以内，且当检测率较高时，其误警率明显低于传统的事件检测算法。因而，新算法在较高的检测率时，可以保持非常低的误警率。

在图 4-12 中，新算法在 5 分钟的检测时间内，检测率就能达到 100%。而传统事件检测算法检测时间在 5~10 分钟的范围内时，其检测率才趋于 100%。这说明新算法可以在更短的时间内检测到所发生的交通事件。

从图 4-13 可以看到的，新算法在 4~8 分钟内，即可将误警率控制在 5% 以下，超过 8 分钟，误警率几乎为零，大大优于对比算法。这显示了我们算法的优越性。

通过使用模拟数据对几种传统的算法进行深入研究对比之后，我们发现只

用流量、占有率这两种交通参数的某种比率形式,作为神经网络算法的输入变量,就能获得比传统的事件检测算法好的检测效果。

由于条件所限,神经网络模型算法与传统的事件检测算法缺乏实测数据验证,我们期望随着我国高速公路事件管理系统的逐步完善,在下一步的研究中能够完成相应的验证工作。

4.5 小结

本章首先分析了高速公路发生交通事件时交通流的变化规律,然后介绍了高速公路交通事件检测算法的历史现状,并对传统的事件检测算法进行了综述,接下来提出了基于神经网络的新的交通事件检测算法,最后对新算法进行了实证研究,并与经典算法进行对比分析。结论表明,新算法明显优于传统的事件检测算法。

第五章 结论与展望

本论文以国家自然科学基金项目“智能化高速公路突发事件监控系统关键理论与方法研究”和吉林省科学技术研究计划项目“高速公路交通事件自动检测系统研究”为依托，结合我国国情，对高速公路交通事件管理系统中的若干问题进行了研究，取得以下几项研究成果：

(1)通过对高速公路交通事件管理系统需求的调查，本论文得到了交通事件自动检测算法评价指标的社会需求值，以及发生交通事件时，社会对高速公路交通事件管理系统所采取的诱导手段、控制方式以及信息发布的实际需求。调查所得到的结果，为高速公路交通事件管理系统的建立提供了依据。

(2)通过对交通检测器性能对比分析，以及检测器空间位置定性和定量的分析，得到了服务于交通事件自动检测的空间布置的一般方法。

(3)在高速公路交通事件自动检测算法研究中，开发了基于神经网络的交通事件检测新算法，取得了良好的检测效果。

在这两个项目的研究过程中，还应该注意以下几个问题：

(1)由于条件所限，神经网络模型算法缺乏实测数据验证，随着我国高速公路事件管理系统的逐步完善，还需完成相应的验证工作。

(2)应建立高速公路交通数据采集、整理和存储的统一规范，以满足进一步研究的需要。

(3)进一步对不同区域进行相关调查，以便得到反映我国高速公路交通事件管理系统的社会需求。

参考文献

- [1] 刘伟铭, 高速公路系统控制方法, 人民交通出版社, 1998, 北京, pp. 1-100
- [2] 姜紫峰, 荆便顺, 人工神经网络在交通领域中的应用, 公路交通科技, Vol. 14 No. 4, 1997
- [3] 姜桂艳, 温慧敏, 杨兆升, 高速公路交通事件自动检测系统与算法设计, 交通运输工程学报, Vol. 1 No. 1, 2001. 3, pp. 77-81
- [4] 姜桂艳, 温慧敏, 杨兆升, 邵长丰, 基于神经网络的高速公路交通事件自动检测算法研究, 2001 海峡两岸智能运输系统学术研讨会论文集 (CD), 2001 年 8 月 17 日—18 日, 武汉
- [5] 姜桂艳, 温慧敏, 杨兆升, 基于神经网络的高速公路交通事件自动检测算法研究, 第四届全国交通运输领域青年学术会议, 2001, 10 月 18 日 - 21 日, 南京, pp. 1102-1106
- [6] 吉林省科委项目“高速公路交通事件自动检测系统研究”申报书, 2000. 3
- [7] Development of an Expressway Incident Detection Algorithm for the ADVANCE Area Based on the California Algorithm Set ADVANCE Project Technical Report
- [8] 高海龙, 王春燕, 王笑京, 基于 GIS 支持的高速公路事件管理系统, 2001 海峡两岸智能运输系统学术研讨会
- [9] Freeway Incident Management Handbook, Report No. FHWA-SA-91-056
- [10] Incident Management: Challenges, Strategies and Solutions for Advancing Safety and Roadway Efficiency – Final Technical Report, ATA Foundation in association with Cambridge Systematics, February 1997.
- [11] Roper, D.H., Freeway Incident Management, NCHRP Synthesis of Highway Practice 156, National Research Council, Washington DC, 1990
- [12] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Detection Technology for IVHS Volume I: Final Report, Publication

- No. FHWA-RD-95-100, December 1996
- [13] Incident Detection Algorithm, Traffic Engineering & Control, June and July, 1983
- [14] M. Levin and G.M. Krause, Incident Detection Algorithms, Part 1, Off Line Evaluation, Illinois Department of Transport, 1980, pp.49-58
- [15] M. Levin, G.M. Krause and J.A. Budrick, Incident Detection Algorithms, Part 2, On Line Evaluation, Illinois Department of Transport, 1980, pp.58-64
- [16] Marc Solomon, A Review of Automatic Incident Detection Techniques : Draft ADVANCE Program Technical Report NU-1d.1-1, NSF Research Fellow Transportation Center Northwestern University, 1991
- [17] C.L. Dudek, C.J. Messer, and N.B. Nuckles. Incident Detection on Urban Freeways, Transportation Research Record no. 495, 1974.
- [18] Hussein Dia and Geoff Rose, Developing and Evaluation of Neural Network Freeway Incident Detection Models Using Field Data, Transportation Research Part C, Vol.5, No.5, 1997, pp.313-331
- [19] 王伟, 人工神经网络原理—入门与应用, 北京航空航天大学出版社, 1995, pp1-50
- [20] 王文成, 神经网络及其在汽车工程中的应用, 北京理工大学出版社 1998 年
- [21] 张秀媛, 达庆东, 张国伍, 公路自动事件检测技术, 系统工程理论与实践, 2001.6. 第 6 期, pp.118-124
- [22] 李江、王文智编著, 交通工程调查指南, 人民交通出版社 1998 年 2 月
- [23] 韩直, 交通异常自动检测系统, 同济大学博士论文, 1994
- [24] 李智, 高速公路交通异常自动检测方法研究, 同济大学硕士学位论文, 1997
- [25] 黄惠丹, 交通事件检测算法的研究, 西安公路交通大学硕士学位论文, 1996
- [26] 张秀媛、达庆东, 张国伍, 公路自动事件检测技术, 系统工程理论与实践

践, 2001 年 6 月

- [27] 史新宏、蔡伯根, 高速公路自动事件检测算法, 交通运输工程系统与信息, 2001 年 11 月
- [29] M. Levin and G. M. Krause, Incident Detection Algorithms, Part 1, Off Line Evaluation, Illinois Department of Transport, 1980, pp. 49-58
- [30] Harold J. Payne and Stephen M. Thompson, Development and Testing of Operational Incident Detection Algorithms: Technical Report, September 1997
- [31] Srinivasan D., Cheu, R. L. et al., Development of an Intelligent Technique for Traffic Network Incident Detection, Engineering Application of Artificial Intelligence, No. 13, 2000, pp. 311-322
- [32] Yorgos J. Stephanedes and Xiao Liu, Artificial Neural Network for Freeway Incident Detection, Transportation Research Record No. 1494, TRB, 1995
- [33] Abdulhai, B., and Ritchie, S. G., Performance of Artificial Neural Networks for Incident Detection in ITS, ASCE Transportation Congress, 1995, pp. 227-238
- [34] 徐岩宇、徐岩涛, 一种基于 ATMS 的动态交通事件检测系统, 公路交通科技, 1998 年 9 月
- [35] 徐岩宇、贺国光, 交通事件检测系统中的交通流仿真模型, 系统工程学报, Vol. 12, No. 2, 1997
- [36] 张云伟、刘跃明, 交通事件检测的一种滤波算法, 云南工业大学学报, Vol. 14, No. 4, 1998

致 谢

经过两年半的调查、研究、学习，论文终于完成了。饮水思源，我深深的感到，这篇论文凝集着许许多多老师、同学的智慧。

我首先要感谢的是我的导师姜桂艳教授，是她，把我领进了学术的殿堂。姜老师严肃认真，对待学生满腔热忱。姜老师具有深刻的洞察力，思维敏捷，刻苦钻研，所有这些，都将成为我今后学习的榜样与前进的精神动力。

我还要感谢杨兆升教授和李江教授，他们那种钻研学问、孜孜以求的精神值得我效仿终生。在写论文期间，李江教授为我的论文提出了许多宝贵意见，使我深受启发。

我要感谢王殿海教授和辛德胜教授在点滴的生活中给我的激励、鼓舞。

我要特别感谢我的两个师弟顾明臣硕士和杨先平硕士。

我还要特别感谢蹇峰硕士，他给予我许多帮助。

我还要感谢我的师姐韩悦臻硕士、师弟王江锋硕士、张晓东硕士、江龙辉硕士、韩国华硕士、杨少辉硕士、张林硕士以及杨庆芳博士、杨志宏博士、管德永博士、刘红红博士、丁同强博士等。

特别感谢参考文献中的作者，并向他们表示敬意。

最后我要感谢我的父母双亲，我的两个弟弟，是他们给我精神动力和物质支持，使我能够完成论文。

附 录

附录 1 高速公路突发交通事件检测系统开发调查表

一、高速公路监控系统简介

高速公路监控系统的任务是尽早发现交通事件（包括交通事件以及其他交通意外）的存在、尽快通知有关部门清理事件现场、采用各种措施减轻事件所在地的交通压力，其根本目的是缩短交通事件的存在时间、尽快恢复高速公路的正常运行状态。

高速公路监控系统一般由交通事件的检测与鉴别、交通事件的反应与清理、事件现场的交通指挥以及上游交通流的控制与诱导等部分组成，其结构框架如图 1 所示。其中，如何提高交通事件检测子系统的效率和效果是本研究的重点。

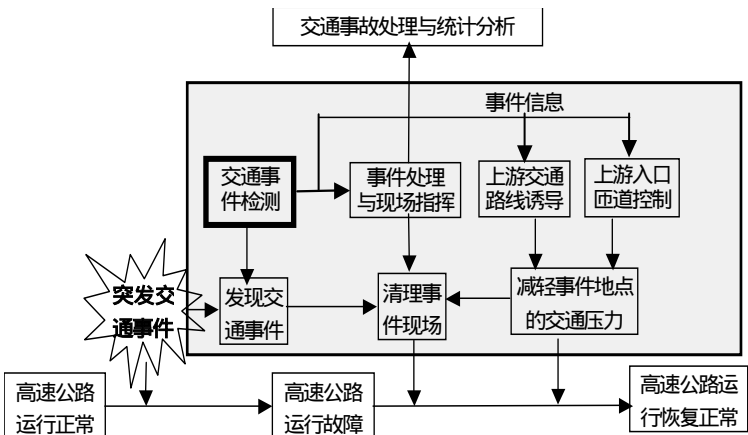


图 1 高速公路监控系统的结构与功能

二、交通事件检测的常用方法

人工检测方法是指人们看到交通事件的发生而报警的方法，主要包括驾驶员使用电话亭或蜂窝电话、公路巡逻队巡视和监控人员通过摄像机录像进行监控等。这类方法建设和维护成本较低，但从性质上看它们都是“不规则”的，以人工为主，因而在某些情况下对交通事件的检测效率和效果不够理想。

自动检测方法是以先进的信息检测与通信技术为基础，通过分析交通事件对实时交通流参数（速度、流量、密度）的影响来发现存在交通事件的方法总称，其主要优点是能克服“手工”检测的不足，因可以全天候、全程地发挥作用，而受到各国交通工程专家的重视，但系统的建设和维护费用高于人工检测方法。

三、交通事件检测子系统的评价指标

检测率是指在指定的时间段内检测到的事件数占事件发生总数的比例。一般情况下，该指标越高越好；

误警率是在一定时间段内误警数占检测结果总数的比例。其中误警数即包括发生交

通事件而未发出警报的次数，也包括发出警报而实际并未发生交通事件的次数。一般情况下，该指标越低越好；

平均检测时间是在一定时间段内检测每一个事件所用时间的平均值。一般情况下，该指标越低越好；

这三个指标是相互关联的，降低误警率的代价是事件的平均检测时间延长，而缩短平均检测时间会导致误警率上升和检测率下降。桐城的做法是将误警率限制在一个可接受的范围内而尽量改善检测率和平均检测时间。

四、本次调查的目的与内容

本次调查是为了完成国家自然科学基金项目“智能化高速公路突发事件监控系统关键理论和方法研究”而进行的，调查目的主要是为了确定检测交通事件的合适方法和评价交通事件检测系统的合理量化标准。具体调查内容详见 附表 2

非常感谢您能抽出时间来协助我们完成这次调查，请您在认为合适的□或△处做上✓标记，并把填完的调查表回寄到：吉林大学南岭校区交通学院 姜桂艳 邮编 130025

一、您的职业

- ☐ 收费场站的收费人员 ☐ 巡逻人员 ☐ 监控中心的监控人员 ☐ 驾驶员
☐ 道路维护人员 ☐ 医护人员 ☐ 消防人员 ☐ 工程抢险人员 ☐ 其它

二、当发生交通事件时，您希望给您提供的信息（选一）

- ☐ 尽可能早，以便提前做好准备，而信息的可靠程度是第二位的；
☐ 尽可能准确，以减少损失，而在一定时限内提供信息的时间是第二位的。

三、当发生交通事件但没有车道被堵塞时

1、比较合适的检测方式

- ☐ 手工检测：△紧急电话 △ 巡逻车 ○ 通过摄像机人工检测
☐ 自动检测

2、比较合理的系统评价标准

（1）平均检测时间最好保持在

- ☐ 3 分钟以内 ☐ 5 分钟以内 ☐ 10 分钟以内 ☐ 其他____分钟以内

（2）检测误警率应该保持在

- ☐ 3%以下 ☐ 5%以下 ☐ 10%以下 ☐ 15%以下 ☐ 其他____%

（3）检测率应该达到

- ☐ 98%以上 ☐ 95%以上 ☐ 93%以上 ☐ 90%以上 ☐ 85%以上 ☐ 其它____%

3、是否需要对上流车辆进行路线诱导？

- △是 △否

4、应该提供的诱导手段（多选项）

☐ 以广播和/或显示板方式提供前方发生交通事件的信息 ☐ 提供可替代的行驶路线

5、是否需要在上游交通流进行控制？

△是 △否

6、应该提供的控制手段（多选题）

☐ 控制上游入口匝道流量 ☐ 关闭匝道 ☐ 对行车速度进行限制并以显示板的形式通知驾驶员 ☐ 设置可逆车道变向功能

四、当发生交通事件只有一条车道被堵塞时

（1）平均检测时间最好保持在

☐ 3 分钟以内 ☐ 5 分钟以内 ☐ 10 分钟以内 ☐ 其他____分钟以内

（2）检测误警率应该保持在

☐ 3%以下 ☐ 5%以下 ☐ 10%以下 ☐ 15%以下 ☐ 其他____%

（3）检测率应该达到

☐ 98%以上 ☐ 95%以上 ☐ 93%以上 ☐ 90%以上 ☐ 85%以上 ☐ 其它____%

3、是否需要在上游车辆进行路线诱导？

△是 △否

4、应该提供的诱导手段（多选题）

☐ 以广播和/或显示板方式提供前方发生交通事件的信息 ☐ 提供可替代的行驶路线

5、是否需要在上游交通流进行控制？

△是 △否

6、应该提供的控制手段（多选题）

☐ 控制上游入口匝道流量 ☐ 关闭匝道 ☐ 对行车速度进行限制并以显示板的形式通知驾驶员 ☐ 设置可逆车道变向功能

五、当发生交通事件两条车道以上的车道被堵塞时

（1）平均检测时间最好保持在

☐ 3 分钟以内 ☐ 5 分钟以内 ☐ 10 分钟以内 ☐ 其他____分钟以内

（2）检测误警率应该保持在

☐ 3%以下 ☐ 5%以下 ☐ 10%以下 ☐ 15%以下 ☐ 其他____%

（3）检测率应该达到

☐ 98%以上 ☐ 95%以上 ☐ 93%以上 ☐ 90%以上 ☐ 85%以上 ☐ 其它____%

3、是否需要在上游车辆进行路线诱导？

△是 △否

4、应该提供的诱导手段（多选题）

☐ 以广播和/或显示板方式提供前方发生交通事件的信息 ☐ 提供可替代的行驶路线

5、是否需要在上游交通流进行控制？

△是 △否

6、应该提供的控制手段（多选项）

☐ 控制上游入口匝道流量 ☐ 甚至关闭匝道 ☐ 对行车速度进行限制并以显示板的形式通知驾驶员 ☐ 设置可逆车道变向功能

此外，如果您对本次调查还有其他的想法和建议，请您填写在下面：

最后，再一次感谢您的合作，并对您做出的贡献致以崇高的敬意！

“ 智能化高速公路监控系统关键理论和方法研究 ” 课题组

附录 2 高速公路调查对象分布表

专家所在 部门	收费场站的 收费人员	巡逻 人员	监控中心监 控人员	驾驶员	道路维 护人员	医护 人员	工程抢 险人员	消防 人员	其它	总计
长平 高速 公路	发函 人数		3	12	3	3	3	3	4	32
	回函 人数		3	8	3	3 (0)	3(0)	3	4	21
	回函 率		3 100	8 66.6	3 100	3 100	3 100	3 100	4 100	27 84.38
省交 通警 察总 队	发函 人数	6	9	6	5					26
	回函 人数	5	9	5	5					24
	回函率	83.33	100	83.33	100					92.30
山东 高速 公路	发函 人数	7	2	6	4				2	21
	回函 人数	5	2	5	4				2	18
	回函 率	71.42	100	83.33	100				100	85.71
发函总计		13	11	15	12	3	3	3	6	78
回函总计		10	11	13	8	3 (0)	3 (0)	3	6	69(63)
回函率		76.92	100	86.67	66.67	100	100	100	100	88.46

备注：回函率 = $\frac{\text{对问题有效回答的份数}}{\text{收回调查表的份数}}$

摘 要

高速公路是我国新型的运输方式之一。它具有车速高、通行能力大、四条以上车道、设有中央分隔带、采用立体交叉、全部或局部控制车辆出入、有交通监控系统及安全服务设施等特点。世界上第一条高速公路诞生于 30 年代的德国，到目前为止，全世界已经有 60 多个国家和地区兴建了高速公路，总里程达到 20 多万公里。据交通部提供的资料，美国是世界上拥有高速公路最多的国家。美国从 20 世纪 50 年代中期开始，修建了 8.8 万公里的高速公路，约占世界高速公路总里程的一半，连接了所有 5 万人以上的城市。我国，特别是近年来的高速公路建设，使我国高速公路通车总里程现在已经跃居世界的第二位，总里程为 1.9 万公里。我国的高速公路起步较晚，但自 80 年代中期出现高速公路以后，有了长足的发展，取得了世界瞩目的成果。

由于汽车的增多，交通拥挤日益成为高速公路中重要的交通问题，交通拥挤发生后，平均车速下降，交通流量减少，高速公路运营效率下降，车辆燃油油耗增加，尾气和噪声加剧了对环境的污染。高速公路交通拥挤主要表现为由于交通事件造成的非周期性拥挤。为了减少交通事件对高速公路运行带来的负效应，发达国家普遍建立了先进的高速公路交通事件管理系统，对高速公路实行现代化的管理。我国高速公路的管理水平与国外发达国家相比，处于初级阶段，我国的高速公路需要世界高速公路发达国家的管理经验和先进技术。

本论文就是在这个背景下，从我国的国情出发，对高速公路交通事件管理系统中若干问题进行了研究。主要研究了高速公路中三个主要问题：高速公路事件管理系统的需求研究；高速公路中信息采集设备检测器安装位置的研究；高速公路交通事件自动检测算法的研究。这三个问题之间的关系是高速公路事件管理系统的需求研究，是所有问题研究的基础和依据，明确了研究的目标；高速公路检测器安装位置的研究，是高速公路交通信息采集的关键，只有高速公路交通信息的准确采集，才能依据采集到的信息进行处理，为高速公路交通事件自动检测算法提供输入，使我们能够快速检测到交通事件的发生。

第一个研究问题，高速公路交通事件管理系统的需求研究。为了对我国高

速公路中各部门对高速公路实际需求进行研究,我们设计了“高速公路突发交通事件检测系统开发调查表”。本次调查共发放调查表 100 余份。其中吉林省高速公路管理局 32 份、吉林省交通警察总队 26 份、山东省高速公路有限责任公司 21 份以及采访座谈使用的 20 余份。本论文对调查表的原始数据进行了整理,经过分析计算最后得出结论。调查所得出的结论,为高速公路事件自动检测算法设计提供了依据,有助于高速公路事件自动检测系统的研究开发。调查表得出的结论如下:

(1) 我国高速公路交通事件检测采取的检测方式是手工检测方式,没有应用国外先进的高速公路交通事件自动检测方式;

(2) 交通事件检测系统的评价指标平均检测时间、检测率、误警率的社会期望值分别为 5.42 分钟、90.78%, 6.82%;

(3) 针对不同的高速公路部门,他们所需求信息的时间性和准确性是不同的。驾驶员要求在较短的时间内,得到上游的交通信息,而信息准确程度可以差一些。交通警察、医院救护人员、消防人员、道路维护等部门,则需要准确的交通信息,以尽量减少不必要的损失;

(4) 当需要对上游交通流进行控制时,采取的控制手段是设置可逆车道变向功能和对行车速度进行限制并以显示板的形式通知驾驶员。

第二个研究问题,动态交通信息采集方案的优化研究。交通检测器是高速公路交通事件管理系统的交通信息采集子系统中信息采集设备。交通检测器通过数据采集和设备监视等方式,在道路上实时地检测交通量、车辆速度、车流密度和车辆占有率等各种交通参数,这些参数都是高速公路交通事件自动检测系统中所需的数据。本章研究了检测算法参数的选择,以及交通信息采集设备检测器的安装位置。研究得出的结论如下:

(1) 为了增加检测系统的可靠性,我们选择流量和占有率作为事件检测算法输入的参数;

(2) 我们使用环形线圈作为交通信息采集的设备;

(3) 检测器经常和其他检测器相互配合使用,在交通事件多发地点,需要摄像机进行监视,作为交通事件的验证。

第三个研究问题,高速公路交通事件检测算法的研究,主要介绍了高速公路交通事件检测算法的发展,并在总结国内基于神经网络事件检测算法的基础

上,提出基于 SNN 技术的神经网络交通事件检测新算法。新的事件检测算法有以下几个优点:

(1) 输入指标不是单独的交通流参数,而是几个参数的组合,更加充分地利用交通数据中包含的交通事件信息;

(2) 网络结构的确定方法新,由 SNN 软件对多种网络进行比较选出的最佳网络类型和网络结构;

(3) 报警制度新,设计了三个报警阈值分别用于不同的目的;

(4) 本论文使用单环形线圈检测器进行参数采集,适合我国的国情需要。

本论文对高速公路交通事件管理系统中主要的三个关键问题作了研究,为国内高速公路交通事件管理系统的研究提供了研究思路和依据,为国家自然科学基金项目:“智能化高速公路突发事件监控系统关键理论与方法研究”和吉林省科学技术研究计划项目:“高速公路交通事件自动检测系统研究”作了一定的工作,促使了这两个项目的完成。

Abstract

Highway is the one of new transportation way of our country. It is been speed high that it has, traffic capacity big, 4 above lanes, set center separate to take, adopt grade separation and all or local controls vehicle discrepancy, have the characteristics such as traffic supervisory system and safe service facility. On world the first highway Germany that is born in 30 decade, so far, whole world has had the area and country more than sixty that has constructed highway, total course reaches the ten thousands kilometers more than 20. According to the information that the Ministry of Communication offers, America is to possess the country of the most highways on world. The American highway that begins in the middle of 50 decade from 20 century and has constructed 8.80000 kilometers has joined the city above all persons of fifty thousands about half that takes world highway total course. Our country, especially in recent years highway construction, make the highway of our country have transport service total course now have leapt the second position of house world, total course is 1.90000 kilometers. The highway of our country start late, but after in the middle of 80 decade, arising highway, have got rapid development, have gotten world focus attention accomplishment.

Because of automobile grows, traffic crowd become the important traffic problem in highway increasingly, traffic crowd occur after can, average speed drops, traffic rate of flow decreases, highway operation efficiency drops, vehicle fuel oil consume to increase, vent gas and noise have aggravated the pollution for environment. Highway traffic crowded major expression is the aperiodic that causes because of traffic accident crowd. To reduce the negative effect that traffic incident brings for highway operation, developed countries universal establishment advanced highway traffic incident management system, for highway, carry out modern management. Abroad highway developed countries and the level of management of the highway of our country compared, are in elementary stage, the highway of our country needs technology and the management experience of world

highway developed countries.

This paper is to leave under this background, from the national conditions of our country, is studied for some problem in highway traffic incident management system. Have studied the 3 major problems in highway mainly: The demand of highway incident management system is studied; Highway information collection equipment the research of detector installation location; Highway research of traffic incident automatic detection algorithm. The relation between this 3 problems is the demand of highway incident management system research, is basis and the foundation of all problem researched, have made clear the goal of research; Highway detector the research of installation location, is the key of highway traffic information collection, only have the accurate collection of highway traffic information, then can carry out handling according to the information of collection, offer input for highway traffic incident voluntarily detection algorithm, is us can fast detection go to traffic incident occur.

The demand of first research problem and highway traffic incident management system is studied for each department in the highway of our country for highway actual demands we have designed "The highway burst traffic incident development of testing system investigation table ". Investigation provides the investigation surplus share of Table 100 totally. In which, Jilin saves 32 copies of highway management board, Jilin province traffic constabulary total team 26 copies of, Shandong province highway limited responsibility company's 21 copies as well as interview forum the 20 surplus copies of use. The original data of this paper for investigation table is arranged, through calculation, reach conclusion finally. The conclusion that investigation reaches has offered basis for highway incident automatic detection algorithm study, is helpful for the research development of highway incident automatic testing system. Investigation table the conclusion that reached is as follows:

(1) The detection way that the highway traffic incident detection of our country adopts is handwork detection way, do not apply abroad advanced highway traffic incident voluntarily detection way ;

(2) False alarm rate, detection rate and the appraisalment index in average detection time of traffic incident testing system the social expectation value of rate difference is 5.42 minutes and 90.78%, 6.82% ;

(3) Aim at different highway departments, it is different that they need the accuracy and timeliness that begs information. Driver asks to get the traffic information of upper reaches in shorter time, and information accurate level can be lacked somewhat. Traffic police and hospital rescue the departments such as people, fire fighter and road maintenances, need accurate traffic information in order to reduce unnecessary loss as far as possible;

(4) Need for the traffic of upper reaches flow to carry out control, the control means of adopting is installation reversible lane change to function with for driving speed restrict and with the form notice that shows board driver.

The optimization of second research problem and development traffic information collection scheme is studied. Traffic detector is the information collection equipment in the traffic information collection subsystem of highway traffic incident management system. Traffic detector know count according to collection and equipment keep watch on etc. way, on road the land of real time detection traffic, vehicle speed, the density of wagon flow and vehicle possess the various traffic parameters such as rate, these parameters are the needed data in highway traffic incident automatic testing system. Book Zhang have studied the option of detection algorithm parameter, as well as traffic information collection equipment detector installation location determine the nature and study by ration. Study that the conclusion that reached is as follows:

(1) For the reliability that increases testing system, we select rate of flow and possess rate as the parameter of incident detection algorithm input;

(2) We use annular coil the equipment as traffic information collection;

(3) Detector regular and other detector mutual co-ordinations use, in traffic incident ammunition place need camcorder keep watch on, as traffic the verification of incident;

The research of the third research problem and highway traffic incident

detection algorithm of has introduced the development of highway traffic incident detection algorithm, and is on the summary domestic foundation based on nerve network incident detection algorithm, have put forward to do not have key link quantity input parameter based on nerve network traffic incident detection algorithm. There is some following advantages based on the incident detection algorithm of MLP nerve network:

(1)Input variable do not be individual traffic flow out parameter, and is the combination of some parameters of planned certain kind ratio, use the traffic incident information of containing in traffic data more fully;

(2)The definite method of network structure new, by SNN software for various networks, compare the best structure that chosen;

(3)Report to the police system, have designed 3 report to the police threshold value the purpose that is used in difference respectively;

(4)Use single detector carry out parameter collection

This paper the 3 major key problems in highway traffic incident management system have made research, have offered research train of thought and basis, is the national fund project of natural science for the domestic research of highway traffic incident management system: " the intelligent highway burst incident crucial theoretical and method research of supervisory system " with the Jilin province research plan of science and technology project: " the highway traffic incident research of testing system " have made certain research, have promoted the completion of this two projects.