

# 高速公路车辆智能安全预警系统<sup>①</sup>

赵太飞<sup>1,2</sup>, 张晓飞<sup>1</sup>, 娄俊鹏<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 西安 710048)

<sup>2</sup>(电子科技大学 光纤传感与通信教育部重点实验室, 成都 610054)

**摘要:** 为了减少高速公路交通事故的发生, 设计了一种能够监控高速公路上车辆行驶状况的系统. 该系统利用GPS采集车辆的行驶信息, 而后通过GPRS将数据传送至服务器, 服务器用特定预警算法对车辆自身以及周围车辆的行驶状况进行判断, 若发现有违规驾驶行为, 则向司机进行自动预警. 在实现系统的同时, 分别对服务器内存资源的调度以及车载终端异常断开的问题提出了改进处理方案. 最后, 在局域网内搭建仿真环境, 对该系统的稳定性、预警事件的处理效率以及预警的准确性进行了测试, 结果表明该系统具有较高的稳定性和预警准确性, 对高速公路监管系统的进一步实现具有很大的参考价值.

**关键词:** 高速公路; 监控; 预警算法; 违规驾驶; 自动预警

## Vehicle System with Intelligent Security Pre-warning in Expressway

ZHAO Tai-Fei<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao-Fei<sup>1</sup>, LOU Jun-Peng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Faculty of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

<sup>2</sup>(Key Laboratory of Optical Fiber Sensing and Communications (Ministry of Education), Chengdu 610054, China)

**Abstract:** In order to reduce the traffic accidents in expressway, a system which can monitor vehicles in expressway has been designed. The system uses GPS to collect vehicle information, and then the data be transmitted to sever through the GPRS, a judgement can be made on the vehicle itself and its surrounding running condition with a specific pre-warning algorithm and driver can receive the automatic warning if there are illegal driving behaviors. The improved schemes on memory scheduling of sever and disconnection of vehicle terminals are be respectively proposed. Finally, the stability of system, the processing efficiency of pre-warning events and accuracy of pre-warning are tested in the simulation environment with LAN, the results show that the system has higher stability and accuracy; it can be referred in further studies on the research of monitoring expressway.

**Key words:** express way; monitor; data intensive web pages; ontology-based keyword library; automatic warning

近年来, 我国高速公路建设发展迅速, 随着高速公路网络的形成, 高速公路以其方便、快捷等优点在我国社会经济生活中发挥着愈来愈重要的作用<sup>[1]</sup>. 与此同时, 高速公路运输过程中重大、恶性安全事故也时有发生, 给人民的生命财产造成了严重危害<sup>[2]</sup>. 究其根本原因, 除了与高速公路本身的设计不到位、公路监管设施技术水平低有关外, 主要还是没有有一个与时俱进的、有效的高速公路监控系统. 目前, GPS车载

导航是将地理信息嵌入地图内部, 虽然它能够精确定位周围的地理信息, 但由于并没有形成车辆与车辆的通信网络, 因而无法知晓周边其他车辆的实时车况信息; 而在传统的高速公路监控系统中, 信息的采集主要依靠各个路段的检测器<sup>[3]</sup>, 检测器采集的信息可用以分析路段车流量从而预估道路交通状况, 然而并不能第一时间将该信息传达至司机, 对于突发事件的检测, 也往往不很准确<sup>[4]</sup>. 本文在传统高速公路的事件

① 基金项目: 国家自然科学基金委员会-中国民航局民航联合研究基金(U1433110); 陕西省科技计划工业公关项目(2014K05-18); 陕西省教育厅产业化培育项目(2013JC09); 西安市科学计划项目(CXY1435(4)); 西安市碑林区科技计划项目(GX1302)

收稿时间: 2015-01-28; 收到修改稿时间: 2015-03-12

检测和车载导航应用的基础上,借助 GPS、GPRS 和百度地图等技术,并建立相关预警算法模型,设计了一个可以监控车辆运行状态的系统.它可以保证车辆与车辆之间的实时通信,并利用相应算法判定车辆自身以及其周围是否有不安全驾驶行为,并发送预警信息,从而达到有效减少高速公路交通事故的发生,提高高速公路行车安全性的目的.

## 1 系统总体设计

本系统总体分成两部分:车载终端和服务端.系统总体设计如图 1 所示.

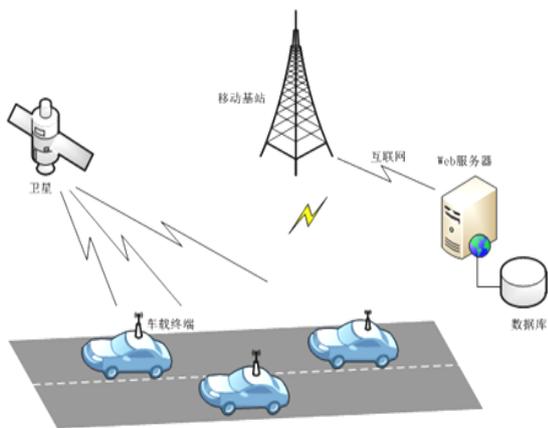


图 1 系统总体设计图

车载终端主要装载在车辆上,主要由 GPRS 模块、GPS 模块、语音板卡模块、通信协议模块以及日志模块构成.可将车载终端看做一个没有屏幕的手机,其中,GPS 模块用于接收和采集车辆的实时车况信息,如车速、经度、纬度、方向仰角和海拔高度等信息;GPRS 模块将采集到的信息按照通信协议封装好后发送至服务端;语音板卡可以向司机播报预警信息;日志模块用以记录车载终端通信的异常情况.

服务端由 Socket 服务器、预警算法模块、监管中心模块、呼叫中心模块和数据库构成.当 Socket 服务器接收到车载终端发送的实时车况信息后,首先会按照通信协议进行解析,若解析成功后则交由预警算法模块进行交通事件判定.与此同时,位于监管中心的百度地图会实时显示车辆的行驶信息.若有预警事件,则自动发送预警信息,车载终端收到预警信息后会进行语音播报.服务端所有数据均存储至后台数据库.此外,当司机遭遇紧急情况需要帮助时,可利用车载

终端与服务端的呼叫中心模块进行语音通话,方便高速公路管理者第一时间定位事故现场和事故车辆.

## 2 系统主要模块的设计与实现

本系统涉及模块较多,对于已成熟的模块,如 GPS 模块和 GPRS 模块<sup>[5-8]</sup>,本文将不予赘述,仅介绍系统主要的模块.

### 2.1 通信协议模块

作为高速公路管理部门,通信数据的保密性尤为重要,为了加强传输数据的安全性,本系统自拟通信协议进行数据传输,总的通信协议如表 1.

表 1 通信协议总结构

序号	名称	长度	说明
1	命令头	1 字节	报文头
2	命令字	1 字节	报文类型
3	终端 ID	8 字节	IMEI 号
4	数据长度	2 字节	报文长度
5	数据内容	N 字节	报文消息
6	校验和	2 字节	CRC 校验
7	命令尾	1 字节	报文尾

其中命令头为报文第一个字节,服务器向车载终端发送预警信息称为下行行为,命令头为 0XAA,车载终端向服务器发送信息称为上行行为,命令头为 0XB8;命令字表示报文类型,如 0X82 表示心跳报文.终端 ID 为 15 位 IMEI 号;数据长度指嵌入在总协议中内容单元的长度;数据内容为报文消息,不定长;通信协议的校验采用 CRC,若校验不通过则不予以处理;0XFF 为命令尾,代表报文结束符.

在上行传输协议中,实时车况信息报文封装了车辆行驶中所有可采集的参数,其协议结构如表 2.

表 2 实时车况信息协议

序号	长度	说明
1	6 字节	GPS 时间,格式 YY MM DD HH MM SS
2	1 字节	纬度半球,0 北纬,1 南纬
3	1 字节	纬度(度)
4	1 字节	纬度(分)
5	2 字节	纬度(秒),取 4 位
6	1 字节	经度半球,1 东经,0 西经
7	1 字节	经度(度)
8	1 字节	经度(分)
9	2 字节	经度(秒),取 4 位
10	2 字节	海拔高度(米)

11	2 字节	航向仰角(度)
12	1 字节	当前速度(千米/时)
13	1 字节	卫星个数
14	1 字节	GSM 信号强度 1-10

其中前 6 个字节为 GPS 时间, 格式为年月日时分秒; 接下来是纬度和经度, 为了更精确的提取位置信息, 维度和经度分别精确到秒的后 4 位; 整个实时车况信息协议为 23 个字节, 加上协议头和协议尾等嵌入在总协议中, 组成了本系统中最长的报文协议, 为 38 个字节。

例如, 某一时刻车载终端封装实时车况信息为 BB-91-12-34-56-78-90-12-34-5F-00-17-0F-02-1C-0F-0D-07-01-22-00-5A-BF-01-6C-01-77-A1-03-E8-00-05-50-01-01-27-50-FF, 共 38 个字节。当服务端收到该报文后, 由前两个字节 0XB B 和 0X91 得出该报文是车载终端上传的实时车况信息报文。报文的倒数第 2、3 个字节表示 32 位的 CRC 校验码, 为了验证该报文的合法性, 服务端首先去掉该报文的原始校验码, 然后重新对剩余的报文进行 CRC 校验, CRC 校验的算法如下 C#代码片段,

```
private byte[] CheckCRC(byte[] data, int len)
{
    int CRC = 0xffff;
    for (int i = 0; i < len; i++)
    {
        CRC = CRC ^ data[i];
        for (int j = 0; j < 8; j++)
        {
            if ((CRC & 0x01) == 1)
            {
                CRC = CRC >> 1;
                CRC = CRC ^ 0xA001;
            }
            else
            {
                CRC = CRC >> 1;
            }
        }
    }
    byte[] R = new byte[2];
    R[0] = Convert.ToByte(CRC & 0xff);
```

```
R[1] = Convert.ToByte(CRC >> 8);
return R;
}
```

若重新计算的校验码为 0X5027(报文中高位在后低位在前), 则视该报文为有效报文。

接着, 服务端需要从报文中提取与车辆相关的信息, 按照通信协议的规定: 在实时车况信息报文中, 从第 3 个字节往后的 8 个字节表示 15 位 IEMI 号码, 去掉报文中的补位 F, 则得车载终端 IEMI 号码为 123456789012345; 接下来的两个字节 0X0017 表示实际信息内容的长度, 共 23 个字节, 此后的 23 个字节可以根据表 2 进行拆解; 实际内容的前 6 个字节为 GPS 时间, 转换为 10 进制为 15-02-28-15-14-07, 表示时间为 2015 年 2 月 28 日 15 时 14 分 7 秒; 紧接着的 5 个字节 01-22-00-5A-BF 表示南纬 34.23231 度, 后面的 01-6C-01-77-A1 表示东经 108.96161 度; 接下来的 03-E8 表示车辆当前海拔高度为 1000 米; 00-05、50、01、01 则分别表示 5 度的方向仰角、80 千米/时的速度以及搜星个数和信号强度均为 1。

最终解析后的数据如表 3。

表 3 实时车况信息

说明	报文	解析内容
命令头	BB	报文开始
命令字	91	实时车况信息
终端 ID	12-34-56-78-90-12-34-5F	123456789012345
数据长度	00-17	23
GPS 时间	0F-02-1C-0F-0D-07	2015-2-28 15:14:07
维度半球	01	南纬
维度	22-00-5A-BF	34.23231 度
经度半球	01	东经
经度	77-A1-03-E8	108.96961
海拔高度	03-E8	1000 米
航向仰角	00-05	5 度
当前速度	50	80 千米/时
卫星个数	01	1 个
信号强度	01	1
校验和	27-50	0X5027
命令尾	FF	报文结束

### 2.2 预警算法模块

本系统主要针对常见交通状况进行预警, 预警功能包括: 前方是否有拥堵事件、前方是否有低速违规行驶的车辆、后方是否有超速行驶的车辆以及车辆自身是否超速、低速、违章停。对于超速、低速、停车

等交通事件,可简单的通过车辆速度来判断,而对于交通拥堵事件的判断则较为复杂,是本系统的重点.

在交通流基本参数中,车速与车流密度的关系经常用格林息尔治速度-密度模型来描述<sup>[9-10]</sup>,即:

$$v = a + bk \tag{1}$$

式中  $a$  与  $b$  为待定参数,  $v$  与  $k$  分别表示车速和车流密度:当高速公路路段十分顺畅,车流密度  $k$  趋于 0 时,车速  $v$  接近自由流车速  $v_f$ ,由上式得  $a = v_f$ ;当高速公路处于极其拥堵的状态时,车辆无法行驶,这时车流密度接近阻塞密度  $k_j$ ,即  $k = k_j$ ,此时令  $v = 0$ ,得  $b = -k/k_j$ ,将  $a$  与  $b$  带入上式,得速度-密度的关系式:

$$v = v_f(1 - \frac{k}{k_j}) \tag{2}$$

而车流量  $q$  与密度  $k$  又满足基本关系式:

$$q = kv \tag{3}$$

将式(2)代入式(3)得:

$$q = k_j(v - \frac{v^2}{v_f}) \tag{4}$$

则可得车流量与车速的关系,如图 2.

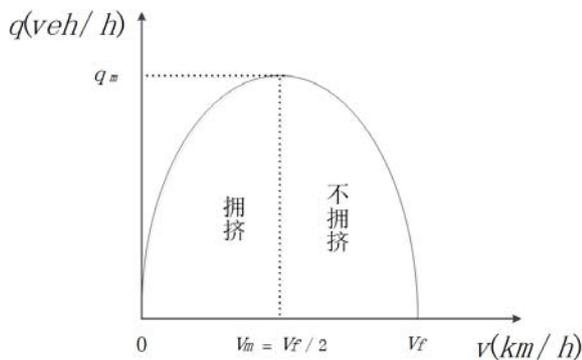


图 2 车流量与车速的关系

在图 2 中,当临界速度与自由流速度的关系满足  $v_m = \frac{v_f}{2}$  时,此时车流量  $q$  达到最大值  $q_m$ ;因此,当  $0 < v < v_m$  且  $q < q_m$  时,可认为此时道路处于拥挤状态;当临界速度与自由流速度满足  $v_m < v < v_f$  时,可认为此时道路处于畅通状态.

在上述交通事故判定方法的基础上,本系统的预警流程如图 3.

上述推到过程主要利用流量与密度的关系,从速度-密度模型过度到流量-速度模型.有关交通流事件

的模型还有很多,然而本系统用流量-速度模型来判断交通拥堵主要是因为有些参数(如阻塞密度)在没有检测器的情况下很难测出,而一般路段的自由流速度都可以提前进行分析统计,因此具有一定的可行性,而算法的准确性主要受前期自由流速度预估值的影响.

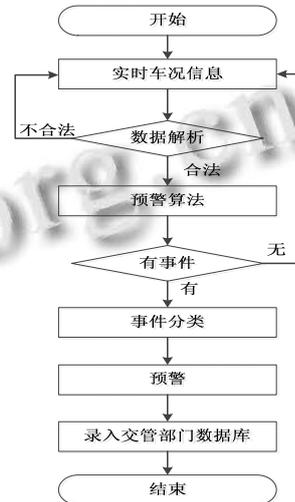


图 3 预警流程图

### 2.3 监管中心模块

本系统中,监管中心是唯一可视化的界面,它不但具有直观的电子地图显示车辆具体信息,而且与通信协议模块和预警算法模块也具有紧密的联系,监管中心界面如图 4.

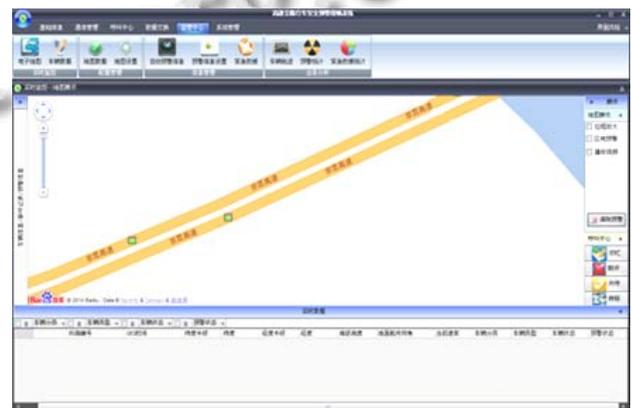


图 4 监管中心

该界面上方是各个功能的导航条,从功能上大体可分实时监控、配置管理、预警通信和业务分析;界面的中间为电子地图,右侧的呼叫中心可以与车载终端进行语音通话,界面的下方则显示车辆的实时车况

信息,本系统利用监管中心可以提供以下功能:

1) 地图服务

主要完成测定车距,地图平移,跳转等功能,如图4中心区域部分.

2) 定位服务

每当收到车辆发送的实时车况信息后,车辆的位置、速度、海拔高度等信息均显示在图4下方的区域.

3) 查询服务

可以查询车辆历史轨迹、特定车辆的位置与当前信息.

4) 智能预警

当前方有车低速、前方有车逆行、前方有车违章停车、前方堵车、后方有车超速等事件时,预警算法可以自动判定并下发预警信息.

5) 语音播报

所有下发给司机的预警信息均采用语音播报的形式向司机通知.

3 内存资源调度及客户端断开处理

3.1 内存资源调度处理

本系统中,每当有车载终端进行连接请求时,服务器都需要为车载终端创建套接字和缓冲区,而当该车载终端断开连接时又需要销毁该套接字并且释放对应的缓冲区.如此频繁的操作就会产生大量的内存碎片,随着系统运行时间的延续,可能出现程序运行缓慢,从而导致服务器无法及时响应请求,因而内存资源的管理问题需要及时处理[11].

本文提出一种基于内存池和堆栈管理的内存资源调度方案:首先,预估系统的最大并发量 N 和最大报文长度 SIZE,在系统运行之处,便建立起一个庞大的“内存池”,并且永不释放(除非关闭服务器进程).内存池的结构如图5.



图5 内存池结构

由图5可以看出,内存池被分为N块,分别代表N

个同时在线的车载终端所需的资源.每块内存又被分为了两个长度均为SIZE的小块,分别用以读和写.与此同时,为内存池建立堆栈管理器S,每个小块内存存在内存池的偏移量将被存储在栈中,栈的大小也为N,栈的结构如图6.

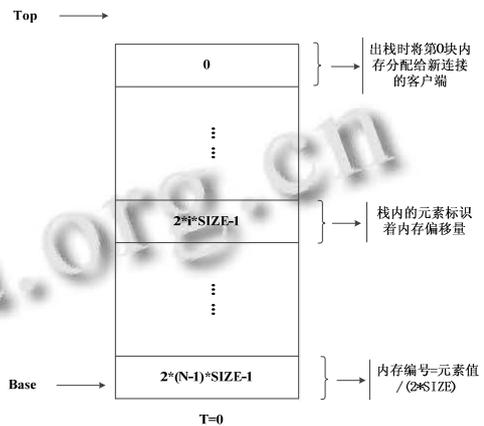


图6 内存池的管理器

在图6中,栈外有一个标识量T,用以累计偏移量,当偏移量达到最大时,池内将没有资源可分配,此时并发数也达到了最大.随着车载终端不断的连接和断开,内存池的状态如图7.

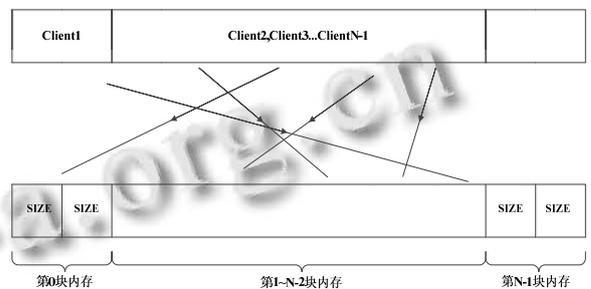


图7 某一时刻内存池的分配状态

可以看到,不论车载终端连接还是断开,内存池从不销毁,只是简单的利用栈内的偏移量去寻找内存块与车载终端的映射关系.

本系统对于内存资源调度的改进方案,是以牺牲内存作为代价换取系统的处理效率以及稳定性,以本系统的最大的传输报文38字节为例(实时车况信息),若以10000个客户端为并发极限,则启动服务进程时,内存块的消耗约为742MB.百兆的数量级对于当今存储设备快速发展的IT时代来说,根本不是问题.更何况,如果需要更大的内存消耗,可以增大内存或使用

服务器集群等方式解决内存消耗问题,近年来比较流行的 MongoDB 数据库便是利用此原理提升访问性能。

本文以 Win7 64bit(内存 4G, 实际 RAM 为 3.25G)操作系统作为服务器,对 10000 个客户端的通信进行了分析:首先当服务器进程未启动时,内存消耗大约为 170M,启动服务器进程后内存消耗突增为 1G 左右(缓冲区的建立为主要消耗)。此时服务器开始监听 10000 个客户端的连接请求,当大约 10000 个连接建立成功后,服务器内存消耗约为 1.88G,可以得出每条连接所占内存约为 $(1.88G-1G)*1024/10000$ ,即 92.27K。此时服务器运行极其缓慢,当调整客户端的连接数,使得内存消耗控制在初始空闲内存的一半之内时,服务器的运行状况有所改善。因此对于以内存消耗为代价的内存资源调度方案,需要根据不同的服务器运行环境来分析每条连接内存的占用情况,从而判断是否需要负载均衡,一般推荐内存池和连接量的内存消耗总和控制在初始空闲内存的一半之内。

### 3.1 车载终端异常断开处理

在 TCP 通信中,正常的客户端断开需要四次挥手才能完成,如图 8。

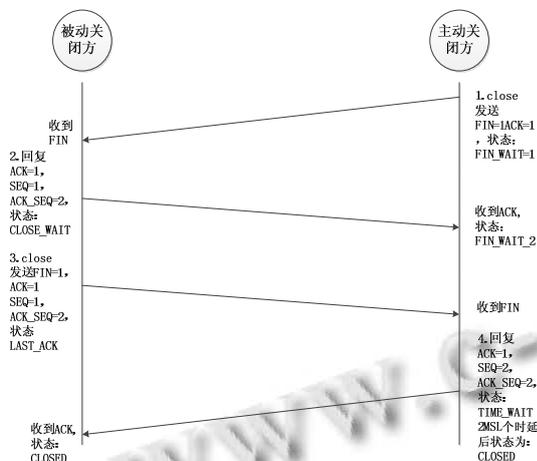


图 8 客户端与服务器四次挥手

首先,主动关闭方向(车载终端)被动关闭方(服务器)发送请求关闭信号 FIN,被动关闭方收到该关闭信号后会回复确认信号 ACK,此时主动关闭方收到确认信号后处于等待状态 FIN\_WAIT\_2;被动关闭方也向主动关闭方发送请求关闭信号 FIN,主动关闭方收到信号后进行确认回复,此时主动关闭方正常关闭,处于 CLOSED 状态,而被动关闭方只有在收到最后的 ACK 信号后才会正常关闭,至此,客户端与服务端的

四次挥手完成,双方均正常断开。在正常的四次挥手完成时,服务器捕获客户端断开事件最明显的标志是 receive 事件返回 0 个字节数,表明客户端主动断开。

然而,在复杂的高速公路环境下,车辆经常进入隧道、山谷等信号较弱的地段,若车辆在该地段没有信号,则并不能完成四次挥手。因而,服务器就不能捕捉车载终端断开的事件,这种情况就是车载终端的异常断开,将会影响整个监控列表。

对于车载终端异常断开事件,本系统自行拟定心跳协议,即由车载终端发送心跳包,告知自己依然在线,服务器并不回应心跳,只是定时轮询判断与上次的上传时间的间隔是否超时(超时时间需自行设定),若超时则认为车载终端已经断开,服务器此时主动将其“踢”出监控列表。服务器并不回复心跳是不想增添服务器的通信量,减少压力<sup>[12]</sup>。心跳包除了车载终端 ID 外,不含有任何信息,如表 4。

表 4 心跳协议

命令头	命令字	ID	长度	内容	校验和	命令尾
0xBB	0x82	8 字节	0 字节	0 字节	无	0xFF

本系统的心跳规则为:车载终端连接默认服务器成功后,立即发送心跳包,若连续两次超过 5 秒未收到心跳包,则认为连接已经断开。

## 4 系统测试

本文在局域网内测试了整个系统的运行状况,上传了 1000 条实时车况信息,其中模拟了 6 种交通事件各 100 次。上传数据包括车辆的 ID,时间,经度,纬度,车速,航向仰角,海拔高度等具体信息。

系统参数默认设置 5km/h 以下为停车、10-60km/h 为低速、60-110km/h 为正常,大于 110km/h 为超速;拥堵的判定稍微复杂些,需要计算车流量并且预估该路段的自由速度;对于前方 2000m 的拥堵事件和后方 2000m 有车辆超速事件也将发送预警信息。

预警算法对 6 种事件的判定结果如表 5。

表 5 预警算法测试结果

事件	模拟次数	预警次数	检测率(%)	误报率(%)	丢包率(%)
低速	100	99	99	0	0
超速	100	100	100	0	0
正常	100	99	99	0	0
停车	100	99	99	0	0
前方拥堵	100	80	80	12.5	5
后方超速	100	85	85	9.41	7

从表中不难看出,单纯的高低速以及停车操作的判断都较为准确,而较为复杂的预警(如同时涉及速度和距离)的准确度稍有降低,这主要与算法本身设定的默认参数有关,在不同的环境下,参数的设定需要根据高速公路路段的实际情况重新设定。

在统计算法准确率的同时,系统记录了其中4个事件每次数据上传至服务器后处理的耗时情况,它们分别是低速事件、停车事件、后方2000m超速事件和前方2000m拥堵事件。

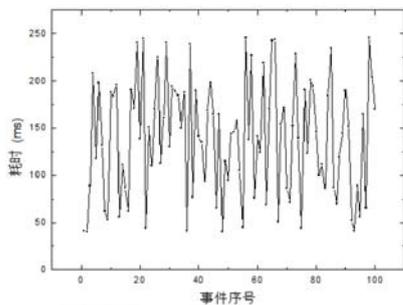


图9 低速事件处理耗时

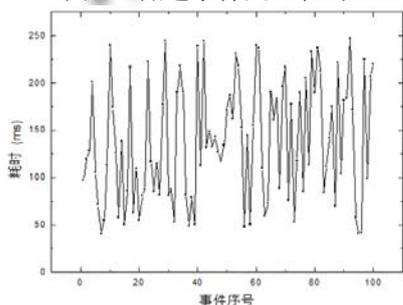


图10 停车事件处理耗时

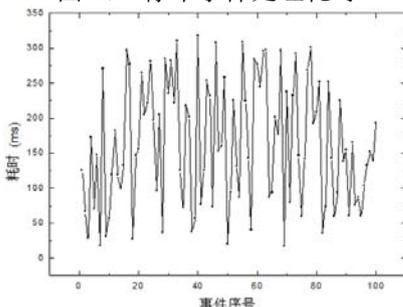


图11 后方2000m超速事件耗时

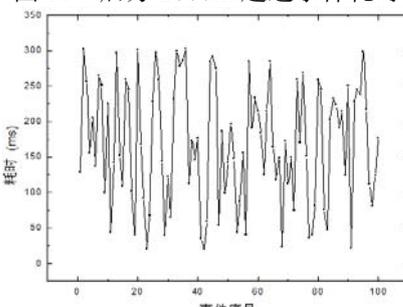


图12 前方2000m拥堵事件处理耗时

上图中,横坐标表示事件序号,纵坐标为每次处理的耗时,单位为ms。从图9和图10可以看出,对于只涉及速度的简单交通事件,如是否低速或是否违章停车,系统的处理时间都较短,虽然还是会受网络不稳定等因素出现尖端,但是走势均较为平坦,并没有呈线性增长的趋势,始终保持在50ms至250ms的范围内;而从图11和图12来看,对于同时涉及速度和距离的交通事件,如后方2000m是否有超速行驶车辆或者前方2000m是否有拥堵事件发生,但是较之单一事件,该事件的处理耗时相对过大,最大处理耗时已接近350ms,处理能力明显下降。

表6列出了具体的数据指标:单一预警算法的处理无论从耗时均值、耗时标准差以及耗时极差上都高于较为复杂的算法,这除了与距离与速度的精度有关外,还与网络的不稳定性以及算法的模型的复杂度有关,但从整个耗时曲线的走势来看,该系统在此数量级内具有较高的稳定性。

表6 事件处理数据分析

事件	耗时均值(ms)	耗时标准差	耗时极差(ms)
低速	140.14	61.08	206
停车	138.35	62.93	208
前方拥堵	163.79	87.99	302
后方超速	168.68	84.87	283

## 5 结语

本文提出一种基于GPRS和GPS的高速公路智能安全预警系统,系统分别对服务器通信中的内存资源调度和异常断开问题进行了优化。最后对系统的处理效率、预警的准确性以及系统的稳定性进行了测试,结果较为良好。本系统最终的研究与实现,对高速公路监管系统的进一步实现具有一定的参考价值。

## 参考文献

- 1 杨成园.浅议.高速公路交通事故的产生原因与预防对策.汽车使用技术,2013,11:59-66.
- 2 徐秀芹.高速公路交通事故预警系统研究[学位论文].西安:长安大学,2009.
- 3 王祺,胡坚明,王易之,张毅.一种基于车间通信的交通信息采集方法.吉林大学学报(工学版),2009,S2:7-12.
- 4 姜秀荣.高速公路交通事件应急救援系统及关键技术研究[学位论文].长春:吉林大学,2014.
- 5 闫振.基于GPRS/GPS的汽车跟踪系统.数据通信,2014,

- 02:11-14.
- 6 万仁保.基于 GPRS 与 GPS 技术的部队车辆管理系统的设计.科技广场,2014,08:45-50.
- 7 张国利,孙庆祥,蒋杰,闫保中.基于 GPRS/GPS 的海上移动目标监测系统设计.海洋测绘,2013,03:47-49.
- 8 温宗周,陈改霞.基于 GPS/GPRS 的远程车辆管理系统的设计.电子测量技术,2013,08:76-79.
- 9 李琦,姜桂艳.高速公路交通事件自动检测算法.哈尔滨工程大学学报,2013,09:1193-1198.
- 10 申喜芹,郭琼琼,张宸豪,彭宏玉.高速公路异常事件智能响应系统设计.中国交通信息化,2014,01:97-100.
- 11 胡东红,杜光海,贺伟,毛守备.基于完成端口模型的应用程序实现.物联网技术,2014,03:60-62.
- 12 Zhang L, Wen FA, Pang Z. Network error correction research on real-time communication system based on heartbeat detection. Energy Procedia, 2011.

[www.c-s-a.org.cn](http://www.c-s-a.org.cn)

[www.c-s-a.org.cn](http://www.c-s-a.org.cn)