

基于 FIR 滤波器的高速公路低能见度检测仪

谭廷庆, 刘晓明

(重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044)

摘要:能见度是影响高速公路交通安全的重要因素,低能见度天气,特别是具有突发性和随机性的团雾极易引起交通事故,对高速公路沿线能见度进行实时检测和预警是保证交通安全的重要措施。前向散射式能见度仪具有体积小、成本低,便于安装等特点,适用于高速公路沿线能见度检测。针对高速公路低能见度检测需要,设计了基于 FIR 滤波器的能见度检测系统,系统主要由发射器、接收器、控制处理器和上位机组成。系统以低成本、高效率为设计目标,设计出的样机经过测试达到高速公路沿线能见度测量范围和精度的要求。

关键词:能见度; FIR 滤波器; AGC

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)01-0242-04

Low-Visibility Detector of Freeway Based on FIR Filter

TAN Ting-qing, LIU Xiao-ming

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Visibility is an important factor affecting highway safety, low-visibility weather, especially when there is agglomerate fog which appears suddenly and randomly, causes traffic accidents frequently, real-time detection of visibility on the highway and early warning is an important measure to ensure traffic safety. Forward scattering-type visibility detector has many excellence including small size, low cost and easy to install and so on, it is suitable for highway visibility detection. A new highway visibility detecting system based on FIR filter is proposed, it consists of transmitter, receiver, control processor and PC component. Low-cost, high efficiency is the design goals of system, the pattern has been tested to achieve highway visibility measurement range and accuracy requirements.

Key words: visibility; FIR filter; AGC

0 引言

雾天对高速公路行车安全构成的危害是公知的,尤其是突发团雾对高速公路运行的危害更大^[1]。在我国高速公路快速发展的形势下,为保证交通运输安全,对高速公路多雾路段进行实时能见度检测并及时对车辆进行安全引导是十分必要的。国家气象局及公安部门已对道路交通做出了低能见度气象条件下的车速和行车间距规定。目前众多探测大气能见度仪器中,透射式能见度仪和散射式能见度仪应用最为广泛。采用散射方式测量大气散射消光系数来等效测量覆盖区内的能见度,具有采样体积小、动态测量范围大、维护量小、安装容易等优点^[2],目前已经在交通、民航、气象、军事等领域获得了较为广泛的应用。通过在数字处理器 FPGA 中完成 FIR 滤波,简化了低信噪比信号提取的复杂过程,虽然能见度测量精度有所降低,仍适用于

高速公路能见度检测与预警。本系统安装在高速公路边沿,引导和预警采用简单符号标识,可融入现有交通信号标志系统及现有交通信号管理系统。系统廉价高效,能够在低能见度条件下给过往车辆提供有效预警,从而减少低能见度天气条件下道路交通事故的发生。

1 能见度测量基本原理

能见度通常是指视力正常的人在白天无云的天空背景下辨认出一个视角为 $0.5^\circ \sim 5^\circ$ 的黑色目标物轮廓和形体的最大距离^[3],在夜间则是能看到和确定出一定强度的灯光的最大距离。夜间能见度测量的基础是由 Allard 在 1986 年提出的 Allard 定律^[4]:在大气消光系数为 σ 的大气中,光强为 I 的光源在距离光源 D 处产生的照度为 E ,即: $E = Ie^{-\sigma D}/D^2$,如果观察者刚好能够辨认出此光源,这就意味着此时的照度恰好为观察者眼睛的照度阈值,此时的距离 D_v 即为能见度 V 。由于夜间能见度的测量对于光源的要求较高,系统比较复杂,本系统主要针对白天能见度的测量进行设计。白天能见度的计算一般采用 Koschmieder 算法^[5],对于以水平天空为背景的黑体目标物,假设大气均匀,即大

收稿日期:2010-04-13;修回日期:2010-07-18

作者简介:谭廷庆(1986-),男,重庆人,硕士研究生,研究方向为信号采集与处理、汽车电子;刘晓明,教授,博士后,硕士研究生导师,研究方向为汽车电子、测控技术、通信、图像处理。

气水平消光系数 σ 为常数,则目标物与背景的亮度对比值 C 随距离 r 的变化规律即为 Koschmieder 定律。从而气象能见度 V 和消光系数 σ 有下列关系: $V = -\ln \varepsilon / \sigma$ 。国际民航组织(ICA0)推荐的视觉阈值 ε 为 0.05^[6],这时气象能见度 V 和消光系数 σ 有下列关系: $V = 2.996 / \sigma$ 。大气能见度降低主要是由大气中不同性质的微粒对光波的衰减引起的,体现在微粒对光波的吸收和散射效应^[7]。在可见和近红外波段,大气对光的吸收作用可忽略不计,因此消光系数近似等于散射系数 K_s 。根据 Mie 散射理论,大气散射光强 I_s 与散射系数 K_s 的比值近似为常数^[8],只要测得散射光强就可以计算出相应的气象能见度值。

2 系统硬件设计

2.1 系统组成

高速公路低能见度仪主要安装在坪坝、河谷等多雾路段,系统全天候实时检测能见度,因而它应具有良好的可靠性、稳定性以及耐久性。本系统采用前向散射结构,发射器与接收器安装在距离为 1m 的横梁两端,主散射角为 33°,主要由发射器、接收器和信号控制处理器组成,如图 1 所示。

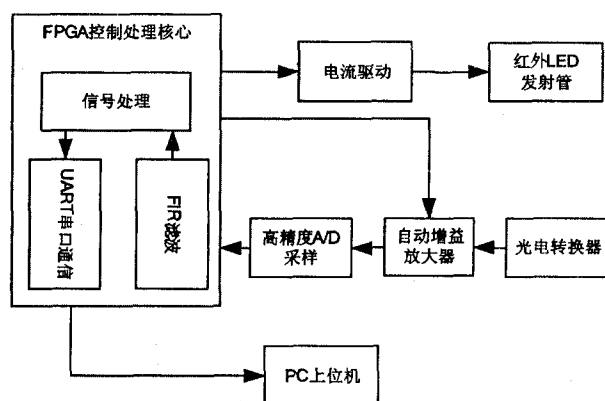


图1 系统组成框图

2.2 发射器

发射器主要由调制信号发生器、电流驱动电路和近红外 LED 组成。在中高能能见度天气条件下,大气散射作用相对较弱,为使接收器能够不同天气下获得较大的光强度,发射器应有足够高的发射功率。为满足大气消光系数近似等于散射系数,发射光应处于可见光和近红外波段,而太阳光谱中可见光较强,有用信号容易被可见光淹没,故发射器选用近红外光源。LED 发光二极管具有发射功率大、稳定、较窄的光谱分布以及较小的发光面积等优点^[9],满足能见度仪发射器对光源的要求。本系统选用中心波长为 850nm 的近红

外二极管,其辐射强度可达 230mW/sr。由于在实际测量中存在各种背景光和杂散光,会给发射的光信号引入干扰,因此在发射器采用 1kHz 方波对光源进行调制,在接收端再对该频率信号进行提取,从而避开了背景光和杂散光的干扰。FPGA 控制反相施密特触发器 74HC14 产生 1kHz 的方波调制信号,向大气发射近红外短脉冲。

发射镜筒装有单片非球面透镜来实现镜筒发射平行光束,增加取样点的散射光强。单片非球面透镜比普通多片球面透镜拥有更大的相对孔径,减少光学系统的能量损失。其自身结构特点也使镜筒结构大大简化。本系统采用透镜直径 41.4mm,焦距 59.77mm。

2.3 接收器

接收器主要由光电转换器、自动增益控制电路和高精度 A/D 转换器组成。接收器是系统的关键部分,它的性能直接影响能见度仪的灵敏度与稳定性。在设计上,它应具有响应度高、可靠性好、寿命长以及能与后级放大电路良好耦合等特点。本系统采用与 LED 发光二极管中心波长匹配的光电放大器^[10],光电转换器与互阻抗放大器的集成,大大简化了外围电路,同时减少了噪声的引入环节,有利于提高信噪比。光电转换输出的电信号,通过 A/D 采样输入到信号处理器 FPGA 中,实际在不同的能见度天气条件下,光电放大器输出信号变化范围较大,在两级之间加入自动增益控制电路,使输入到 A/D 接口的信号始终处于 A/D 的最佳采样电平。自动增益控制电路分为三级,第一级由电阻分压网络和模拟多路复用器组成衰减电路,通过选择不同的控制字可实现信号衰减 50%、80% 和 90%。第二级和第三级均采用可编程增益放大器,两级级联最大可放大 10000 倍。为实现较高的能见度测量精度,本设计选用 12bit 高精度 A/D 采样芯片,采样速率可达到 20MSPS。接收电路如图 2 所示。

在接收镜筒采用了与发射镜筒相同的单片非球面透镜,光电传感器感光面处于透镜焦点处,以获得最大的光能量。在透镜之前还装有与发射光中心波长相同的窄带滤镜,减少大气中背景光和杂散光对有用光信号的干扰。

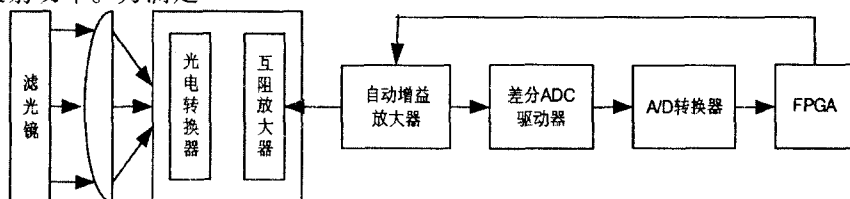


图2 接收电路

2.4 控制处理器

EP2C8Q208C8 是 Altera 公司 Cyclone II 系列 FPGA,该系列从根本上针对低成本进行设计,以低于

ASIC 的成本实现了高性能和低功耗。控制处理器 (FPGA) 主要实现方波信号发生器、FIR 滤波器、自动增益控制、A/D 采样控制、信号处理和输出等功能。考虑到能见度仪安装在高速公路沿线, 采用太阳能电池板供电, 需采用高效率的电源转换芯片, 本设计采用 TI 公司的开关电源转换芯片 TPS54310 分别产生 3.3V 和 1.2V 的电源为 FPGA 供电, 其转换效率可达 95%。为保证系统工作的稳定性和可靠性, FPGA 的电源纹波均控制在 100mV 以内。为了方便能见度仪的校正, FPGA 通过 SD 卡接口建立校正数据库。上位机通过 RS232 接口与 FPGA 通信, 以获取能见度信息和对能见度仪的控制, FPGA 接口采用 3.3V CMOS 电平, 而 PC 机采用 5V TTL 接口电平, 因此在二者间需加入电平转换驱动/接收器 MAX3232。

3 软件设计

控制处理器 (FPGA) 主要实现自动增益控制、A/D 转换控制、FIR 滤波和串口通信功能。系统每 10 秒输出一次能见度值, 通过上位机与 FPGA 的串口通信, 在上位机中显示。

3.1 自动增益控制 (Automatic Gain Control)

在 A/D 转换环节, 为保证 A/D 转换的动态范围, 要求低噪声放大器和自动增益控制 (Automatic Gain Control) 电路能够提供大动态范围的自动增益控制。AGC 系统由可变增益放大器和反馈回路组成。反馈回路从可变增益放大器的输出中提取幅度自动调节可变增益放大器的增益, 当输入可变增益放大器的信号幅度增大时, 反馈回路控制其增益按一定关系减小; 减小时, 其增益则按一定关系增大。这样无论输入信号的强弱, 经 AGC 放大后都能得到电平基本恒定的输出信号, 从而保证系统的动态范围^[11]。

AD9235 是 12bit 高速 A/D 转换器, 当输入信号超出 A/D 模拟采样范围时, 溢出指示 OTR 将输出高电平, 结合最高位指示 MSB 的电平就可判断出是上溢出还是下溢出。当输入信号溢出时, 通过改变增益控制字调整放大倍数, 改变信号幅度。

3.2 FIR 滤波器

FIR 数字滤波器能够满足滤波器对幅度和相位特性的严格要求, 避免模拟滤波器的温漂和噪声等问题, 具有精确的线性相位、易于硬件实现和系统稳定等优点, 广泛应用于现代电子通信系统^[12]。使用具有并行处理特性的 FPGA 实现 FIR 滤波器, 具有很强的实时性和灵活性, 为数字信号处理提供了一种很好的解决

方案。

Altera 公司提供的 FIR Compiler 是一个结合 Altera FPGA 器件的 FIR Filter Core, DSP Builder 与 FIR Compiler 紧密结合, DSP Builder 提供一个 FIR Core 的应用环境和仿真验证环境^[13]。FIR 滤波器设计实质上是确定能满足所要求的转移序列或脉冲响应的常数问题, 设计方法主要有窗函数法、频率采样法和等波纹最佳逼近法等, 本设计采用窗函数法。

FIR 滤波器设计达到以下指标: 带通滤波, 采样频率 F_s 为 20kHz, 中心频率为 1kHz, 带宽为 300Hz, 最小阻带衰减 A_s 为 50dB, 10 位输入数据宽度, 8 位系数数据宽度。其频域响应如图 3 所示。

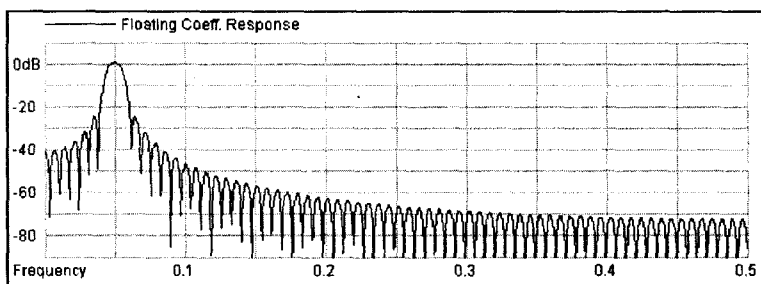


图 3 FIR 滤波器频域响应

4 测试结果

为保证 A/D 采样的准确性, 首先用函数信号发生器模拟接收器输出信号, 测得 A/D 转换后的电平与输入信号保持良好线性关系。

通过雨雾模拟实验, 检测发射器和接收器的性能。测试得出在雨雾浓度越高 (能见度越低) 的情况下, FPGA 输入电平值越大, 与实际散射作用越强保持一致。另一方面, 通过 Quartus II 软件中 SignalTap II Logic Analyzer 工具观察接收信号和经过 FIR 滤波后的信号, 得出通过 FIR 滤波已很好地滤除噪声和干扰, 成功提取出有用信号, 如图 4 所示。

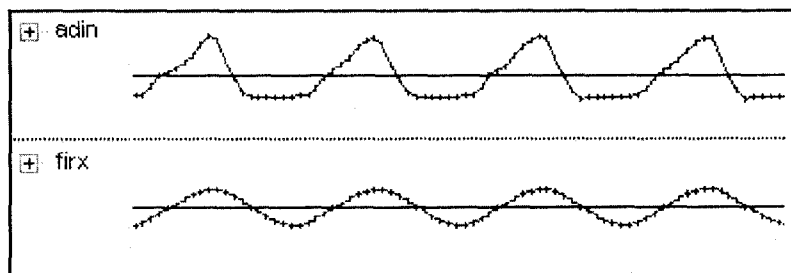


图 4 FIR 滤波效果图

整体样机于 2010 年 2 月 23 日, 在杭州进行测试, 通过上位机软件记录下位机串口输出能见度值, 并与杭州气象网站发布的实时能见度数据进行对比, 得出在能见度小于 3km 的条件下, 样机输出值与参考值保持良好一致性, 如图 5 所示。

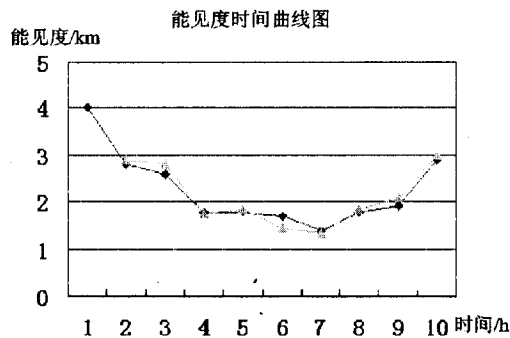


图5 测试结果

5 结束语

通过测试发现样机在能见度小于 3km 的天气条件下,能正确反应能见度实时状况,在能见度大于 3km 时,样机无能见度值输出,说明样机测量范围为 3km 以内,这主要是由于光学系统不够精密,不能对较弱的散射信号进行接收,下一步工作将改进光学系统,提高系统的灵敏度。

参考文献:

- [1] 田小毅,吴建军,严明良,等. 高速公路低能见度浓雾监测预报中的几点新进展[J]. 气象科学,2009,29(3):414-420.
- [2] 邱金桓,陈洪滨. 大气物理与大气探测学[M]. 北京:气象出版社,2005:59-65.

(上接第 142 页)

4 结束语

文中在队列调度算法 DWRR 的基础上提出了一种改进的算法 DWRR+,该算法根据一次轮询中各队列分组分批发送的思想,在不浪费带宽的前提下保证了业务的低延迟特性,提高了网络的服务质量。基于 WRR 类的算法对实时业务支持方面较差,目前的 QoS 路由大多数是将实时业务独立进入低延迟队列(LLQ),提供绝对的优先级,其他业务采用轮询调度算法,这样提高了复杂度。因此下一步的工作是如何对算法进一步的优化,以同时满足不同业务的不同需求,提高网络的服务质量。

参考文献:

- [1] 林 闯. 计算机网络的服务质量(QoS)[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] Blake S,Blacke D,Carlson M,et al. An Architecture for Different Services[S]. RFC 2475,1998.
- [3] Sayenko A,Hamalainen T,Joutsensalo J,et al. Comparison and Analysis of the Revenue-based Adaptive Queuing Models[J]. Computer Networks,2006,50(6):1040-1058.

- [4] Ghyal P,Start H M. Start-time Fair Queuing: A Scheduling Algorithm for Integrated Services Packet Switching Networks[J]. IEEE/ACM Trans,1997,5(5):690-703.
- [5] Li Miaoyan,Song Bo. Design and Implementation of a New Queue Scheduling Algorithm in DiffServ Networks[J]. Wireless Communications,2008,1(6):1-4.
- [6] Chiang M,Low S,Calderbank A,et al. Layering as optimization decomposition: A mathematical theory of network architectures[J]. Proceedings of the IEEE,2007,95(7):1255-1259.
- [7] Zheng Bo,Lin Chuang,Li Yin. A queue management algorithm fit for network processor[J]. Journal of Computer Research and Development,2005,42(10):1689-1705.
- [8] 刘克非,王 红. 一种基于服务质量预测的 Web 服务选择方法[J]. 计算机技术与发展,2007,17(8):103-105.
- [9] 陈 伟,黎忠文. 一种新的 VoIP 自适应缓冲算法[J]. 计算机技术与发展,2009,19(1):4-6.
- [10] 王胜灵,侯义斌. PFWRR: 能实现比例公平的增强型 WRR[J]. 计算机学报,2008(5):24-28.
- [11] 金 伟,刘方爱. 基于 NS 的 Ad hoc 网络路由协议仿真研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(1):63-67.
- [12] 柯志亨. NS2 教学手册[DB/OL]. 2006. <http://140.116.72.80/~smallko/ns2/ns2.htm>.

- [4] Ghyal P,Start H M. Start-time Fair Queuing: A Scheduling Algorithm for Integrated Services Packet Switching Networks[J]. IEEE/ACM Trans,1997,5(5):690-703.
- [5] Li Miaoyan,Song Bo. Design and Implementation of a New Queue Scheduling Algorithm in DiffServ Networks[J]. Wireless Communications,2008,1(6):1-4.
- [6] Chiang M,Low S,Calderbank A,et al. Layering as optimization decomposition: A mathematical theory of network architectures[J]. Proceedings of the IEEE,2007,95(7):1255-1259.
- [7] Zheng Bo,Lin Chuang,Li Yin. A queue management algorithm fit for network processor[J]. Journal of Computer Research and Development,2005,42(10):1689-1705.
- [8] 刘克非,王 红. 一种基于服务质量预测的 Web 服务选择方法[J]. 计算机技术与发展,2007,17(8):103-105.
- [9] 陈 伟,黎忠文. 一种新的 VoIP 自适应缓冲算法[J]. 计算机技术与发展,2009,19(1):4-6.
- [10] 王胜灵,侯义斌. PFWRR: 能实现比例公平的增强型 WRR[J]. 计算机学报,2008(5):24-28.
- [11] 金 伟,刘方爱. 基于 NS 的 Ad hoc 网络路由协议仿真研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(1):63-67.
- [12] 柯志亨. NS2 教学手册[DB/OL]. 2006. <http://140.116.72.80/~smallko/ns2/ns2.htm>.