

Y1047519



中国近代第一所大学

FOUNDED IN 1895

天津大学

TIANJIN UNIVERSITY

硕士学位论文

M. S. DISSERTATION

学科专业：精密仪器及机械

作者姓名：洪权

指导教师：林凌 副教授

天津大学研究生院

2005年 12月

中文摘要

近年来,高速公路事业在世界许多国家都取得了长足的进步,为世界经济的发展做出了巨大的贡献。尤其在中国,高速公路总里程以每年数千公里的速度增长,目前已经突破3万公里,位居世界第二。然而由于高速公路上车流速度快、流量大及其自身全封闭、全立交,车辆不得随意减速和停车,因此高速公路一旦遇到低能见度的特殊天气,特别是具有很大突发性和随机性的团雾或是沙尘暴时就极易发生交通事故。由大雾(特别是团雾),雨雪,沙尘暴等天气因素致使高速公路上能见度降低已成为目前高速公路上交通事故的主要诱发因素,并且造成了社会经济和人民生命财产的巨大损失。所以在我国设计开发一套低成本,高性能的能见度预警系统有着很好的实用价值和广泛的应用前景。

针对瞬时团雾和沙尘暴天气以及高速公路自身特点,本课题提出了一种新型基于CAN总线的高速公路能见度预警系统。该系统由测量节点和通信总线组成。在测量节点,我们采用可以进行长距离采样的光电传感器,利用锁相检测原理,检测由远距离光电传感器得到的反映能见度状况的微弱光信号。同时,利用由CAN总线组成的长距离通信网络,我们可以实现各个测量传感器节点之间通信和控制信号的相互传输。从而实现对高速公路能见度的全天候实时全程监测预警。

本论文首先介绍了针对高速公路开发能见度预警系统的理论及现实意义,并对目前存在的系统进行了比较分析。根据比较分析的结果,提出本课题的总体设计方案,并对其中的测量原理,实现步骤等进行了可行性分析。然后具体介绍系统的硬件设计及功能实现,对系统所涉及到的信号检测以及通信系统分别作了具体的说明与分析。接着针对硬件设计给出了系统各个功能模块的具体软件设计。最后,介绍了本课题关于确定报警阈值的模拟实验,以及对整个系统的测试结果。

本论文工作的创新点在于:首先,采用了透射式能见度信号检测方式,实现了对高速公路瞬时能见度变化的全程的监控。其次,在能见度信号的提取上,采用了新型的锁相解调电路,实现了在强背景噪声下对微弱光信号的提取,在温度信号的测量上,采用菊花链式多点测温的TMP05数字温度传感器,仅用微处理器的一个I/O口实现了多点的温度检测。最后,系统的通信方面采用了低价位,高性能的CAN总线作为通信介质,在降低整个系统造价的同时保证了系统通信的可靠性,也为全程监控的实现提供了可行性。本设计同时保留部分微处理器的I/O接口,用于满足系统进一步的功能扩展,使得本系统更具有灵活性和适应性。

关键词:高速公路 能见度 CAN总线 预警 锁相检测

ABSTRACT

In the past several decades, expressway has made a considerable progress in many countries of the world, and has made enormous contribution to the development of the national economy. In China, especially, the total mileage of the expressway increases at the speed of thousands of kilometers every year, have already topped 30,000 kilometers at present, the second longest of the world. However, along with all the advantages and convenience is the developing rate of traffic accident occurrence. Because of the high speed and big flow of the vehicles, the totally closed, full-overpass structure of the expressway and the rule that forbid decelerating and parking freely, accidents occur frequently on the expressway when the visibility is low, especially when there are agglomerate fog and sandstorm appearing paroxysmally and stochastically. In other words, the most important factor that caused traffic accident on the expressway is the low visibility, which is depressed by local or regional weather status such as agglomerate fog, rain, snow and sandstorm. So design and develop a set of low cost in our country, the high-performance early warning system of visibility It has very good practical value and extensive application prospect that design a visibility pre-warning system, which is low cost and the high-performance, on the expressway in China.

Considering the characteristic of the momentary agglomerate fog, sandstorm and the expressway itself, therefore, we suggested a new kind of visibility pre-warning system for the expressway, which is based on CAN bus. The pre-warning system is made up of measuring nodes and communication bus. At the measuring nodes are long-distance photoelectric sensors, which are designed for the long-distance air sampling. A precision phase lock-in detecting circuit is designed to detect the faint optical signal under the controlling of the microcomputer. In virtue of the advantages of the CAN bus, meanwhile, we can form a long distance network, and the measuring signal as well as the controlling signal can be transmitted between sensor nodes and controlling node in real time and at low cost. Then we can monitor the visibility status of whole expressway in time all-day.

At first, the thesis introduces the theory and realistic meaning of the visibility pre-warning system of the expressway and then pays more attention to the researching and comparing and analyzing of the present system. According to the result of the comparing and analyzing, the integrated design of the system is presented, and then,

the feasibility analysis of the measuring principle and the implementation steps. Second, the thesis introduces the hardware design and the function realizing of the system in detail. And then the analyzing of the sign detecting and the communication system followed. In rapid sequence, the thesis introduces the software design of all the functional modules for the hardware. At last, the simulation experiment for the confirming of the warning threshold value and the test result to the whole system are presented.

The innovation points of this thesis are as follows: First of all, we adopt the new transmitting-type long-distance visibility sensor to realize the purpose to cover whole journey of the expressway. Secondly, adopting the new phase lock-in detecting circuit to deal with the faint optical signal of the visibility, and we have realized the accurate pre-warning of the visibility state. On detecting of the temperature signal, we adopt digital temperature sensor TMP05 which has daisy-chain for multi-point temperature measurement, so we can realize multi-point temperature measurement by only one I/O port of the microcontroller. Lastly, using CAN bus as communications bus, we have guaranteed the steady real-time processing and control of the signal at lower costs. Meanwhile we can offer the advantage for all-weather work of the system. We also reserve some I/O ports at the same time, which can meet the needs of some new functions of the system, increasing the flexibility and adaptability of pre-warning system.

Keywords: Expressway Visibility CAN Bus Phase Lock-in Detecting

独创性声明

本人声明所提交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：洪叔

签字日期： 06年 1月 8日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。

特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名：洪叔

导师签名：林凌

签字日期： 06年 1月 8日

签字日期：2006年 1月 8日

第一章 序论

1.1 引言

近年来,高速公路事业在世界许多国家都取得了长足的进步,为世界经济的发展做出了巨大的贡献。尤其在我国高速公路蓬勃发展,每年以几千公里的速度递增。到目前为止,全国高速公路总里程已突破三万公里,位居世界第二^[1]。现在在高速公路建设已成为拉动内需,促进国民经济快速发展的重要因素之一。高速公路的不断延伸,也为道路运输的迅速发展创造了有利条件。最近十年高速公路日益增多,运输效率、服务水平和道路运输在国民经济中的地位空前提高。高速公路和道路快速运输必将成为我国的经济发展和进步,带来更加深刻的变化。

然而高速公路在成为促进国民经济快速发展的重要因素的同时,不断上升的高速公路交通事故发生率和死亡率也给人民的生命财产安全和社会经济的稳定发展带来诸多不利影响。高速公路素以高速、便捷、高流量及安全著称,一般发达国家高速公路的交通事故总数和死亡率只有普通公路的 1/3 到 1/2,而据有关资料统计,我国高速公路上的事故发生率和死亡率却均大于普通公路,自 1994 年以来我国高等级公路交通事故次数一直占事故总数的 30%以上,并呈明显上升趋势。以 1996 年为例,我国高速公路共发生交通事故 6797 起,死亡 864 人,受伤 2215 人。

最近几年高速公路的事故记录也证明了这种增长趋势:

1. 1992 年 8 月 19 日凌晨,京津塘高速公路 K27.5 处(北京段),因雾影响,致使发生 15 辆汽车连续追尾交通事故,死 3 人,伤 16 人,6 辆车报废,直接经济损失达 40 余万元。

2. 1993 年 2 月,沈大高速公路南行线 K111 处,因路面有雾发生致使 6 车连续追尾相撞,死 3 人,伤 13 人,直接经济损失在 10 万元以上。

3. 1995 年 1 月 8 日晨 8 时,京石高速公路 K86~88 处,因突起浓雾造成 60 余辆汽车追尾相撞事故,死亡 1 人,重伤多人,经济损失巨大。

4. 1996 年 11 月 24 日晨 7 时,沪宁高速公路无锡段因路面雾大,造成 44 辆汽车首尾相撞,以致发生死 9 人伤 12 人的特大交通事故,经济损失无法估计。

5. 1997 年 11 月 14 日,京石高速公路因路面有雾,连续出现两起 10 车和 6

车追尾事故, 经济损失巨大。

6. 1997年12月17日晨8时, 因雾大能见度低, 在京津塘高速公路进京路段, 连续发生两起40余辆汽车追尾事故, 9人死亡, 41人受伤, 经济损失巨大。

7. 2000年9月4日晨6时, 京沈高速公路K268~270处因突发团雾, 造成近百辆车追尾相撞, 死伤60余人。

8. 2001年8月22日清晨, 京沪高速公路山东临淄段因大雾弥漫, 造成一百多辆车追尾相撞, 死伤20余人^[2]。

目前, 我国高速公路每百公里事故发生率是普通公路的近四倍, 其中因雾等恶劣天气的影响造成的事故就占事故总数的近1/4。也就是说高速公路交通事故绝大多数发生在能见度较低的时候。基于此, 对高速公路的能见度状况进行全天候实时全程监测对消除由低能见度特别是随机团雾, 瞬时雨雪, 沙尘暴等短时低能见度引起的交通事故, 有着非常重要的意义^[3]。

1.2 能见度的定义及其检测方法

1.2.1 能见度定义

能见度又称为气象视距, 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。在夜间则是能看到和确定出一定强度的灯光之最大距离。从上述定义可以知道能见度取决于人眼的生理特性, 目标物和背景物的光学特性, 以及视线内大气气柱的光学特性, 当人为因素确定后能见度就取决于当时的大气光学特性(大气透过率)。

能见度的白天的定量测量基于1924年Koschmieder建立的理论, 这个理论给出了能见度与大气消光系数的基本关系式, 也叫Koschmieder定律^[4]:

$$V = -\frac{L \ln \varepsilon}{\delta} \quad (1-1)$$

式中V为能见距离, δ 为大气消光系数, ε 为视觉对比阈值一般取0.02或0.05。

Allard定律是测量夜间能见度的基础。夜间能见度通常是指对未聚焦的发光体(灯光)所能看得清楚的最大距离, 因此, 夜间能见度也叫灯光能见度。Allard定律描述为: 在消光系数为 δ 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:

$$E = \frac{I e^{-\delta d}}{d^2} \quad (1-2)$$

如果这个点光源恰好能被看见，这就意味着此时的照度刚好达到观测者眼睛的照度阈值 E ，对应的距离 d 即为能见度(能见距离) V 。

$$E_t = \frac{Ie^{-\delta d}}{V^2} \quad (1-3)$$

这里 E_t 不是常数，是背景亮度的函数。在计算当时的能见度值时，可以根据背景亮度值确定照度阈值，光源的光强已知，通过能见度仪器可以确定出 δ 值，便能得到能见度值。

1.2.2 检测原理及其比较

目前对能见度的测量有多种方法，最具代表性的有透射式和散射式两种。下边将分别做具体介绍：

1.2.2.1 透射式

这种是发、收分置一定距离，直接测量光束穿过这段距离，获得大气透过率的透射表测量法，透射表测量机理经典，计算方法简单，被安装在很多重要机场的跑道上。但有两个缺点：一是由于光学收发系统分体安装，所以，现场调校相对困难；二是测量范围受基线长度的影响。透射式能见度测量装置的原理图如图1-1所示^[6]：

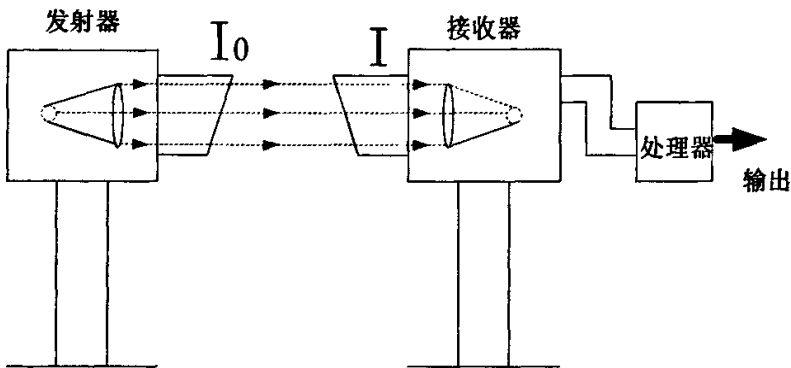


图1-1 透射式能见度检测系统原理图

1.2.2.2 散射式

由Koschmieder定律和Allard定律我们可以看到，获得能见度确定值，重要的是求取描述大气对光能衰减程度的消光系数的大小。大气消光过程包括大气粒子对光的散射和吸收，在相当短的距离内，大气对光的吸收可以忽略不计，光能的衰减就可以看作是只由散射引起的，这时的消光系数 δ 实质上反映了大气的总

散射能力。因此，通过研究大气散射特性，获得消光系数。进而求取能见度值，是一种可行的方法^[6]。

散射式方法是发、收光轴形成一定角度，测量大气中气溶胶粒子散射量的散射仪测量法。散射式能见度测量装置的原理图如图1-2所示：

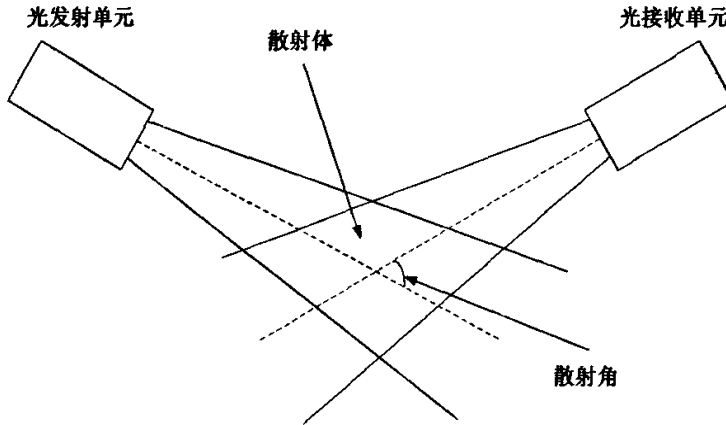


图1-2 散射式能见度检测系统原理图

散射法按接收散射光方向的不同，又分前向散射法(光学发射头与接收头分置于散射体两侧)和后向散射法(光学发射与接收头位于散射体同侧)两种。散射法所用仪器结构紧凑，可以将光源发射器与接收器做在同一支架上成为一个整体，避免了透射仪光学系统难以对准的缺点。当散射角选取合适时，可认为散射相函数基本不变，在接受范围内对散射光强进行积分，对比接收的光强，从而求得大气平均消光系数，间接得出水平能见度。但也有以下缺点：其一、取样空间相对小，测量的只是一个较小体积空气样本的散射量，代表性稍差；其二、定标相对困难，计算公式的反演也比较繁琐。最主要的是，由于仅考虑考虑光子的出和入，而未考虑到散射过程中的多次散射问题，使得能见度低时误差大^[7]。

综合以上对两种测量方法的具体分析，以及本课题对系统的要求，造价，实用性等多方面考虑，我们采用透射式方法检测能见度信号。由此，我们基于透射式检测方法构建出一套经济实用，稳定可靠的高速公路能见度预警系统。

1.3 预警系统概述

国外发达国家高速公路起步较早，他们通过布设在高速公路上的传感器、高架摄像机及可变情报板对高速公路交通状况进行 24 小时监控，一旦有情况就通过高速公路自动监控系统和专门的高速公路广播电台及时将信息提供给管理人

员和驾驶者,以提醒其采取必要措施。其中的能见度仪主要采用芬兰 Vaisala 公司的 FD12 型,美国 Belfort 公司的 CATNO6113 型,德国 Impulsphysik 公司的 FSM 型以及加拿大 PEP9012 型等散射式能见度仪。国内产品主要有洛阳卓航与中科院大气物理研究所合作开发的 CJY-1 型能见度测试仪,杰思高速公路智能监控系统,恒宇能见度预警系统等。

以上国内外的预警系统均采用传统散射式能见度仪作为能见度的检测设备,使得气体取样空间相对较小,代表性较差,很难对高速公路进行全程监控,这样就无法检测到时间和空间随机性很强的瞬时团雾和沙尘暴。同时,由于以上系统均对多种气象参数和路面状况进行检测,需要传输的信息很多,若采用光纤传送,保证了传输速度与距离却使得系统成本非常昂贵,若使用 RS-485 等传送又很难达到实时和覆盖全程的目的。

1.4 课题意义及主要工作

1.4.1 课题意义

鉴于以上问题与矛盾,本文提出了基于 CAN 总线的高速公路能见度预警系统。我们采用新型远距离光电传感器检测能见度信号,利用锁相解调检测电路提取传感器的微弱光信号,然后用单片机对提取的信号进行处理,在将检测信号用 CAN 总线传送给其他各个测量节点和主控节点的同时根据信号处理结果对本节点处的能见度状况做出相应的控制操作。根据以上系统设计我们仅对与交通事故密切相关的能见度信息进行检测与传送,通过检测反映大气消光系数的出射光强与入射光强的比值来预警消光系数,从而间接预警能见度,这样简化了系统,提高了效率。采用新型的远距离能见度传感器实现了覆盖高速公路全程的目的;采用锁相检测电路对微弱光信号进行检测,提高了系统的精度和稳定性,实现了对能见度状况的精确预警;采用 CAN 总线进行通信,降低成本的同时保证了对信号的实时处理与控制;采用整个系统的低功耗设计也为系统全天候工作提供了有利条件。由此,我们用简单实用的系统实现了对高速公路能见度信号稳定有效的全天候实时全程监测。

1.4.2 主要工作

根据本课题的意义和欲达到的本文的主要工作集中在一下几个方面:

1. 设计远距离测量微弱光信号的光电转换传感器及其检测电路,实现对远距离

微弱光信号的准确提取与精确测量。

2. 设计光信号的远距离传输光路，对传输的光信号进行扩束，聚焦，滤光等技术处理，以达到更好的抗干扰能力。
3. 设计系统信号的采集与处理硬件单元，实现对系统所需各种信号的实时采集与处理，进一步控制和调整系统其他部件稳定，正常的工作。
4. 设计系统信号的通信传输网络，实现各个测量节点之间，以及整个系统网络之间实时的相互通信。
5. 完成信号采集与处理单元和信号通信网络对应的系统各个部分的软件设计与功能实现。
6. 对整个系统进行测试及其对能见度报警阈值进行现场标定。

第二章 系统总体设计及其可行性分析

2.1 总体设计

在本文的预警系统中，主要是测量能见度状况信号，即发射光强经过空气发生衰减以后接收到的光强，通过接收到的光强与发射光强的比值和所设定报警阈值进行比较，将比较后判断的结果通过 CAN 总线传递到控制系统，由控制系统控制声光报警器报警。在测量能见度状况信号的同时，测量系统还要完成温度检测与控制。温度控制一方面要确保光的发射器件和接受器件在恒温下工作以实现光功率稳定的输入输出；另一方面要防止仪器上扩束镜片和滤光镜片的温度与外界温度相差太大而导致水汽在镜片上凝结，从而影响光信号的透过，产生额外误差。

预警系统将安装在高速公路的中间隔离带上，以实现对来往两车道的同时监控，并且采取发射装置与接受装置分体安装，如图 2-1 所示，以发射装置 1 起始，经过数百米或数千米安装接受装置 1 以及下一个发射装置 2，再过数百米或数千米安装接受装置 2 以及发射装置 3，如此级联的传递下去以覆盖整个高速公路，达到对全程进行监控的目的^[8]。

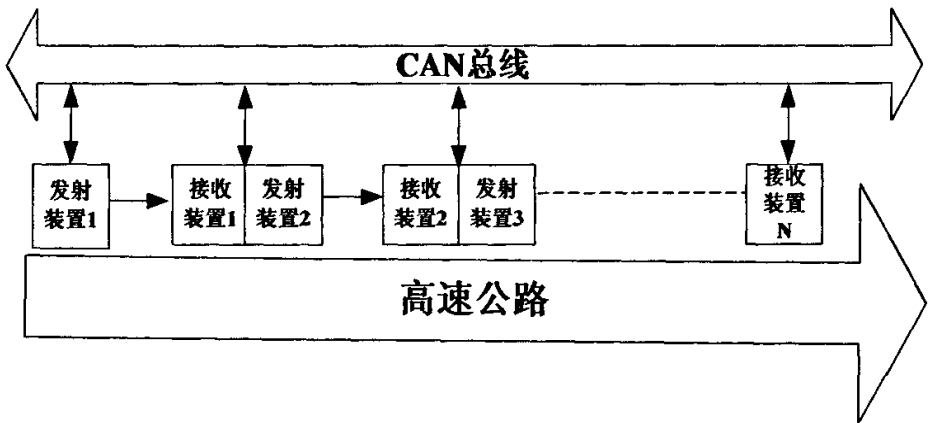


图 2-1 级联式系统装配图

将上一个接受装置与下一个发射装置有机的结合在一起构成单点的能见度报警小系统，如此数百个或数千个报警小系统由通信系统总线相连构成了覆盖全程的全天候实时报警系统。

2.2 硬件设计

2.2.1 系统信号检测单元电路设计

2.2.1.1 能见度信号检测与处理

测量系统中，最主要是测量能见度状况信号。由于预警系统仅对能见度进行预警，无需测得能见度的绝对值，根据 Koschmieder 定律，当视觉对比阈值一定时，能见度与大气消光系数成反比关系，所以通过测量预警大气消光系数就可以间接预警能见度。我们采用远距离透射法测量大气消光系数，即测量发射光经过长距离空气发生衰减后得到接收光，通过接收到的光强与发射光强的比值和所设定报警阈值进行比较，将比较后判断的结果通过 CAN 总线传递到控制系统，由控制系统控制声光报警器报警。

图2-2中，驱动电路用一定频率的信号驱动红外半导体激光二极管，红外半导体激光二极管发出以此频率为载波的调制激光信号，激光信号通过透镜组成的扩束系统将光束扩束到一定尺寸后进入空气中传输数百至数千米，这时将经过空气衰减后的激光调制光束通过滤光片和聚焦镜聚焦到光电转换器的硅光电池上，具体的远程光信号传输光路如图2-3所示^[9]。

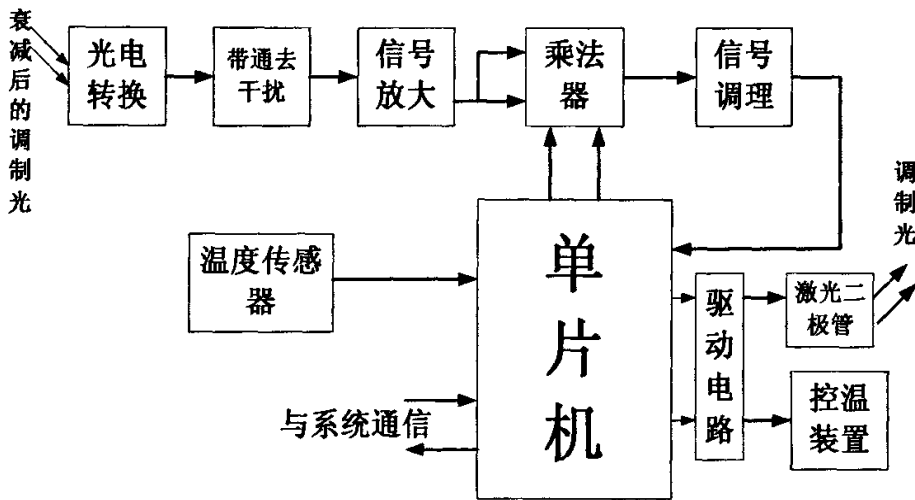


图 2-2 单点测量系统框图

在图2-3所示光路中，会聚透镜和扩束透镜先将调制光束的光斑进行放大，这样降低了光线在传输的过程中受到小物体的影响程度，避免了一些不必要的干扰。然后光线在空气中传播数百米或是数千米达到滤光透镜，滤光透镜将滤除与

有用信号无关的可见光等非红外光，避免了强光进入致使光电转换器件硅光电池饱和。最后，透过滤光透镜的光线将通过聚焦透镜聚焦到硅光电池上，由硅光电池进行光电转换，得到所需的反映接收光强大小的电信号。

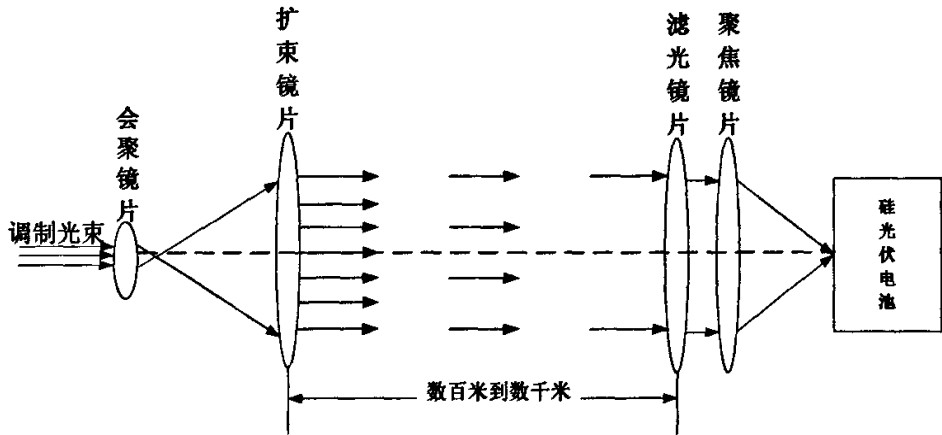


图 2-3 预警系统远程信号传输光路图

硅光电池检测到的电信号经过带通滤波器去掉暗电流和高频干扰，反向放大器放大后，再经过乘法器与单片机输入的解调信号相乘进行锁相解调，由于接收到的微弱光信号幅值非常小，在传输过程中必然会受到温度变化较大的影响，尤其是微弱光信号在大气中传输时还会受到可见光，灯光，雷电等强背景噪声的很大影响。而温度，可见光，灯光等都是随时间变化很小的低频近直流信号，所以如果光由恒定光源或是低频变换的光源产生的话，在传输过程中由于有用光信号与干扰信号频率相同或相近，将会受到干扰源的叠加影响，而在光电转换后无法通过滤波等处理方法除去。由此，我们可以根据幅度调制原理与锁相检测原理先以一定频率将光源进行幅度调制，使其发出一定频率的调制光，调制光在传输过程中虽然也受到干扰源的影响，由于频率不同且相距较远，在光电转换后可以用锁相解调很容易的将干扰除去，从而得到有用的光电转换信号。由于锁相放大电路具有很高的信噪比，可以把湮没在噪声中的信号提取出来，大大提高了仪器的分辨率。所以基于锁相解调的微弱光信号检测电路具有很高的精度。解调后的信号经过信号调理电路进行滤波和运算以后，输入单片机进行数据处理，单片机根据处理结果与通信系统进行通讯，将结果传送到中央监控系统，由中央监控系统发出能见度报警信号。

2.2.1.2 温度信号检测与控制^{[14][15]}

目前，能见度仪一般都采用光学发射器件和接受器件检测能见度，发射器件

发出一定强度的光，通过透射或是折射由接收器件接收，由接收光强和发射光强的比值检测能见度值。然而不论是发射器件还是接收器件都要求在恒温下使光功率率稳定，才能正常工作。如果由于器件长期连续工作，不断产生自热，使得器件工作温度过高；或是外部温度过低，使得器件工作温度过低，这都将导致光功率漂移，使能见度仪光学检测器件不能正常工作。另外，如果能见度仪的光学镜片内部与外界环境温度温差过大，还会在光学镜头表面形成水汽凝结。当光通过时会产生折射、散射等现象，严重影响激光信号的发射和接收，造成能见度仪的测量精度误差。由此可见，温度的检测和控制对于能见度仪来说是非常的重要，根据能见度仪的结构和测量原理，至少要对光学器件和环境温度两点的温度进行检测才能对能见度仪内部的温度进行正确的控制。

在温度测量方面，随着数字化传感器技术的不断发展，数字式温度传感器以其测量精度高，抗干扰能力强，传输距离远，外围接口电路简单等诸多优点逐渐在工业检测、生物医学、环境监测、自动化控制等诸多领域中得到非常广泛的应用。在诸多的数字温度传感器中 ADI 公司推出的 TMP05 是世界上最小的数字式传感器，它体积小，功耗低，精度高，可以应用于很多的测温场合。尤其是 TMP05 独有菊花链式多点测温功能，可以很方便的利用一片单片机实现多点的温度检测。与传统的多点测温传感器 DS18B20 相比，TMP05 具有体积小，功耗低，测温范围宽，不存在总线竞争，软件编程简单，中断处理方式占用较少的 CPU 资源等诸多优点^[17]。

当微处理器对所测温度进行分析判断后，系统会通过控温装置对测量单元内部温度进行调解，以达到使发射器件和接收器件都在恒温下工作，保证光功率稳定。同时消除镜片上残留水滴的影响。

2.2.2 系统通信网络单元电路设计

2.2.2.1 单片机与 CAN 总线的硬件设计^[9]

借助于CAN总线传输距离长，通信节点多，组网方式灵活，介质价格便宜等优点，我们用CAN总线传输预警信号，构成经济实用的预警系统实现对高速公路能见度的全天候实时全程监测。测量节点接入CAN总线的具体硬件电路图如图2-4所示，整个硬件电路由微控制器，隔离芯片，CAN总线驱动芯片三部分组成。微控制器我们选用微芯公司新款集成CAN总线控制器的PIC18LF458单片机，它是8位COMS单片机，内部采用哈佛总线结构，使得全部指令单字节、单周期化，有利于提高CPU执行指令的速度，从而提高单片机的运行速度。同时，最低达2V供电电压，大大降低系统的功耗，以上特点不光满足了系统需要快速响应的实时性要

求，而且满足了系统需要全天候长时间工作的低功耗要求。为了增强CAN总线节点的抗干扰能力，需要用隔离器件实现总线上各节点之间的电气隔离，隔离芯片我们采用美国ADI公司由iCoupler技术支持的双通道数字隔离器ADUM1201，它比传统的光电隔离具有更好的性能，它消除了传统光电隔离器不确定的传输速率，非线性的传输函数，以及温度和寿命对器件的影响，不需要其他的驱动和分立元件，提供了更加稳定的转化性能，而且在相同的信号传输速率下功耗只有光电隔离器的1/10到1/6。ADUM1201采用双转化通道，并且两通道方向相反，非常适合于CAN总线信号的传输，大大简化了系统的硬件结构。CAN驱动器我们选用微芯公司的CAN总线驱动芯片MCP2551，它完全兼容ISO-11898标准，最高速率可达1Mbps，提供了比82C250更好电磁辐射和抗电磁干扰能力性能。

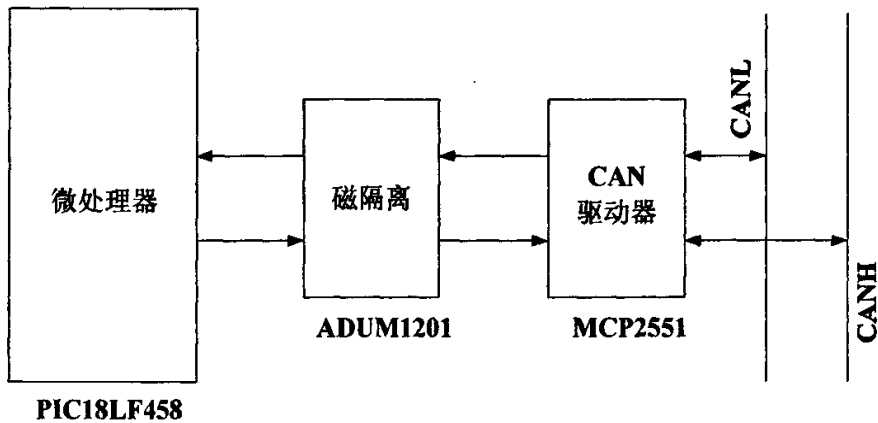


图2-4 单片机与CAN总线的硬件连接

2.2.2.2 CAN 总线网络扩展电路设计

根据课题要求，需要该预警系统可以覆盖高速公路全程，而由于受到CAN收发器的限制，在一个CAN总线网络中最多只能达到10km（传输率为5kb/s）的通讯距离。所以要想实现覆盖全程的目的，就必须进行CAN总线网络的扩展。

目前一般的扩展方法都是采用在网段之间加入CAN总线中继器。这样通过中继器实现网段之间的信号的放大与转发。根据本课题所选取的微处理器的特点，我们设计了基于SPI借口的中继转发电路实现各个网段之间的转发问题。具体实现方式如图2-5所示。

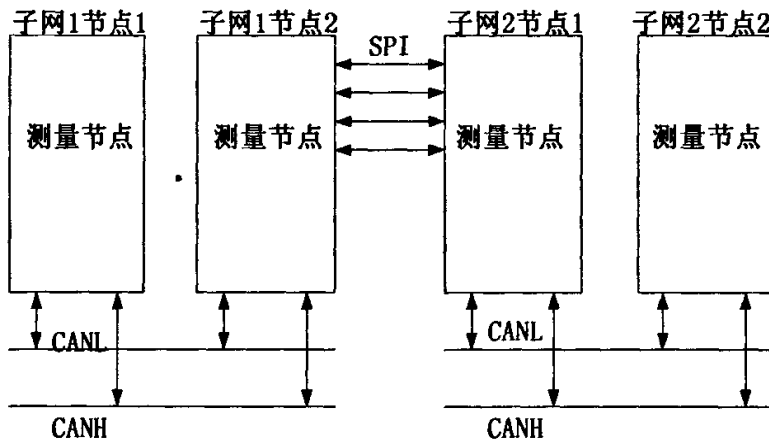


图 2-5 CAN 总线网络扩展设计

2.3 软件设计^[30 31 47]

由于本课题微处理器选择的是美国微芯公司的 PIC18LF458, 所以软件设计采用的是美国微芯公司专用的在线调试软件 MPLAB-IDE 以及在线调试器 MPLAB ICD2。

MPLAB ICD2 在线调试器是一款低价位的 PIC 开发工具, 它利用 Flash 工艺芯片的程序区自读写功能, 使用芯片来实现仿真调试功能。MPLAB ICD2 使用的软件平台是 Microchip 的 MPLAB-IDE v6.20 (集成开发环境软件包) 或更高版本, 兼容 Windows 95/98、WinNT 和 Win2000 等操作系统。其通信接口方式可以是 USB (最高可达 2Mbit/s) 或 RS-232 串行接口方式; 工作电压范围为 2.0V 到 5.5V, 可支持最低 2.0V 的低压调试。

其主要功能特性有:

- ◆源程序编辑;
- ◆直接在源程序界面调试;
- ◆可设置一个 1 次断点;
- ◆变量和寄存器观察;
- ◆程序代码区观察;
- ◆修改寄存器;
- ◆停止冻结 (当上位机停止运行程序时, 冻结芯片的运行);
- ◆过电压\短路保护电路;
- ◆实时背景调试;

本课题软件设计部分主要由两个部分组成，信号检测部分和信号通讯部分。信号检测部分的软件设计主要实现产生调制信号，解调信号，完成 AD 转换以及多点温度测量等任务，信号通信部分的软件设计主要实现测量节点接入 CAN 网络通讯以及基于 SPI 接口的 CAN 网络的长距离扩展。

2.4 本章小结

本章主要介绍了基于 CAN 总线的高速公路能见度预警系统的总体设计方案。针对系统要求我们提出了在强干扰情况下测量长距离微弱光信号的测量电路单元，实现了对微弱光信号进行高信噪比的提取，同时采用了温度测量控制单元保证系统的稳定工作。为了达到低价位覆盖全程的目的，我们采用 CAN 总线进行数据传输，同时对 CAN 总线进行了网络扩展，实现对高速公路全程能见度的实时检测。

第三章 系统的硬件设计与实现

3.1 信号检测

3.1.1 能见度信号检测电路^[10 11 12 13]

在高速公路能见度预警系统课题项目中,测量系统主要是测量能见度状况对光强信号的影响从而对能见度进行预警,即测量发射光强经过空气发生衰减以后所接收到的光强,通过接收到的光强与发射光强的比值和所设定能见度报警阈值进行比较,将比较后判断的结果通过通信总线传递到控制系统,由控制系统控制声光报警器报警。由于课题中要对高速公路进行全程监控,为了减小测量点的数目以降低成本,增加气体采样空间以提高精度,需要光在空气中传输较长的距离,这样就使得光信号在传输的过程中的衰减较大,接收到的光信号非常微弱,极易被环境强大的背景噪声所湮没。基于这些因素,我们采用锁相检测原理,设计锁相解调电路对接收到的微弱的光电转换信号进行处理。锁相解调电路从强大的噪声背景中提取微弱的光电转换信息,是整个系统信号调理过程中非常关键的一环,对整个系统的精度以及稳定性起着至关重要的作用。

随着光学和光电子学在仪器仪表,自动控制,通信工程以及生物医学等各个方面应用的不断深入,光的传输和光电转换就成为系统信号处理过程中不可或缺的环节,并且直接决定着整个系统的精度。所以如何使得光信号特别是微弱光信号在传输的过程中受到尽可能小的干扰影响,如何在光电转换的过程后尽可能全的提取有用信号也就成为光电信号调理的关键所在。由于微弱光信号幅值非常小,在传输过程中必然会受到温度变化较大的影响,尤其是微弱光信号光在大气中传输时还会受到可见光,灯光,雷电等强背景噪声的很大影响。而温度,可见光,灯光等都是随时间变化很小的低频近直流信号,所以如果光由恒定光源或是低频变换的光源产生的话,在传输过程中由于光信号与干扰信号频率相同或相近,将会受到干扰源的叠加影响,而在光电转换后无法通过滤波等处理方法除去。由此,我们可以根据幅度调制原理与锁相检测原理先以一定频率将光源进行幅度调制,使其发出一定频率的调制光,调制光在传输过程中虽然也受到干扰源的影响,由于频率不同且相距较远,在光电转换后可以用锁相解调很容易的将干扰除去,从而得到有用的光电转换信号。由于锁相放大电路具有很高的信噪比,可以

把淹没在噪声中的信号提取出来，大大提高了仪器的分辨率。所以基于锁相解调的微弱光信号检测电路具有很高的精度。

3.1.1.1 长距离光电传感器

为了实现低成本长距离的检测目的，我们采用了长距离的光电传感器，发光器件采用半导体激光二极管，接收器件采用硅光伏电池。

半导体激光二极管具有成本低、体积小、重量轻、效率高、性能稳定、可靠性好、寿命长等诸多优点。本课题选取的半导体激光二极管由浙江明强光电器件公司生产，光束方向稳定性小于 0.1mrad/hr 而且小于 0.3mrad/24hr，发散角小于 0.8mrd，稳定性在正负 1% 之间，温度稳定性好，发光功率 20mW，波长为 980nm 的红外光。

光电池是一种不需加偏置电压就能把光能直接转换成电能的 PN 结光电器件，按光电池的功用可将其分为两大类：即太阳能光电池和测量光电池。太阳能光电池主要用作向负载提供电源，对它的要求主要是光电转换效率高、成本低。由于它具有结构简单、体积小、重量轻、高可靠性、寿命长、可在空间直接将太阳能转换成电能的特点，因此成为航天工业中的重要电源，而且还被广泛地应用于供电困难的场所和一些日用便携电器中。

按硅光电池衬底材料的不同可分为 2DR 型和 2CR 型。2DR 型硅光电池，它是以 P 型硅为衬底（即在本征型硅材料中掺入三价元素硼或镓等），然后在衬底上扩散磷而形成 N 型层并将其作为受光面。2CR 型光电池则是以 N 型硅作衬底（在本征型硅材料中掺入五价元素磷或砷等），然后在衬底上扩散硼而形成 P 型并作为受光面。构成 PN 结，再经过各种工艺处理，分别在衬底和光敏面上制作输出电极，涂上二氧化硅作保护膜，即成光电池。硅光电池的受光面的输出电极多做成梳齿状或“E”字型，目的是减小硅光电池内电阻。另外，在光敏面上涂一层极薄的二氧化硅透明膜，它一方面起防潮、防尘等保护作用，另一方面还可以减少对入射光的抗反射，以便增加对光的吸收。由于硅光伏电池的输出短路电流与输入光强有极好的线性关系，因此，为得到良好的精度和线性，通常都采用电流/电压转换电路作为接口电路，为了抑制高频干扰和消除运放输入偏置电流的影响，实际应用的电路如图 3-1 所示。电路的输出为：

$$V_0 = -I_g R_f \quad (3-1)$$

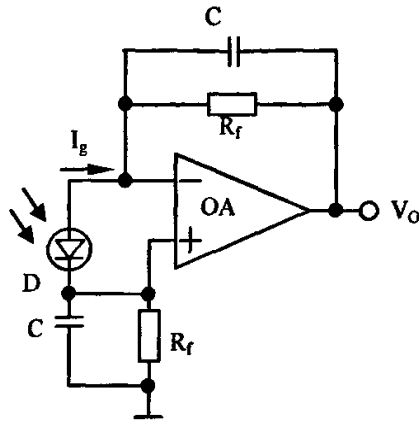


图 3-1 光电转换电路图

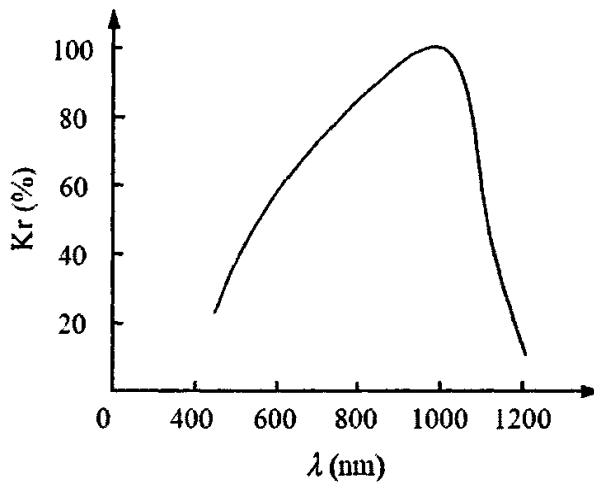


图 3-2 硅光电池响应

3.1.1.2 基于模拟乘法器 MLT04 的锁相检测电路

根据调幅原理，设光源的驱动信号是频率为 ω 的余弦波 $y = A\cos(\omega t + \varphi)$ ，则光源发出的光为同频的脉冲光。经过光传输和光电转换之后，由于有噪声干扰信号 $N(t)$ 混入，并且产生一定的衰减和延时，其转换后的电信号为 $y = B\cos(\omega t + \varphi + \theta) + N(t)$ ，其中有用信号为 $B\cos(\omega t + \varphi + \theta)$ ， θ 为有用信号与调制信号的相位差。根据三角函数系的正交原理，任意满足狄里赫利(Dirichlet)条件的信号都可以通过傅立叶展开为三角正交函数集的线性组合的形式，而且只有两个相同频率的正弦或是余弦三角函数相乘以后再经过无限积分可得到两者幅值与 $\sin\phi$ 或是 $\cos\phi$ （其中 ϕ 为两者相位差）的乘积，而不同频率的正弦或是

余弦三角函数相乘后再经过无限积分得到的都为 0。因此我们可以用一个同频的正弦或是余弦三角函数与光电转换后的信号相乘，然后再将乘积无限积分，这样转换后的信号中与调制信号频率不同的信号分量（即干扰噪声分量）就会在与调制信号相乘后积分为 0，而将与调制信号相同频率的信号分量（即有用信号分量）的幅值从干扰信号中提取出来，这就实现了锁相解调。为方便起见，解调的三角信号我们仍取调制驱动信号 $y = A\cos(\omega t + \varphi)$ ，而无限积分环节可由低通滤波器实现，这样可以得到解调后的信号 $y = \frac{1}{2}AB\cos\theta$ 。可是由于光的传输与光电转换过程中产生的延时是未知的，即转换后的信号与解调信号的相位差 θ 是未知的，所以用一路解调信号无法得到幅值的确切值。由此根据数学中正弦与余弦的关系原理，分别用余弦信号 $y = A\cos(\omega t + \varphi)$ 与正弦信号 $y = A\sin(\omega t + \varphi)$ 对光电转换后的信号 $y = B\cos(\omega t + \varphi + \theta) + N(t)$ 进行解调，无限积分后得到两路解调后的信号 $y_1 = \frac{1}{2}AB\cos\theta$ 和 $y_2 = -\frac{1}{2}AB\sin\theta$ ，然后分别将两路解调后的信号平方得到 $y_1^2 = \frac{1}{4}A^2B^2\cos^2\theta$ 和 $y_2^2 = \frac{1}{4}A^2B^2\sin^2\theta$ ，再将平方后的结果相加得到 $y = y_1^2 + y_2^2 = \frac{1}{4}A^2B^2$ ，就可以消除相位因素影响，得到幅值信息。

鉴于课题的具体情况，我们用单片机产生调制和解调所需的信号。由于单片机晶振的频率范围宽，定时精度高，使得我们选择调制频率具有很大的灵活性，而且产生正弦与余弦解调信号相位关系十分精确，这都有利于进一步提高系统精度。

由以上分析的锁相检测原理可知，无论是锁相解调消去无关频率分量还是自乘平方消除相位影响都是两个信号相乘的过程。一般的，两个模拟量（电压或电流）相乘都是由模拟乘法器实现，所以我们采用集成模拟乘法器实现上述功能电路。再根据锁相解调必须由两路信号，每路信号既要锁相解调又要自乘平方（即需要四路相乘），而且每路信号的正负随时间不定等特点。综合考虑，可采用 MLT04 和少量的外围器件实现锁相解调功能。MLT04 是 ADI 公司生产的一款四通道输入的四象限电压输入电压输出的模拟滤波器，与一般的模拟乘法器相比它具有精度高，功耗低，线性度与温度稳定性好，输入信号动态范围宽等优点。尤其它具有四个独立通道，可由简单电路实现较为复杂的硬件运算。MLT04 的主要特性如下：

- ◆四个独立输入通道
- ◆支持四象限乘法信号

- ◆ 电压输入电压输出
- ◆ 乘法运算无需外部器件
- ◆ 电压输出： $W = (X \times Y) / 2.5V$ 其中X或Y上的线性度误差为0.2%
- ◆ 优良的温度稳定性：0.005%
- ◆ 模拟输入范围 $\pm 2.5V$ ， $\pm 5V$ 电压供电
- ◆ 低功耗：一般为150mW

MLT04的四个独立通道中每一个通道都是由两个单端电压输入（X和Y）和一低阻抗电压输出（W）组成，而且每个通道都有自己专有的接地，这些接地都接在一起并接至模拟地。为了达到最好的性能效果，电路在布局上一定要紧凑且器件引脚要短，电源要有旁路电容退耦。在使用时，没有用到的通道输入引脚要接地。

1.1.3 硬件实现电路

由以上分析，结合课题要求以及锁相检测与模拟乘法器 MLT04 的特点，我们设计出以下锁相检测电路实现锁相解调，提取光电转换后的原调制光信号的幅值信息。具体框图如图 3-3 所示。这样巧妙的充分利用了 MLT04 四象限电压输入，四个独立通道的特性，使得整个电路结构简单，干扰因素少，进一步提高了系统精度。而且与参考文献[13]中电路相比，我们的电路消除了相位影响，并直接由器件得到要检测的微弱光信号的幅值信息。

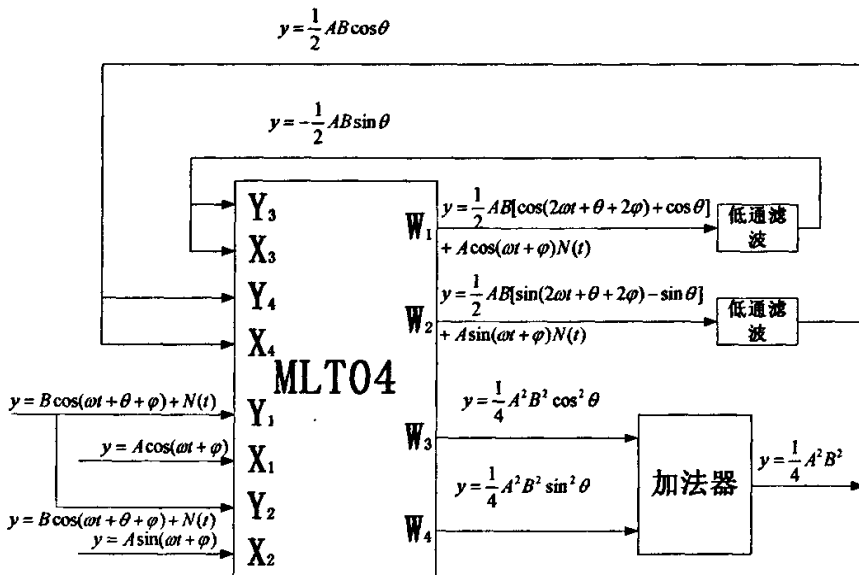


图3-3 基于MLT04锁相解调电路原理图

乘法器的内部非线性是固有的器件误差,所以 MLT04 同样受到自身非线性因素影响,不过经过出厂测试,在最坏的情况下 MLT04 的 X 输入端的最大非线性也小于 0.2%,Y 输入端的最大非线性仅为 0.06%。所以在解调时,最好将解调信号由 X 输入端输入,而光电转换后混有噪声的信号由 Y 输入端输入。相乘后的信号要经过一个无限积分环节,利用三角函数的正交原理将与调制解调频率 ω 无关的频率分量通过积分,使其正负叠加为 0。而低通滤波器正是含有积分环节,可以实现无限积分功能,所以可将相乘后的信号通过低通滤波器最终实现锁相解调。低通滤波器的阶数,截至频率以及通带增益等参数由调制解调的频率 ω 以及干扰频率等因素来确定。两路解调后的信号分别自乘平方以后输出经过同相加法器相加后就得到最终的幅值信息。由于乘法器 MLT04 的输入电压范围为 $\pm 2.5V$,所以如果输入电压信号不再这个范围内,还需要加上适当的放大器以调整输入电压。

3.1.2 温度信号检测与控制^[14 15 16 17]

随着数字化传感器技术的不断发展,越来越多的传感器采用数字化的输出方式,同样,温度传感器也得到很大发展,出现了各种类型的数字化温度传感器。数字化温度传感器可以直接将被检测的温度信息以数字化形式输出,与传统模拟式温度传感器相比,数字量输出无须转换电路,传输距离远,抗干扰能力强,使得数字式温度传感器应用范围广,测量精度高,功耗低,稳定性好,外围接口电路简单。而单片机微处理器越来越丰富外围功能模块,更加方便了数字式温度传感器输出信号的处理。数字式温度传感器主要的输出模式如 PWM, SPI, I²C, SMBus 等,在当今主流的单片机中几乎都支持这些接口方式,本文我们以 PWM 输出模式为例,讨论了 PIC 单片机对于这种输出模式的测温方案。

PWM(Pulse Width Modulation)输出模式是将器件所要输出的传感,控制等信息以不同占空比的数字脉冲的形式输出,用输出信号不同的占空比来表达不同的输出信息,通过这些不同占空比的信号来控制器件进行不同的操作,或是提取不同的传感信息。这种输出模式广泛应用于工业测控中的传感器,控制器,整流器,调节器等诸多方面。PWM 模式输出的数字温度传感器,例如 Maxim/Dallas 的 MAXIM6666/6667, MAXIM6672/667, MAXIM6676/6677, ADI 的 TMP03/04, TPM05/06 等,都是将传感器测得的温度信息数字化后,经过一定的输出编码,调制成占空比与温度成正比的数字脉冲信号单线输出。输出信号接入微处理器,只需测得数字脉冲信号的占空比就可由软件运算得到相应的温度信息。而对于微处理器来说,计算输入信号的占空比是很容易实现的,而且方法多样。以 PIC 系列单片机为例,在 PIC 单片机的中高档系列(PIC16, PIC17, PIC18)中均可由 CCP 模块

的捕捉功能，RB 端口电平变化中断功能，外部中断功能等多种方法实现。

3.1.2.1 TMP05 简介

TMP05 是 ADI 公司生产的一款低功耗，高精度，宽动态输入范围的 PWM 模式输出的数字式温度传感器。其总体功能框图见图 3-4，测量结果以 PWM 编码式数字脉冲信号在 OUT 引脚输出，输出信号的占空比与所测温度成正比，输出编码格式以及具体的比例关系如图 3-5 所示。

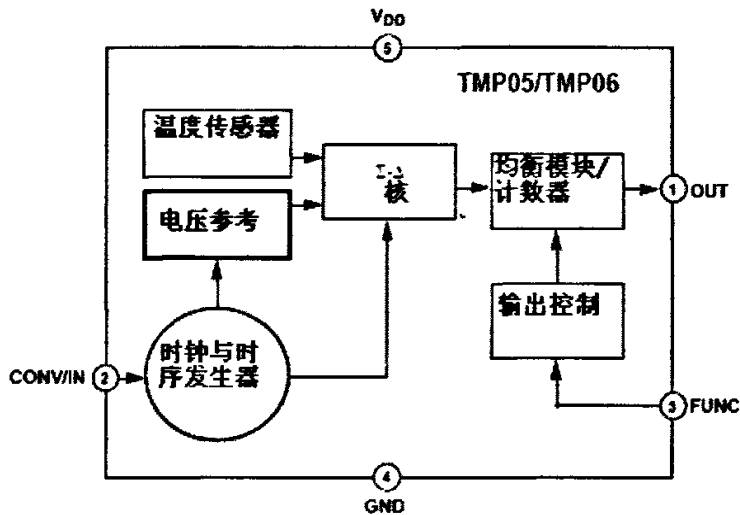


图 3-4 TMP05 整体功能框图



$$\text{温度 } (^{\circ}\text{C}) = 421 - (751 \times (T_H/T_L))$$

图 3-5 TMP05 输出编码格式

TMP05 内部有一个由输入采样器、模拟求和器、积分器、比较器、1 位数模转换器以及数字滤波器构成的型的模数转换器，如图 3-6 所示，其中的模数转换器具有分辨率高，线性度好，抗混叠噪声和量化噪声能力强等诸多优点，非常适用于数字式温度传感器等微传感系统。由于型的模数转换器的作用使得 TMP05 功耗低，线性度好，稳定性高。同时 TMP05 的动态输入范围比较大，精度也比较高，在 0℃到 125℃温度范围内误差仅为 1.5℃。TMP05 还有一个与其结构，功能很类似的同类产品 TMP06，两者唯一的区别就是 TMP06 的输出级采用的是集电极

开路电路，输出电流可达 5mA，驱动能力强，可驱动光耦实现远程测温，接入单片机时需要外接上拉电阻，而 TMP05 的输出级采用互补型 MOSFET 电路，其输出电平与 COMS/TTL 电路兼容，可直接接入单片机。

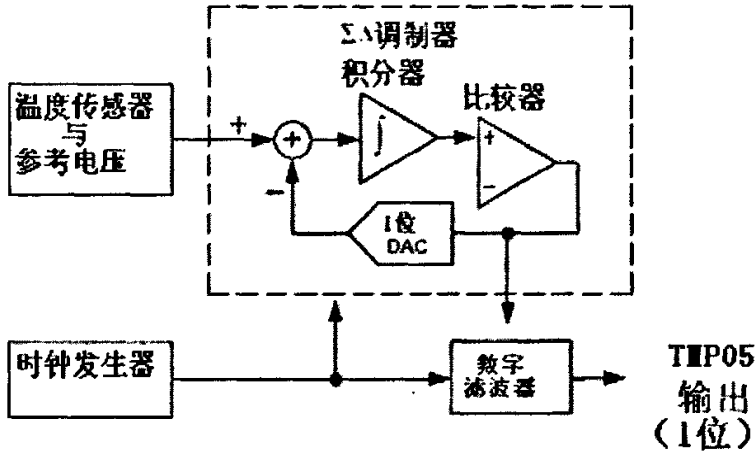


图 3-6 TMP05 内部调制型 AD 转换器

3.1.2.2 菊花链式多点测温原理

当 TMP05 的 FUNC 引脚被置高时，就可以将多个 TMP05 连接起来组成多点测温的菊花链。其连接的原理图如图 3-7 所示。

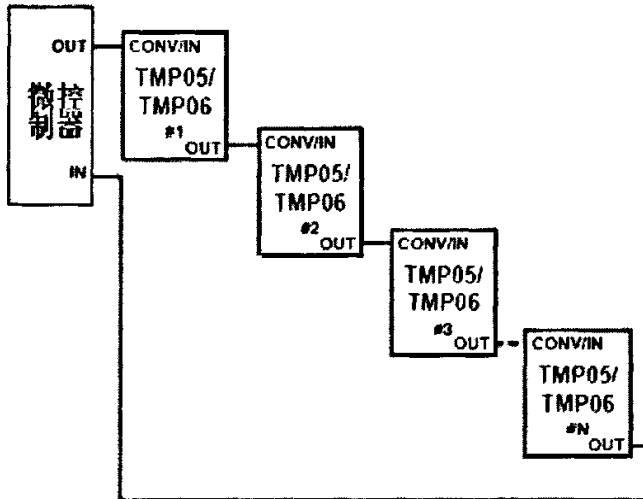


图 3-7 TMP05 的菊花链测温结构

这时 CONV/IN 引脚作为菊花链的输入, 如图所示由微控制器的一根输入线作为整个链式结构的信号接收端, 而另一根输出线接到 CONV/IN 作为整个链式结构启动测温的触发信号。每个传感器的输出接到下一个传感器的 CONV/IN 端, 最后一个传感器的输出接到微处理器。测温过程由微控制器发出的高电平触发信号触发, 触发信号的宽度必须小于 $25\ \mu\text{s}$, 当第一个 TMP05 的 CONV/IN 端接收到触发信号后, 立即启动温度转换并将温度转换的结果由 OUT 引脚输出, 一旦第一个 TMP05 输出温度脉冲以后, 它就会紧接着为第二个 TMP05 输出一个一般为 $17\ \mu\text{s}$ 的触发信号, 第二个 TMP05 在接收到这个触发信号之前可以作为缓冲器将第一个 TMP05 输出的 PWM 式温度信号储存起来, 当他接收到这个触发信号后, 它就立即启动温度转换并且把自己温度转换的结果插入到储存的第一个 TMP05 温度值的后边, 再从 OUT 引脚输出, 一旦第二个 TMP05 输出温度脉冲以后, 它就会紧接着为下第三个 TMP05 输出一个一般为 $17\ \mu\text{s}$ 的触发信号, 如此下去到最后一个 TMP05 将前面的温度信号通过 OUT 输入到微处理器, 然后同样输出一个一般为 $17\ \mu\text{s}$ 的触发信号。在最后一个 TMP05 的 OUT 端口的输出信号如图 3-8 所示。需要注意的微处理器的输出小于 $25\ \mu\text{s}$ 的触发信号后要维持低电平直到最后一个 TMP05 发出触发信号。

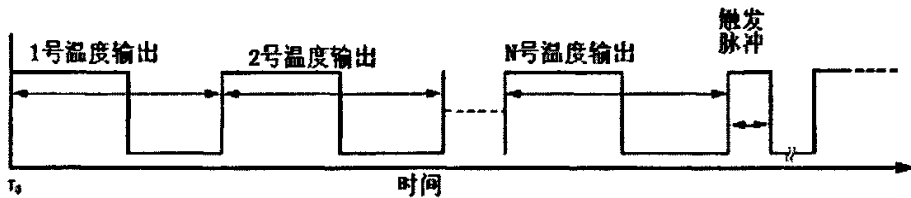


图 3-8 输入到微处理器的菊花链信号

3.1.2.3 硬件实现电路

在能见度仪中既要保持光学收发器件工作在恒定温度范围内, 又要使镜片两边的温差不能过大。所以这就至少需要两个温度传感器测得仪器腔内温度和外部环境温度, 根据内部温度调整光学收发器件的工作温度, 使得腔内温度不要太低, 在根据内外温差, 使得内部温度不要过高于外部温度。因此我们设计了基于 TMP05 菊花链式结构的两点测温电路, 其中由于 TMP05 的输出为不同占空比表示不同温度的 PWM 模式。利用 PIC 单片机的捕捉/比较/脉宽调制模块 (CCP 模块), 由 RC2 口来检测 PWM 输出的每一个电平变化, 当检测到中断后就进入中断处理程序, 用定时器对输入的脉宽进行计数测量, 得到脉宽后在经过运算得到最后的温

度值。其具体的硬件原理图见图 3-9。

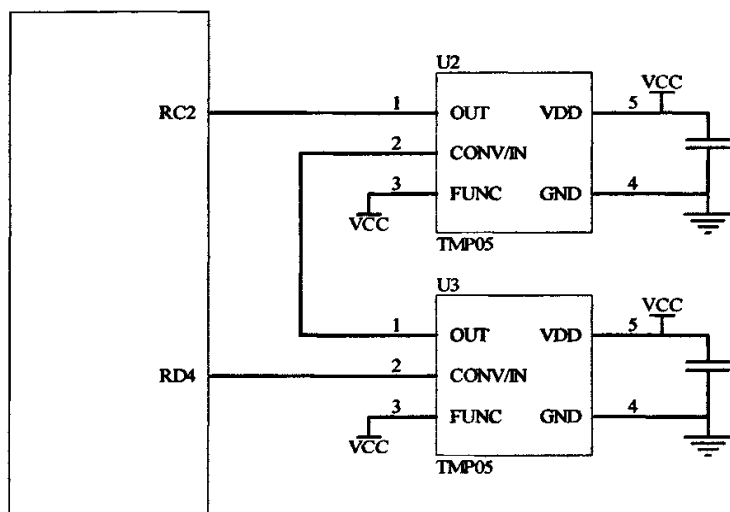


图 3-9 TMP05 的菊花链式测温硬件接口电路

3.2 系统通信

3.2.1 CAN 总线简介^[20-29]

CAN(Controllor Area Network)总线属于现场总线的范畴，它是德国 Bosch 公司在 20 世纪 80 年代初为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的一种串行数据通信协议。从 Bosch 公司推出 CAN 总线至今，CAN 总线以其系统的实用性、可靠性和经济性而倍受青睐，并获得了长足的进步。CAN 总线是目前唯一有国际标准的现场总线，可实现全分布式多机系统，采用非破坏性总线仲裁技术，可满足不同的实时要求，通信距离最远可达 10km(传输率为 5kb/s)，通讯速率最高可达 1 Mb/s(传输距离为 40m)，节点数可达 110 个，传输介质为双绞线或光纤，报文采用短帧结构，带有 CRC 校验以及其他检错措施，使得数据出错率极低，可靠性极高。CAN 总线以其卓越的特性，低廉的价格，极高的可靠性和灵活的结构，已被公认为最有前途的现场总线之一。总线规范已被 ISO 国际标准组织制定为国际标准，并且广泛应用于离散控制领域。它也是基于 OSI 模型，但进行了优化，采用了其中的物理层、数据链路层、应用层，提高了实时性。其节点有优先级设定，支持点对点、一点对多点、广播模式通信。各节点可随时发送消息。传输介质为双绞线，通信速率与总线长度有关。CAN 总线采用短帧结构，每一帧有效字节数为 8 个；当节点出错时，可自动关闭，抗干扰能力强，

可靠性高。

CAN 属于总线式串行通信网络，由于其采用了许多新技术及独特的设计，与一般的通信总线相比，CAN 总线的数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性。其特点可概括如下：

- ◆ CAN 总线是目前为止唯一有国际标准的现场总线。
- ◆ CAN 总线为多主工作方式。网络上任意节点均可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息，不分主从。
- ◆ CAN 网络上的节点信息分成不同的优先级，可满足不同的实时要求，高优先级的数据最多可在 $134\ \mu\text{s}$ 内得到传输。
- ◆ CAN 采用非破坏性总线仲裁技术，当多个节点同时向总线发送信息出现冲突时，优先级较低的节点会主动地退出发送，而最高优先级的节点可不受影响地继续传输数据，从而大大节省了总线冲突仲裁时间。尤其是在网络负载很重的情况下也不会出现网络瘫痪情况。
- ◆ CAN 只需通过报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传送接收数据。在 CAN 总线的通信控制器上有报文滤波功能，通过设置接收码和接收屏蔽从而使该节点能够有选择地接收和发送信息。
- ◆ CAN 总线的直接通信距离最远可达 10km（传输速率在 5kps 以下），最高传输速率可达 1Mbps（此时通信距离最远可达 40m）。
- ◆ CAN 上的节点数主要取决于总线驱动电路，目前可达 110 个；报文标识符可达 2032 种（CAN2.0A），而扩展标准（CAN2.0B）的报文标识符几乎不受限制。
- ◆ CAN 总线链路采用短帧结构，传输时间短，受干扰概率低，保证了数据出错率极低。
- ◆ CAN 总线每帧都采用 CRC 循环冗余校验及独特的数据信号表示，使其具有错误判别及自动重发功能，信号的传输精度高，漏检错误概率低（ 5×10^{-11} ）。
- ◆ CAN 的通信介质可为双绞线、同轴电缆或光纤，选择灵活。
- ◆ CAN 节点具有一定的故障检测功能，在错误严重的情况下具有自动关闭输出功能，以使总线上其他节点的操作不受影响。这一特点使得 CAN 总线具有很高的可靠性。
- ◆ CAN 总线具有较高的性价比。结构简单，器件容易购置，每个节点价格较低，而且开发技术易于掌握，能充分的利用单片机进行开发。

综上所述，CAN 总线卓越的管理能力和极高的可靠性，特别适合工业过程中监控设备的互连，越来越受到工业界的重视。

随着 CAN 在各种领域的应用和推广，对其通信格式的标准化提出了要求。为此，1991 年 9 月 Philips Semiconductors 制订并发布了 CAN 技术规范 (Version 2.0)。该技术规范包括 A 和 B 两部分。2.0A 给出了 CAN 报文标准格式，而 2.0B 给出了标准的和扩展的两种格式。此后，1993 年 11 月 ISO 正式颁布了道路交通运输工具—数据信息交换—高速通信控制器局域网 (CAN) 国际标准 ISO11898，为控制器局域网的标准化、规范化铺平了道路。

CAN 总线的技术规范之所以在标准格式的基础上还有扩展格式，是因为串行通信进入更多领域要求各应用领域通信功能报文标识符标注的标准化。由于对标准格式中由 11 个标识符的地址范围加以扩展，CAN 总线对于各种应用服务将更加周到。扩展格式可以提供有 29 位定义的更大地址范围，这将使系统设计者们解除在定义良好结构名称方面的苦恼。虽然标准格式和扩展格式有所区别，但是在相同网络中这两种格式可以同时存在同时使用。

在进行数据传送时，发出报文的单元称为该报文的发送器。该单元在总线空闲或丢失仲裁前恒为发送器。如果一个单元不是报文发送器，并且总线不处于空闲状态，则该单元为接收器。

对于报文发送器和接收器，报文的实际有效时刻是不同的。对于发送器而言，如果直到帧结束末尾一直未出错，则对于发送器报文有效。如果报文受损，将允许按照优先权顺序自动重发送。为了能同其他报文进行总线访问竞争，总线一旦空闲，重发送立即开始。对于接收器而言，如果直到帧结束的最后一位一直未出错，则对于接收器报文有效。

报文传送由 4 种不同类型的帧表示和控制：数据帧携带数据由发送器至接收器；远程帧通过总线单元发送，以请求发送具有相同标识符的数据帧；出错帧由检错出总线错误的任何单元发送；超载帧用于提供当前的和后续的数据帧的附加延迟。图 3-10 所示为标准格式和扩展格式的数据帧格式。

构成一帧的帧起始、仲裁场、控制场、数据场和 CRC 序列均借助位填充规则进行编码。当发送器在发送到位流中检测到 5 位连续的同数值时，将自动地在实际发送到位流中插入一个补码位。数据帧和远程帧的其余位场采用固定格式，不进行填充。出错帧和超载帧同样是固定格式，也不进行位填充。报文中的位流按照非归零 (NRZ) 码方法编码。

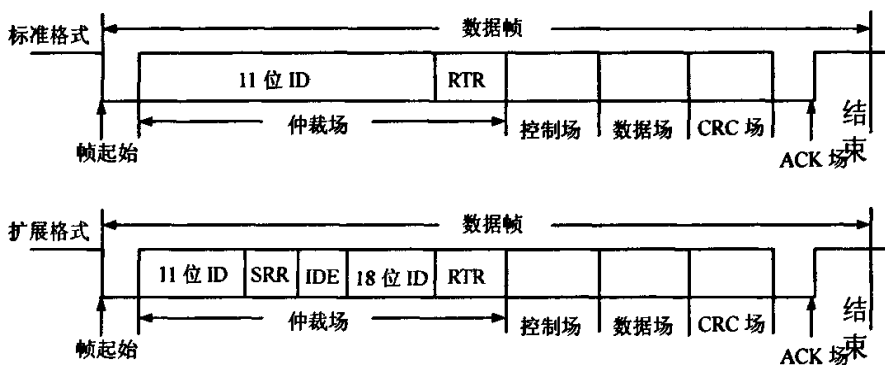


图 3-10 标准格式和扩展格式数据帧

CAN 总线用隐性 (Recessive) 或显性 (Dominant) 两个互不的逻辑值表示 0 和 1。当总线上出现同时发送显性和隐性时，其结果时总线数值为显性。如图所示 V_{CANH} 和 V_{CANL} 为 CAN 总线收发器与总线之间两接口引脚得电压，信号是以两线之间得差分电压形式出现。

在隐性状态下， V_{CANH} 和 V_{CANL} 被固定于平均电压电平， V_{diff} 近似为零。显性状态以大于最小阈值的差分电压表示。在显位期间，显性状态改变隐性状态并发送。总线上的位电平如图 3-11 所示。

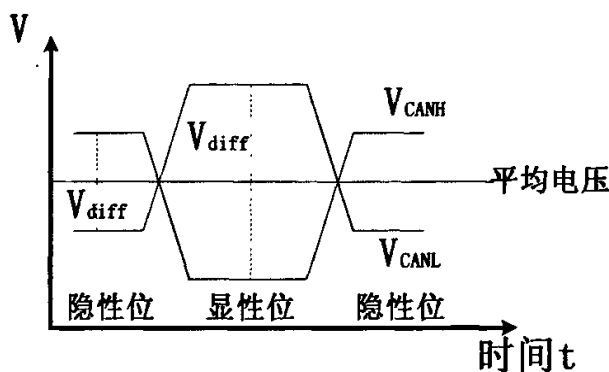


图 3-11 CAN 总线上的位电平

3.2.2 CAN 总线单节点通信设计与实现

借助于CAN总线传输距离长，通信节点多，组网方式灵活，介质价格便宜等优点，我们用CAN总线传输预警信号，构成经济实用的预警系统实现对高速公路能见度的全天候实时全程监测。测量节点接入CAN总线的具体硬件电路图如图3-12所示，由图可见，整个硬件电路由微控制器，隔离芯片，CAN总线驱动芯片三部分组成。

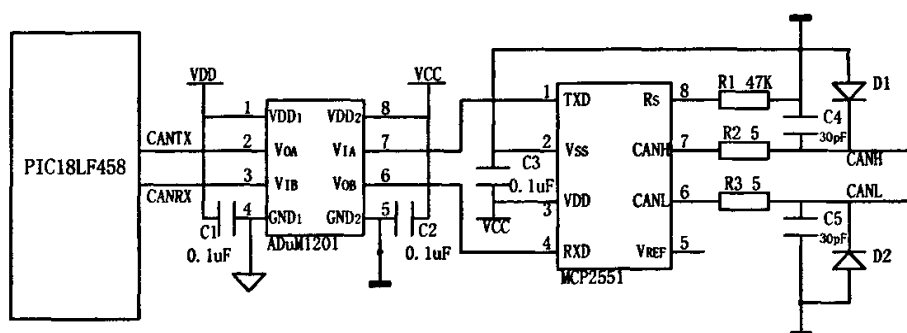


图3-12 单片机与CAN总线的硬件连接

3.2.2.1 微控制器与CAN控制器

微控制器我们选用微芯公司新款集成CAN总线控制器的PIC18LF458单片机，选用PIC18LF458单片机是因为：

1. 高性能的RISC CPU

它是8位COMS单片机，内部采用哈佛总线结构，使得全部指令单字节、单周期化，高达10MIPS的执行速度，有利于提高CPU执行指令的速度，从而提高单片机的运行速度，同时中断带有两级优先级，具有8×8单周期硬件乘法器，满足了系统需要快速响应的实时性要求。

2. FLASH技术

低功耗，全静态设计的高速增强型FLASH技术，使得PIC18LF458单片机具有宽范围工作电压，最低达2V供电，大大降低系统的功耗，满足了系统需要全天候长时间工作的低功耗要求。

3. 功能强大的外围功能模块，方便了微处理器外部功能的扩展。

- ◆ 最大25mA的拉/灌电流，可直接驱动发光二极管
- ◆ 3个外部中断
- ◆ 4个定时器/计数器
- ◆ 2个捕捉/比较/脉冲调制（CCP）模块
- ◆ SPI和I²C两种工作方式的主同步串行模块（MSSP）
- ◆ 可寻址的USART模块

4. 高级的模数转换特性

- ◆ 10位8通道A/D转换模块
- ◆ 模拟比较模块：可编程多路输入输出技术
- ◆ 比较器参考电压模块
- ◆ 可编程低电压探测模块（LVD）：支持低电压产生中断

◆ 可编程锁定复位 (BOR)

选用 PIC18LF458 单片机的另一个主要原因是因为其内部集成了 CAN 模块通信控制器，并且执行的是 Bosch 公司的 CAN 规范 2.0A/B 协议，具有以下特性：

- ◆ 符合国际标准 CAN 的测试要求
- ◆ 支持 CAN1.2, CAN2.0A 和 CAN2.0B 协议
- ◆ 标准和扩展的数据帧
- ◆ 0~8 个字节的数据长度
- ◆ 可编程位速率可达 1Mbps
- ◆ 支持远程帧
- ◆ 带有 2 个有优先级的接收信息存储接收缓冲器
- ◆ 6 个接收过滤器 (标准/扩展标识符)，其中 2 个与高优先级的接收缓冲器相连，另外 4 个与低优先级的接收缓冲器相连
- ◆ 2 个接收屏蔽器，分别与高，低优先级接收缓冲器相关
- ◆ 3 个可以指定优先级的发送缓冲器
- ◆ 具有可编程的唤醒功能的集成低通滤波器
- ◆ 可编程的反馈模式能进行自我测试操作
- ◆ 对于所有的 CAN 接收和传输错误的情况都能进行信号中断
- ◆ 可编程时钟源
- ◆ 可实现实时和网络同步的可编程定时器模式
- ◆ 低功耗休眠工作模式

3.2.2.2 CAN 总线隔离芯片

CAN在许多场合应用广泛。尤其是在一些强干扰的恶劣环境下，比如工业现场，更是有着重要的应用。因此在某些应用领域，由于现场情况十分复杂，各个节点之间存在很高的共模电压。虽然CAN接口采用的是差分传输方式，具有一定的抗共模干扰的能力，但当共模电压超过CAN驱动器的极限接收电压时，CAN驱动器就无法正常工作了，严重时甚至会烧毁芯片和仪器设备。因此，在强干扰环境中，或是高的性能要求下，就必须对CAN总线各个通信节点实行电气隔离。传统的CAN总线隔离方法是光耦合器技术，使用光束来隔离和保护检测电路以及在高压和低压电气环境之间提供一个安全接口。目前一般使用6N137光电隔离器件，以Toshiba公司的6N137为例，该器件工作电压为5V，最高速率10Mbps，工作温度一般为0℃到70℃，隔离电压2500Vrms，并且以DIP8型封装，每个芯片仅提供一个隔离通道。这些性能已经限制了6N137在更高要求的环境中应用。因此，ADI公司推出的新型双通道数字隔离器ADUM1201以其诸多优于光电隔离器件的性能

优点，在CAN总线以及其他高要求情况下有着广泛的应用前景。

我们采用由iCoupler技术支持的双通道数字隔离器ADUM1201，它比传统的光电隔离具有更好的性能，它消除了传统光电隔离器不确定的传输速率，非线性的传输函数，以及温度和寿命对器件的影响，不需要其他的驱动和分立元件，提供了更加稳定的转化性能，而且在相同的信号传输速率下功耗只有光电隔离器的1/10到1/6。

ADUM1201 具有诸多优于光电隔离器的具体优点：

- ◆速度更高 最高速率可以达到 25Mbps。
- ◆功耗更低 功耗低于同数据传输率时传统光电隔离器的 1/10，最小工作电流 0.8mA。
- ◆性能更高 时序精度，瞬态共模抑制力，通道间匹配程度均优于传统光电隔离器。
- ◆体积更小 集成度更高，印制电路板（PCB）面积为传统光电隔离器的 40%。
- ◆价格更便宜 每通道成本为传统光电隔离器的 40%。
- ◆应用更灵活 与传统光电耦合器不同的是，多通道 iCoupler 数字隔离器能在同一芯片内提供正向和反向通信通道。

ADUM1201的基本结构图如图3-13所示，所隔离的两端有各自的电源和参考地，电源电压范围在2.7V到5.5V之间，这样可以实现低电压供电，从而进一步降低系统功耗。电源和参考地之间需要接入0.01 μ F到0.1 μ F的褪耦电容，以滤除高频干扰，电容和电源之间的距离应该在20mm以内，这样可以达到更好的滤波效果。由于两个隔离通道高度匹配，通道间串扰很小，并且采用两通道输入输出反向设计，非常适合CAN总线双向收发的特性，大大简化可隔离器与所隔离两端的硬件连接。

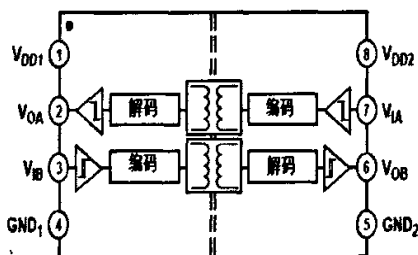


图 3-13 ADUM1201 的基本结构图

需要注意的是GND1与GND2是两个不同的参考地，否则将达不到隔离的效果。ADUM1201以单一芯片实现了CAN总线节点之间的电气隔离，而且ADUM1201采用双

转化通道，两通道方向相反的特殊结构，非常适合于CAN总线信号的传输，大大简化了系统的硬件结构，同时，由一个隔离芯片代替以往的两个，大大增加了通道间的匹配程度，使系统获得更好的隔离性能。

3.2.2.3 CAN 驱动芯片

CAN驱动器选用微芯公司的CAN总线驱动芯片MCP2551。MCP2551具有差分发射和接收能力，可将许多节点与同一网络相连接。MCP2551具有以下突出特点：

- ◆符合ISO11898标准，具有外部控制输出斜率的功能，以减少RFI干扰信号的发射；

- ◆通过采用斜率控制输入脚，可控制（减缓）差分输出信号（CANH和CANL）的变化，从而可采用低成本的非屏蔽线部署网络，并使辐射在可接受的水平之内；

- ◆可使CANH和CANL不受在CAN总线上可能出现的电池短路和电压瞬变的影响，防止输出级因此损坏；

- ◆自动热传感关闭电路使结点温度超过165℃标定值时，令输出驱动器停止随之降低，还有永久主模检测功能；

- ◆总线传输速度高达1Mb/s，总线上节点数最多可达112个，通过两条信号线CANH和CANL挂在总线上。每一个CAN节点都有两条线连到CANH和CANL上，而MCP2551则提供这样的连接。

表3-1 MCP2551具有三种工作方式

工作模式	RS引脚电流	导致的RS引脚电压
待机模式	$-I_{RS} < 10\mu\text{A}$	$V_{RS} > 0.75V_{DD}$
斜率控制模式	$10\mu\text{A} < -I_{RS} < 200\mu\text{A}$	$0.4V_{DD} < V_{RS} < 0.6V_{DD}$
高速模式	$-I_{RS} > 610\mu\text{A}$	$0 < V_{RS} < 0.3V_{DD}$

PIC18LF458和MCP2551之间的数据传递，则通过TX, RX来实现。TX的高低电平通过收发器MCP2551之后，反映到CAN总线上，产生一个与之对应的CANH和CANL的电压差值，也就是CAN中所说的两个状态“显性”、“隐性”，这个状态被其他的所有节点所接收。也就是说，PIC18LF458（对于其它的CAN控制器也一样）的TX可以改变CAN总线的状态，而RX监听CAN总线的状态。在节点没有发送数据时，TX处于初始状态，RX监听，当收到一个有效的CAN帧时，TX会在应答位发出一个应答信号，来告知发送该帧的节点，已经收到。在节点发送数据时，TX处于发送状

态，RX监听，当TX发送的和RX接收的不一致时，此次发送失败。为了更好的确保系统的稳定性，外加电阻R2和R3起限流作用，防止MCP2551受过流冲击，电容C3和C4为小电容以滤除总线上的高频干扰和防止电磁辐射，D1和D2为防雷击管，用来防止总线上的瞬变干扰。

3.2.3 CAN 总线网络扩展设计与实现

按照本课题要求需要 CAN 总线连接更多的节点或是更远的通信距离，这就必须对 CAN 总线网络进行扩展。目前比较常用的 CAN 总线扩展方法是利用 CAN 中继器将两个 CAN 总线网络连接起来，比如周立功的 CANrep-A\B 型智能全隔离 CAN 中继器，CAN-3202 智能 CAN 总线两路中继网桥，XYCANR2 双端口 CAN 光电隔离中继器，ADAM-4515 CAN 中继器以及 WT406-CAN 是 CAN 总线中继模块等等。这些 CAN 中继器都是采用微控制器对两个 CAN 网络的数据进行分别存贮和相互转发，从而实现两个网络的连接和双向的数据传输。我们根据自己得需要设计了一个基于 SPI 总线的简单的中继模块。如图 3-14：

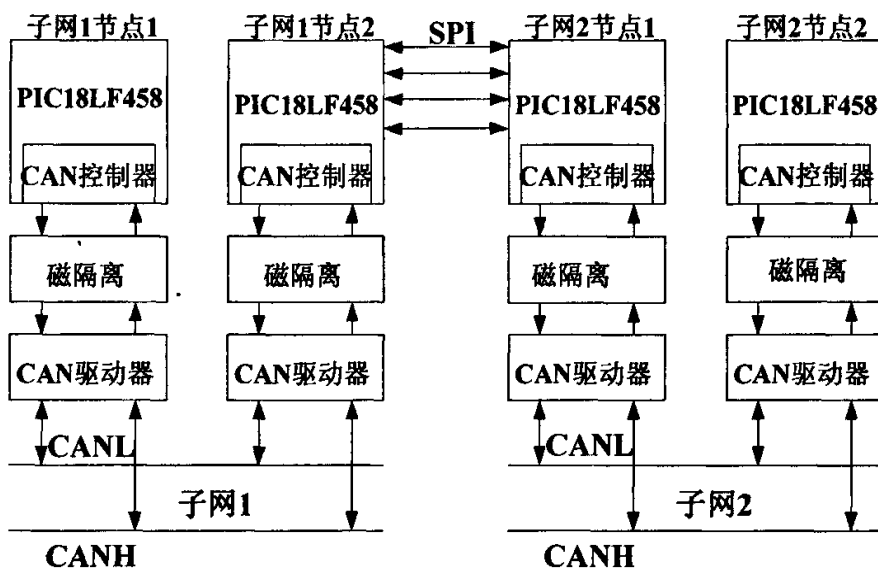


图 3-14 CAN 总线网络扩展

3.2.3.1 SPI 接口的背景知识

SPI 是由美国摩托罗拉公司最先推出的一种同步串行传输规范，也是一种单片机外设芯片串行扩展接口。

I. SPI 接口信号描述

SPI 接口可以用全双工方式同时发送和接收 8 位数据,它共使用了 4 条引脚,分别规定为:

1. 主器件输入/从器件输出线 (简称 MISO)

在主器件中作为输入线,在从器件中作为输出线。其作用是在一个方向上传送数据:先送高位 (MSB),后送低位 (LSB)。如果从器件没有被选中,则主器件的 MISO 线处于高阻状态。

2. 主器件输出/从器件输入线 (简称 MOSI)

在主器件中作为输出线,在从器件中作为输入线。其作用也是在一个方向上传送数据:先送高位 (MSB),后送低位 (LSB)。

3. 同步串行时钟线 (简称 SCK)

在主器件中作为输出线,在从器件中作为输入线。SCK 时钟信号,用于主、从器件之间在 MISO 和 MOSI 线上传送数据时进行同步。在 8 个时钟周期之内,主、从器件之间完成一个字节信息的交换。SCK 定时信号由主器件负责产生和输出。

4. 从机方式选择线 (简称 \overline{SS})

对于工作于从器件模式的单片机, \overline{SS} 输入线用作选通信号输入线,该引脚必须在传送数据之前被设置为低电平,并且在整个数据传送过程中维持为稳定的低电平;对于工作于主器件模式的单片机, \overline{SS} 输入线必须接高电平。

II. SPI 接口工作原理部分

原理电路包含 3 个主要组成部分:移位寄存器、发送缓冲器和接收缓冲器。其中,发送缓冲器与数据总线相连,可以由用户程序写入欲发送的数据,然后自动向移位寄存器装载数据;接收缓冲器也与数据总线相连,可以由用户程序读取接收到的数据;移位寄存器负责收发数据,有移入和移出两个端口,分别与收和发两条通信线路连接,与通信对端单片机的移位寄存器恰好构成一个“环型”结构。然而不管什么时候,接受缓冲器与发送缓冲器都没有被同时占用。也就是说,在发送缓冲器工作时,接收缓冲器处于空闲状态,而当接收缓冲器工作时,发送缓冲器又空闲下来,因此,可以将两个缓冲器的功能合而为一,构成收发缓冲器,这样既简化电路又不会冲突。中继系统转发时为全双工通信,其操作过程如下:

(1) 主机把欲发送给从机的数据写入收发缓冲器 A 中,随即该数据被自动装入移位寄存器 A 中;同时,从机把欲发送给主机的数据写入收发缓冲器 B 中,随即该数据被自动装入移位寄存器 B 中。

(2) 主机启动发送过程,送出时钟脉冲信号,寄存器 A 中的数据经过 MOSI 线一位一位地移入寄存器 B 内;同时,寄存器 B 中的数据经过 MISO 线一位一位

地移入寄存器 A 内。

(3) 8 个时钟脉冲过后，时钟停顿，寄存器 A 中的 8 位数据全部移入寄存器 B 中，随即又被自动装入收发缓冲器 B，并且将从机接收缓冲器 B 满标志位置起。同理，寄存器 B 中的 8 位数据全部移入寄存器 A 中，随即又被自动装入接收缓冲器 A，并且将主机接收缓冲器 A 满标志位置起。

(4) 主机 CPU 检测到接收缓冲器 A 满标志位后，就可以读取收发缓冲器 A，同样从机 CPU 检测到收发缓冲器 B 满标志位后，就可以读取收发缓冲器 B，完成一个字节的互换通信过程。

3.2.3.2 SPI 接口电路

PIC18LF458 的 SPI 接口由 3 个或者 4 个引脚来实现通信功能，如图 3-15 所示。4 条引脚分别定义为：

串行数据输出（简称 SDO）：对应 RC5/SDO 引脚；

串行数据输入（简称 SDI）：对于 RC4/SDI 引脚；

时钟（简称 SCK）：对于 RC3/SCK 引脚；

“从动方式”选择（简称 \overline{SS} ）：RA5/ \overline{SS} 引脚（当 SPI 工作于“从机”模式时）。

SPI 接口电路图如图 3-15 所示。本系统为一对一方式，只有一个从机，所以将主机的 \overline{SS} 端接高电平，将从机的 \overline{SS} 端固定接地。主控器通过发 SCK 信号来启动数据传输，数据通过移位寄存器在各自选定的时钟边沿上传送，并在下个边沿被锁存。两个单片机以相同的时钟极性进行工作，同时发送和接收数据。

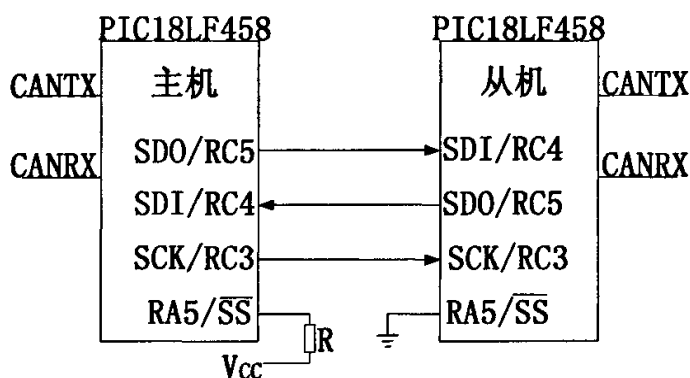


图 3-15 SPI 接口方式

3.3 系统自检与可靠性防护

为了防止由于仪器长期暴露在野外工作，沙尘、灰尘等沉积在镜片表面，造成镜片污染，引起测量误差。当镜片的污染参数达到一定值时，通过污染检测装置向测量系统发出提示信号，由系统判断并控制解决。因此，系统还带有镜头污染自检装置。镜片污染自检装置由光发射器件与接收器件组成，同样是采取调制光发射与接收，不同的是自检装置采用简单方便的二极管检波。同时针对粉尘的污染问题系统还对光的入射和出射窗口进行了专门的设计，以达到尽可能减小粉尘堆积的目的。

同时，为了防止各个节点出现故障，总线断开等意外情况的发生，我们还在各个节点处设置定时报数功能，每个节点定时向中央节点发送节点信息，通知中央节点工作正常。

3.4 本章小结

1. 本章介绍了一种基于 MLT04 的高精度微弱光信号模拟锁相解调电路，它利用锁相检测原理，解调时频率选择性好，相位因素影响小，可以很好的提取转换后有用电信号的幅值信息。并且完全仅由模拟器件 MLT04 与滤波器等硬件实现，运算速度快，精度高，工作稳定可靠，是一款经济实用，方便快捷的模拟解调电路。这种简单的利用模拟乘法器 MLT04 实现的锁相解调电路，具有运算速度快，精度高，工作稳定等优点。它所有的运算均由硬件电路实现，实现简单，运算方便。使用时独立于数字部分，使得两者之间的相互影响较小。是一种经济实用，方便快捷的模拟解调电路，在高速公路能见度预警系统课题项目的信号处理中起着关键性作用。

2. 能见度仪光学器件的温度稳定性以及光学镜头与外部的温差都将直接影响能见度仪的精度。因此，必须对能见度仪内部温度进行检测和控制。本章介绍了 TMP05 数字式温度传感器及其菊花链式多点测温原理，并且给出了 TMP05 的菊花链式多点测温在能见度仪温度测量中的软硬件设计。利用 TMP05 对能见度仪进行多点温度检测为能见度仪的内部温度控制，使其更加稳定的工作，提高了能见度仪的测量精度和工作稳定性。由中断实现的多点测温大大降低了程序对 CPU 资源的消耗，同时 TMP05 极小的体积，低电压供电等极大的降低了芯片的功耗，以及与微处理器灵活多样的接口方式都为 TMP05 提供了广阔的应用前景。

3. 本章介绍了单测量节点接入 CAN 总线的硬件电路。带有 CAN 控制器接口的

微控制器 PIC18LF458 很方便的将测量系统接入 CAN 总线。同时为了提高 CAN 总线的抗干扰性能, 采用 ADI 公司新推出的 ADUM1201 芯片为 CAN 总线的隔离提供了一种更加实用经济, 简捷有效的实现方案。CAN 驱动器 MCP2551 降低了射频干扰和强噪声下的瞬间干扰, 同时起到了保护总线的作用。

4. 本章讨论的这种基于 SPI 接口的 CAN 总线网络扩展方案简化了系统硬件连接, 降低了系统成本, 为 CAN 总线的网络扩展提供了一种简单有效的实现方法, 同时也实现了对高速公路全程的实时监测。

第四章 系统软件设计及实现

4.1 测量节点程序设计

4.1.1 调制解调信号产生模块^[20]

根据第三章介绍的测量模块的具体硬件电路,为了测量远距离传输过来的微弱光信号,我们设计了由模拟乘法器 MTL04 实现的微弱光信号锁相检测电路。该电路基于调制解调的基本原理,将欲发送信号调制到一定高频发送出去,然后在同频解调以达到抗干扰的目的。因此,我们需要由微处理器来产生预警系统所需要的调制和解调信号。根据对系统所处环境各种噪声的分析,由于环境的温度变化,光线变化等噪声干扰都是低频干扰信号,所以,我们采用 1KHz 的相对高频信号调制和解调微弱的光信号。又由于,正余弦波包含的高频谐波成分较少,变化较为平滑,不易引入干扰,所以我们采用 1KHz 的正余弦波作为调制解调信号。

基于 PIC18LF458 单片机的特点,我们采用定时器控制输入输出引脚产生 1KHz 的方波,然后通过中心频率是 1KHz 的窄带带通滤波器经模拟滤波产生调制解调所需要的正余弦波。其中定时器采用 TMR2 定时器,两路信号通过之间相差四分之一周期而形成同频的正弦波和余弦波。TMR2 为 8 为宽,附带一个 4 位宽的可编程预分频器和一个 4 位宽的可编程后分频器以及一个可编程的 8 位周期寄存器 PR2。TMR2 的核心是一个 8 位宽计数器,也就是一个软件可读写的寄存器。TMR2 按递增规律计数,从某一起始值(可编程设置,缺省为 00H)开始递增,到与周期寄存器 PR2 内容匹配为止,之后在下次递增时则返回到 00H,并且会产生高位溢出信号。该溢出信号将作为后分频器的计数脉冲。后分频器产生溢出时,才会将溢出中断标志位 TMP2IF 置 1。如果此前将相关的中断使能位都置 1,还会引起 CPU 的中断响应。通过对中断使能位 TMR2IE 置位和清零,即可允许或禁止 CPU 的响应 TMR2 的中断请求。而本程序正是利用 CPU 对 TMR2 计数的中断响应实现对输入输出引脚电平的翻转,也就产生了周期性的方波。

之所以选定 TMR2 作为产生方波的定时器,是因为当 TMR2 被作为延迟时间可调的周期性定时器时,将会比 TMRO 用做定时器时更加节省软件开销。也就是,不必像 TMRO 那样,在每次超时溢出时,都要给寄存器重新赋初值。TMR2 只要一

次性设定超时溢出周期，就会周而复始的按预先设定的溢出周期产生超时中断。该超时溢出周期的计算公式为：

$$T_{TMR2IF} = (4 / f_{OSC}) \times N_1 \times (PR2 + 1) \times N_2 \quad (4-1)$$

其中， N_1 为预分频器的分频比（可取 1, 4 或 16）， N_2 为后分频器的分频比（可取 1 到 16），PR2 为周期寄存器预赋值。由于微处理器负责产生滤波后分别为正弦和余弦的方波，所以两路方波之间相差为四分之一周期，因此定时器的溢出周期为所需方波的四分之一周期，由此来确定 PR2 寄存器的初值。

4.1.2 温度检测与控制模块

捕捉/比较/脉宽调制 CCP 模块是 PIC 单片机特有的外围功能模块，它与 TMR1 和 TMR2 配合使用实现输入捕捉，输出比较和脉宽调制输出等功能。其中输入捕捉模式适用于测量引脚输入信号的周期，频率，脉宽，信号的到达时刻以及消失时刻等。CCP 模块工作于输入捕捉模式时其电路结构如图 4-1 所示，主要有 16 位比较寄存器，16 位定时器 TMR1，16 位受控三态门，4 位预分频器，正负边缘检测电路和同步控制电路。

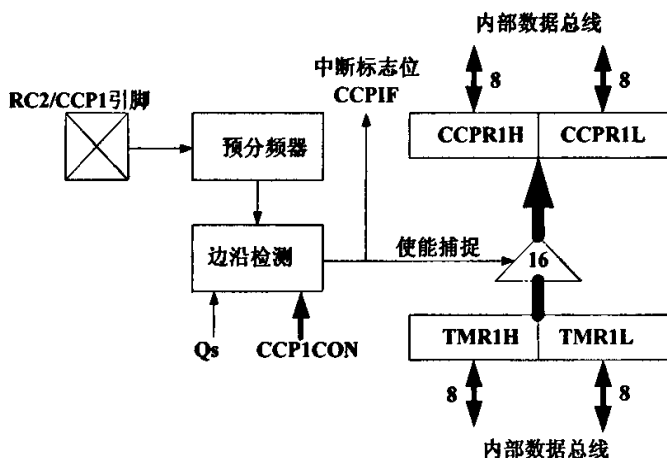


图 4-1 CCP 工作模式

其中核心部分是一个 16 位宽的寄存器 CCPR1（即寄存器对 CCPR1H 和 CCPR1L），可以通过内部总线读写。用它来转载和抓取定时器 TMR1 的 16 位长累加计数值。16 位并行受控三态门由捕捉使能控制用来抓取 TMR1 的值到 CCPR1 中。正负边沿检测电路是通过设定 CCP1CON 寄存器的低四位来决定捕捉信号脉冲的上升沿还是下降沿。结合 TMP05 输出信号的特点，我们可以利用 CCP 模块分别测量出 TMP05 输出信号的高电平脉宽 T1 和低电平脉宽 T2，然后间接算出信号的占空比，从而

可以得到 TMP05 输出的温度信息。其详细的程序流程图如图 4-2 所示。

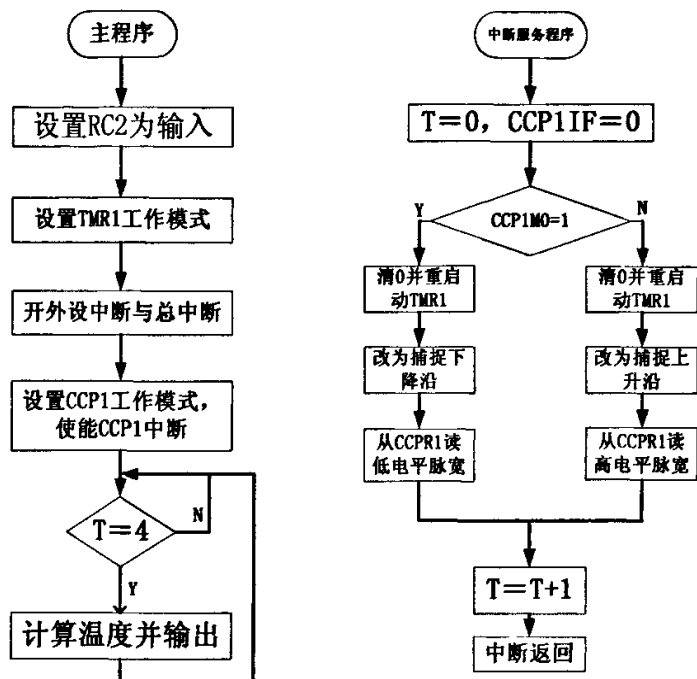


图 4-2 TMP05 的菊花链式测温程序流程图

4.1.3 AD 转换模块

当根据需要设置好 ADC 模块后，在开始 A/D 转换之前，必须先选定 A/D 转换的模拟通道。被选中的模拟通道所对应的 RA 或是 RE 端口引脚，必须被设置成输入方式，即把相应的 TRIS 位置 1。只有当模拟信号采集过程完成以后 A/D 转换才能开始。

1. 设置 ADC 模块：

通过控制寄存器 ADCON1 设置引脚功能为模拟输入通道，基准电压接入引脚或是通用数字 I/O 引脚，设置转换结果存放方式。

通过控制寄存器 ADCON0 选中某一条模拟通道，设定 A/D 转换时钟源，使能 ADC 模块。

2. 如果需要 A/D 中断功能，开放相应的中断使能位：

- 对于 ADC 模块中断标志位 ADIF 清 0；
- 对于 ADC 模块中断使能位 ADIE 置 1；
- 对于外设模块中断使能位 PEIE 置 1；
- 对于全局中断使能位 GIE 置 1。

3. 等待所需要的采样时间。

4. 将控制兼状态位 $GO/DONE$ 置 1, 启动 A/D 转换过程。

5. 等待 A/D 转换完成, 通过以下方式判断:

软件循环查询控制兼状态位 $GO/DONE$ 是否被硬件自动清 0 或是中断标志位 ADIF 是否被硬件自动置 1。

等待 A/D 转换完成中断请求。

6. 读取 A/D 转换结果寄存器对 ADRESH: ADRESL, 如果需要, 对 ADIF 清 0。

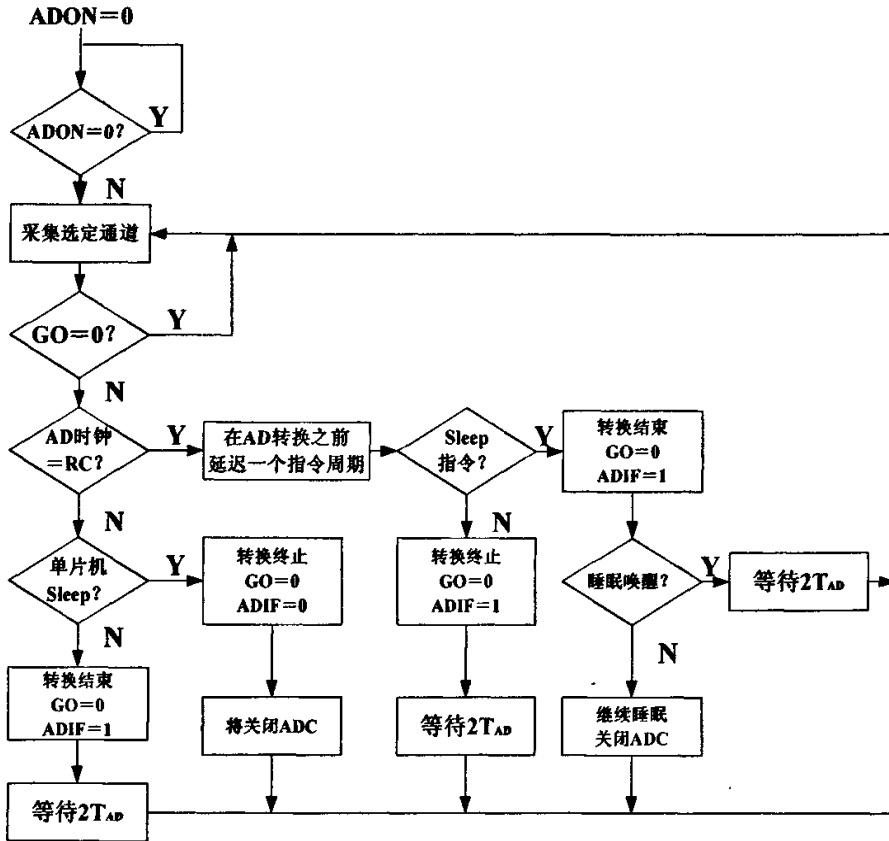


图 4-3 AD 模块的内部动作流程图

4.2 CAN 总线单节点通信程序设计^[20-29]

CAN 模式支持以下的帧类型:

- ◆ 数据帧 (Data Frame)
- ◆ 远程帧 (Remote Frame)

◆错误帧 (Error Frame)

◆过载帧 (Overload Frame)

数据帧和远程帧可以使用标准帧和数据帧2种格式，他们用一個帧间间隔与前边的帧分开。主节点和从节点之间的报文传送有两种类型的帧表示和控制：数据帧携带数据由发送器至接收器；远程帧通过总线单元发送，以请求发送具有相同标识符的数据帧。数据帧和远程帧借助帧空间与当前帧分开。

1、数据帧 Data Frame

CAN 技术规范中存在两种不同的帧格式，其主要区别在于标识符的长度，具有 11 位标识符的帧称为标准帧，而包括 29 位标识符称为扩展帧。

数据帧由 7 个不同的位段组成，包括帧起始 (SOF)、仲裁场、控制场、数据场、循环冗余检查场 (CRC)、应答场 (ACK) 以及帧结束 (EOF)。其中仲裁场由 29 位标识符和替代远程请求位 (SRR)、标识位 (IDE) 和远程发送请求位 (RTR) 组成；控制场由数据长度码 (DLC) 和两个保留位 RBO, RB1 组成；数据场由数据帧中被发送的数据组成，包括 0~8 个字节，每个字节 8 位。若每帧数据含 8 个字节，则每帧数据长度为 $64 + 8N = 128$ 位。

2、远程帧 Remote Frame

远程帧与数据帧的结构相同，只是不包括数据段。远程帧的远程请求发送位为 1。远程帧用于请求信息。作为某个数据接收的站，通过发送远程帧可以启动其资源节点传送他们各自的数据。远程帧也有标准格式和扩展格式，而且都由 6 个不同的位域组成，分别为帧起始 (SOF)、仲裁场、控制场、循环冗余检查场 (CRC)、应答场 (ACK) 以及帧结束 (EOF)。

3、错误帧 Error Frame

错误帧由两个不同的场组成，第一个场由来自不同节点的错误标志叠加给出，第二个场为错误界定符。错误标志有两种形式：活动错误标志（由六位连续的显性位构成）和认可错误标志（由六位连续的隐性位构成）。认可错误标志的一些或是所有位可由来自其他节点的显性位改写。错误界定符由八个隐性位构成，发送错误标志后，每个节点发送隐性位，并监控总线，直至检测到隐性位。此后它开始发送剩余的七个隐性位。

4、过载帧 Overload Frame

过载帧包括两个位场：过载标志和过载界定符。过载标志的完整形式相应于活动错误标志符。过载界定符和错误界定符具有相同形式。过载标志由六个隐性位构成。由于过载标志形式破坏了发送场的固定形式，因此，所有其他节点将检测到一个过载条件，并在其部件上看是发送一个过载标志。过载界定符由八个隐

性位构成。发送过载标志后，每个节点均监控总线，直至检测到隐性位。此时每一个节点完成送出其过载标志，并且所有节点同时开始发送剩余的七个隐性位，以完成八位长度的过载界定符。

4.2.1 CAN 节点初始化

PIC18LF458 单片机 CAN 控制器配置主要有工作方式设定，波特率设定以及错误检测设定三项。

4.2.1.1 工作方式设定

PIC18LF458 单片机 CAN 控制器有 6 种操作模式：配置模式，关闭模式，正常工作模式，监听模式，自检模式和错误识别模式。除了错误识别模式，其他所有模式都是通过配置 REQOP 位 (CANCON<7:5>) 实现，错误识别模式是通过配置接收缓冲器 (组) 的 RXM 位实现的，通过检测 OPMODE 位对所选的工作模式做出应答。当前一种模式的所有信息都发送完毕后，才能改变为另一种工作模式。因此进一步操作之前，用户必须检查模块是否已经转到所分配的模式。

1. 配置模式

在使用 CAN 模块之前必须将其初始化，这个过程只能在配置模式下完成。将 REQOP2 位置 1 进入配置模式。当且仅当 OPMODE2 状态位为高电平时才能完成配置寄存器，接受屏蔽寄存器和接收过滤寄存器的写入。最后通过将控制位 REQOP2 置 0 使模块转入工作状态。CAN 控制器模块可以避免用户由于编程错误无意识的违反 CAN 协议。在正常工作模式下，所有控制着配置模式的寄存器都不能够再线改写。即在正常收发数据的时候，CAN 模块将禁止进入配置模式，保护配置寄存器，总线定时寄存器，标志符接收寄存器和标志符屏蔽寄存器等不被改写。同样，在配置模式下，模块也不会进行发送和接收。

2. 关闭模式

在关闭模式下，模块不会收发数据，CAN 模块可以通过配置 WAKIF 位用于总线激活，同时任何悬挂的中断将保留，错误计数器的值也将保留。当 REQOP2:REQOP0 被配置为 001 时模块进入关闭模式，这种模式类似与其他外围模块的低功耗睡眠模式，它将关闭模块的内部时钟，以减小模块的功耗，等待唤醒中断 WAKIF 激活以进入正常工作模式。

3. 正常工作模式

正常工作模式是 PIC18LF458 单片机 CAN 控制器的标准工作模式。在该模式下，模块主动监听所有总线信息和产生应答位，错误帧等，这也是 CAN 控制器在

总线上发送数据的唯一方式。

4. 监听模式

监听模式为 CAN 模块提供了所有接收信息，包括错误信息的方法。该模式用于总线监控应用或热插拔状态下的波特率检测。为了自动检测波特率，必须至少有两个互相联系的节点存在，这样就能够通过测试不同的值来检测波特率的值直到接收到有效的信息。监听模式是一种无记载模式，即在这种模式下没有信息被发送，包括错误标志或是应答信号。该模式下过滤器和屏蔽器可以只允许特殊信息装入接收寄存器，或者通过将过滤器和屏蔽器清 0 来接收任何信息，而错误寄存器复位但不工作。模块通过配置 CANCON 进入监听模式。

5. 自检模式

自检模式允许信息不发送到 CAN 总线，而在发送缓冲器和接收缓冲器之间进行内部信息收发。该模式可用于系统的开发测试过程。该模式下，ACK 位被忽略，器件可以就像接收其他站点信息一样接收来自自己的信息。自检模式也是一种无记载模式，即在这种模式下没有信息被发送，包括错误标志或是应答信号。TXCAN 引脚在此模式下用作输入输出引脚。该模式下过滤器和屏蔽器可以只允许特殊信息装入接收寄存器，或者通过将过滤器和屏蔽器清 0 来接收任何信息，而错误寄存器复位但不工作。模块通过配置 CANCON 进入自检模式。

6. 错误识别模式

错误识别模式下模块能够被配置为忽略所有错误，接收任何信息的方式。错误识别模式由把 RXBnCON 寄存器中的 RXM1:RXM0 配置成 11 来激活。该模式下，所有信息，包括有效信息和无效信息都被接收并复制到接收缓冲器中。

4.2.1.2 波特率设定

在 CAN 总线上的所有节点都必须有相同的波特率。CAN 协议使用反向不归零 (NRZ) 编码，这个编码不能对数据串的时钟进行编码，所以，接收节点的时钟必须同步于发送节点的时钟。由于振荡器或发送时钟可能随节点的不同而改变，所以接收器必须要有与发送时钟边沿同步的锁相回路 (PLL)，使接收器始终同步。由于数据是 NRZ 编码，有必要加一个填充位以确保至少没 6 个时钟周期后产生一个脉冲边沿，使数字锁相回路 (DPLL) 同步。

PIC18LF458 的 CAN 控制器位定时通过锁相环 DPLL 得到，DPLL 配置成与数据同步并为传输数据提供定时时间。DPLL 将一位时间分成许多称为时间当量的 (TQ) 的最小时间周期所组成的时间段。总线的定时功能是在位时间帧中执行的，例如与自身振荡器同步，网络传输延时补偿和采样节点，都是通过 DPLL 的可编程位定时逻辑来配置。CAN 总线上的所有器件都必须使用相同的位率。然而不是

所有的器件都要求有相同的主控振荡器时钟频率,对于个别器件的不同的时钟频率,可以通过适当设定波特率后分频器和每个时间段的时间当量来调整。

标称位率是每秒发送的位数,CAN 总线的协议中这个位率的最大值位 1Mbps,气大小随着节点间传输距离的增大而减小,具体数值如表 4-1:

表 4-1 CAN 总线位速率与节点间距

节点间总线长度	位速率
40m	1Mbps
130m	500kbps
270m	250kbps
530m	125kbps
620m	100kbps
1.3km	50kbps
3.3km	20kbps
6.7km	10kbps
10km	5kbps

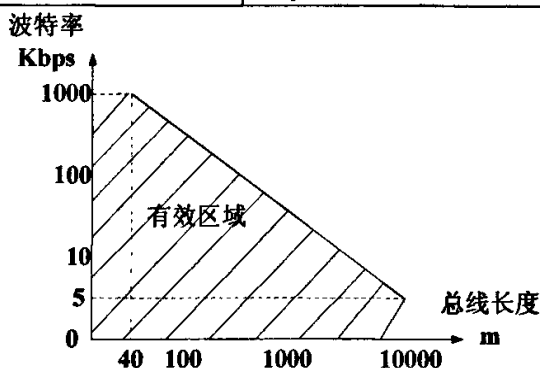


图 4-4 CAN 总线位速率与节点间距

标称位时间定义如下：
$$T_{\text{Bit}} = \frac{1}{\text{标称位率}}$$

可以把标称位时间划分成为几个不重叠的片断,它们是同步段,传播段,相位缓冲段 1 和相位缓冲段 2,如图 4-5。

◆同步段 (SYNC_SEG) 位时间的同步段用于同步总线上不同的节点,这一段内要有一个跳变沿。

◆传播段 (PREP_SEG) 传输段用于补偿网络内部的物理延迟时间。它是信号在总线上传播的时间,输入比较器延时和输出驱动器延时总和的 2 倍。

◆相位缓冲段 1 (PHASE_SEG1) 相位缓冲器 2 (PHASE_SEG2) 相位缓冲段用于补偿边沿阶段的误差。这两个地方可以通过重新同步来加长和缩短。

◆采样点 (Sample Point) 采样点是读取总线电平并转换为对应值的一个时

间点，采样点位于相位缓冲段 1 的结尾。

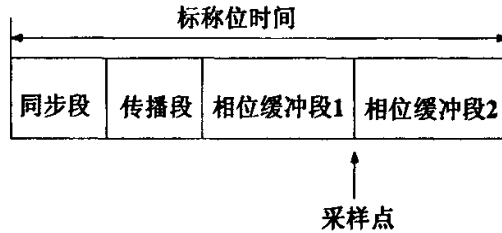


图 4-5 CAN 总线位时间分配图

各时间段时间长度约束如下：

- ◆同步段的长度为 1 个时间量程 (TQ)
- ◆传播段的长度可设置为 1 到 8 个时间量程
- ◆相位缓冲段 1 的长度可设置为 1 到 8 个时间量程
- ◆相位缓冲段 2 的长度为相位缓冲段 1 和信息处理时间两者的最大值
- ◆信息处理时间少于或等于 2 个时间量程

由以上可知位时间的可编程范围为 4 到 25 个时间量程，但是可以使用的最小值是 8，这是由于位时间小于 8 个时间量程不能保证 CAN 总线运行正常。因此，位时间的可编程范围是 8 TQ 到 25 TQ。采样点就是读总线电平和确定接收位的值的时间点。采样点发生在相位缓冲时间 1 的最后部分。如果位时间很缓慢并且有很多的 TQ，这很可能在总线的同一个采样点上出现多重采样。接收位的值由 3 次采样值中的多数决定。这 3 次采样都在采样点上，并且前两次采样的时间间隔位二分之一 TQ。信号处理时间是 (IPT) 是在为计算后来的位电平保留的时间段。CAN 规范规定这个时间小于或等于 2TQ，PIC18LF458 的 CAN 模块定义这个时间是 2TQ。所以相位时间段 2 的长度至少为 2TQ。

4.2.1.3 错误检测设定

CAN 协议具有精密的检测装置，以下错误可以被检测到：

1、CRC 错误

使用循环冗余检测 (CRC) 发送器可以从数据帧头位到数据帧尾位计算出位序列的特殊检测位，这个 CRC 序列以 CRC 域传输，接收节点也使用同样的计算式计算 CRC 序列并且与接收序列比较。如果被检测出不匹配，则说明发生了一个 CRC 错误或一个错误帧，信息被重发。

2、应答错误

在信息的应答域内，发送器会检测应答位 (已作为隐性位发送) 是否有显性位。如果没有，其他节点是不会正确接收到帧的，一个应答错误产生时，会产生

一个帧错误并将重发这个信息。

3、格式错误

如果在一个节点在 4 个部分（包括帧尾，帧中间，应答界定符和 CRC 界定符）其中的一个检测到显性位，会产生一个格式错误和一个错误帧，并且将信息重发。

4、位错误

当发送器在监测当前的总线电平并与刚发送位的电平进行比较时，如果发送器发送一个显性位而检测到一个隐性位，或相反时，就会产生一个位错误。不过在仲裁和应答期间。如果出现上述情况则不产生位错位，这是因为仲裁正在进行。

5、错误状态，方式及错误计数器

检测到的错误将公布到错误帧经过的其他节点。发送失败的错误信息会尽可能快地重复发送帧，而且根据内部错误计数器，每个 CAN 节点都可能有 3 个错误状态（主动错误，被动错误和总线断开）之一，主动错误状态是一种通常状态，能够不受任何限制的发送信息和主动错误帧（由显性位组成），在被动错误状态，可以发送信息和被动错误帧（由隐性位组成）。总线断开会使这个节点暂时不能参与总线通信，当处于断开状态时，既不能接收信息也不能发送信息。

PIC18LF458 芯片有两个错误计数器：接收错误计数器（RXERRCNT）和发送错误计数器（TXERRCNT），它们可以被 MCU 读出，并按照 CAN 协议进行加减。当两个计数器的值都低于被动错误的限度 128 时，芯片处于主动错误状态。如果至少有一个计数器等于或是超过 128 时，芯片处于被动错误状态，如果发送计数器的值等于或是超过总线断开限度 256 时，芯片处于总线断开状态。总线断开后将保持断开状态直到接收到总线回复序列，总线断开恢复序列由 11 个连续的 128 个事件组成。注意在总线断开状态之后，如果总线维持空闲状态达到 128×11 个位时间，那么 CAN 总线不受 MCU 的干涉而恢复到主动错误状态，如图 4-6。

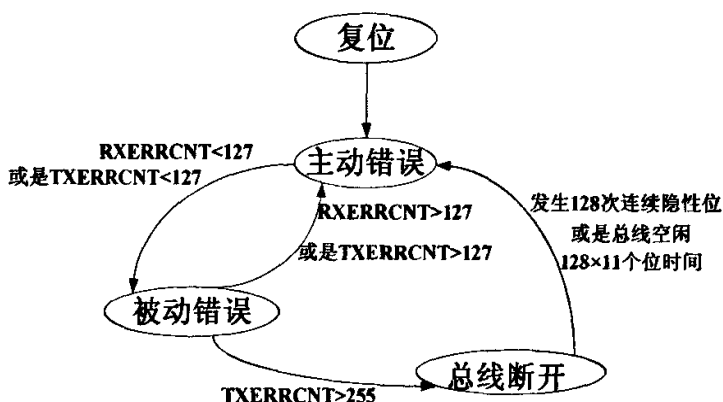


图 4-6 CAN 总线错误状态转换

4.2.2 CAN 节点发送流程

4.2.2.1 发送缓冲器

PIC18LF458 单片机 CAN 模块有 3 个发送缓冲器，每个缓冲器都有 14 个字节的 SRAM，处于模块的存储器地址中。若 MCU 要对信息缓冲器进行读写访问，则 TXREQ 必须清 0 以表示信息缓冲器已经将任何要发送的信息清除。至少 TXBnSIDH, TXBnSIDL 和 TXBnDLC 寄存器必须被装载。如果信息中有数据字节，TXBnDm 寄存器也应该被装载。如果信息使用扩展标志符，那么 TXBnEIDH, TXBnEIDL 寄存器也必须装载，而且将 EXIDEN 位置 1。信息发送之前，MCU 必须对 TXBnIE 位初始化以控制信息发送期间是否产生中断，同样还要初始化 TXBnIP 位确定各个发送寄存器的中断优先级。

4.2.2.2 发送优先级

发送优先级是对 CAN 控制器内部的可发送信息进行优先级排序。它区别于建立在 CAN 协议中固有的信息仲裁方案的优先级。在发送 SOF 之前，对所有用于发送的缓冲器进行比较，具有最高优先级的发送缓冲器将优先发送。如果两个缓冲器拥有相同的优先级则缓冲器序号高的那个具有高的优先级。发送优先级有 4 级，由 TXPRI1 和 TXPRI0 配置，11 为最高，00 最低。

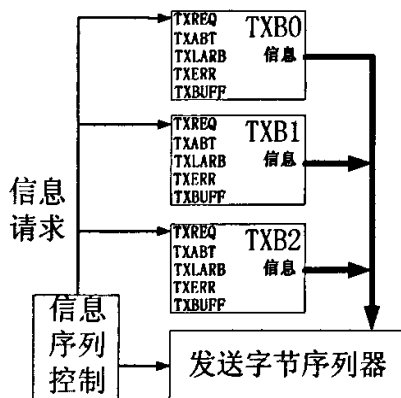


图 4-7 发送缓冲器内部框图

4.2.2.3 启动发送

为了启动发送，TXREQ 位必须置位并将每个缓冲器配置成发送。当 TXREQ 位置 1 时，TXABT, TXLARB 和 TXERR 位将被清 0。配置 TXREQ 位并不能启动信息发送，只是仅仅表示信息发送缓冲器为发送作好了准备，当器件检测到总线可用时发送才开始。器件将首先发送已经准备好的最高优先级的信息。当发送成功，TXREQ 位将被清 0，TXBnIF 位被置 1，如果 TXBnIE 位先被置 1，则有一个中断产

生。如果信息发送失败，则 TXREQ 位将保持位 1，表示信息仍未发送，条件标志位将会置 1。如果信息开始发送但是遇上了错误条件，那么 TXERR 和 IRXIF 位将被置 1，并产生一个中断。如果信息失去仲裁，那么 TXLARB 位将被置 1。

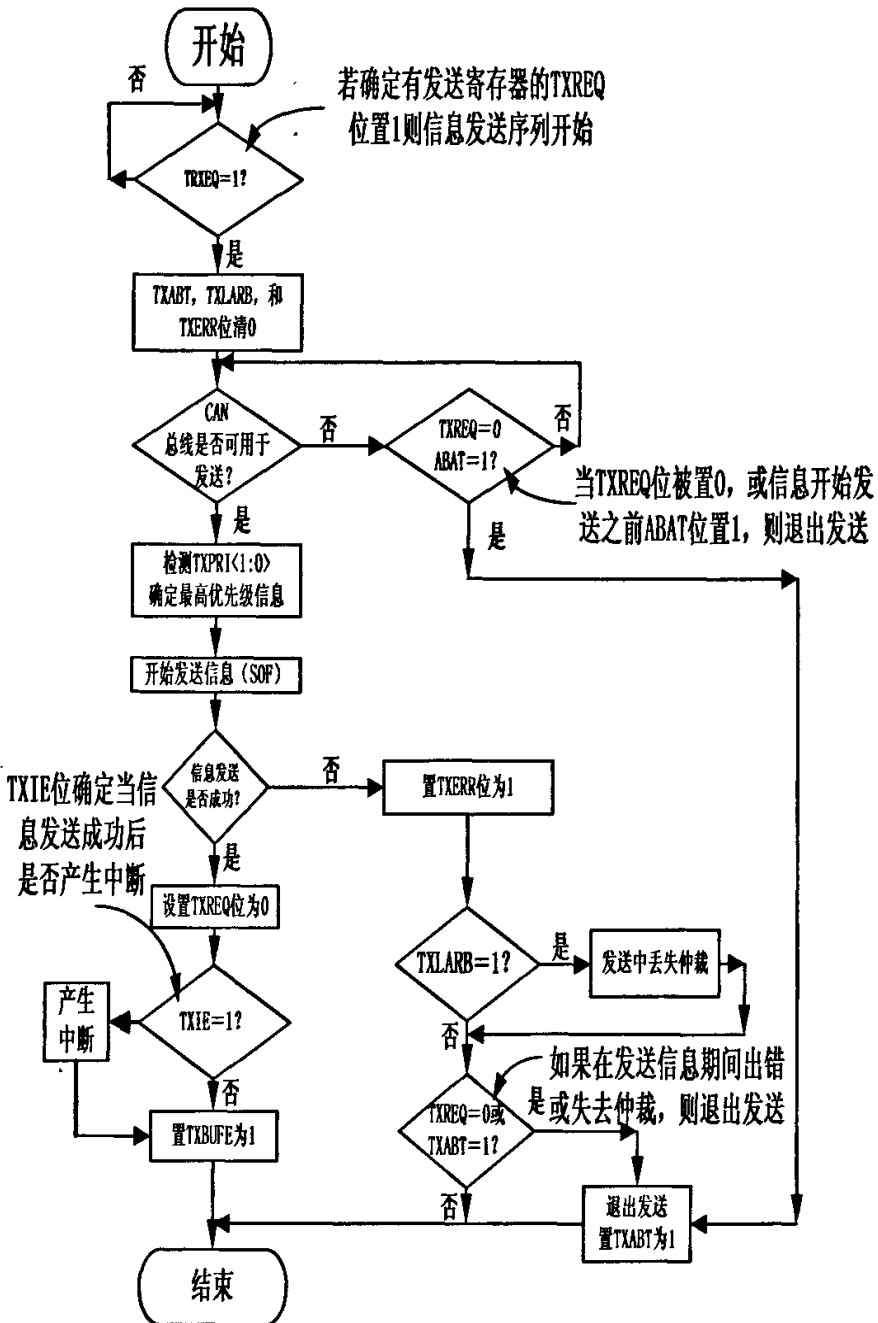


图 4-8 CAN 总线发送流程

4.2.3 CAN 节点接收流程

4.2.3.1 信息接收缓冲器

PIC18LF458 单片机的 CAN 模块包括 2 个自带多重过滤器及屏蔽器的全接收缓冲器。另外还有独立的信息组合缓冲器 (MAB)。在这三个接收缓冲器中, MAB 的作用总是接收来自总线的下一条信息, 其余两个缓冲器称为 RXB1 和 RXB2, 可以接收满足协议的完整信息。当一个缓冲器用于信息接收或是保持已接收信息时, MCU 可访问另一个缓冲器。MAB 接收所有信息, 当接收到的信息满足接收过滤器的条件时, 才被传送到 RXBn, 同时相应的 RXBnIF 位置 1。为了使接收缓冲器能接收到新的信息, 当缓冲器的信息处理完毕后, RXBnIF 位必须用软件清 0。RXB0 具有较高的接收优先级, 它有两个相关的接收过滤器和一个相关的接收屏蔽器, RXB1 具有较低的接收优先级, 它有四个相关的接收过滤器和一个相关的接收屏蔽器。

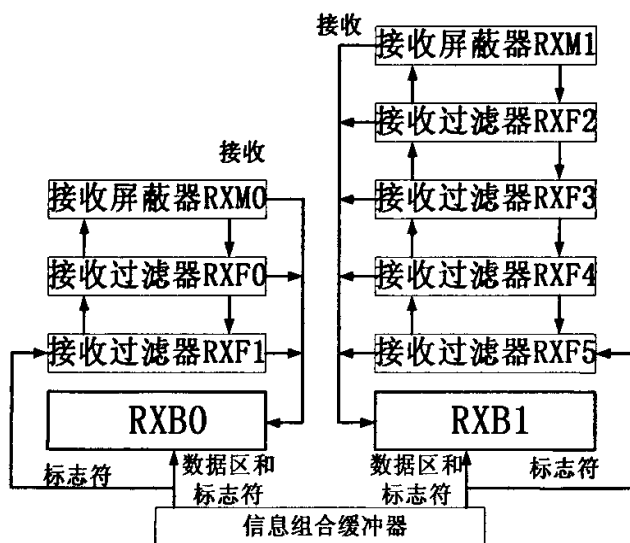


图 4-9 接收缓冲器内部框图

4.2.3.2 信息接收过滤器和屏蔽器

接收过滤器和屏蔽器用于确定信息组合缓冲器 MAB 中的信息是否被装进其中的一个接收缓冲器。一旦一条有效信息被 MAB 接收, 信息的标志符区域将和过滤器比较, 如果匹配, 则信息将被装入相应的接收缓冲器。屏蔽器用于确定标志符中的哪一位被过滤器检查, 如果屏蔽位配置为 0, 则将自动接收不考虑过滤器位。过滤器和屏蔽器进行过滤匹配检查的真值表见表 4-2。

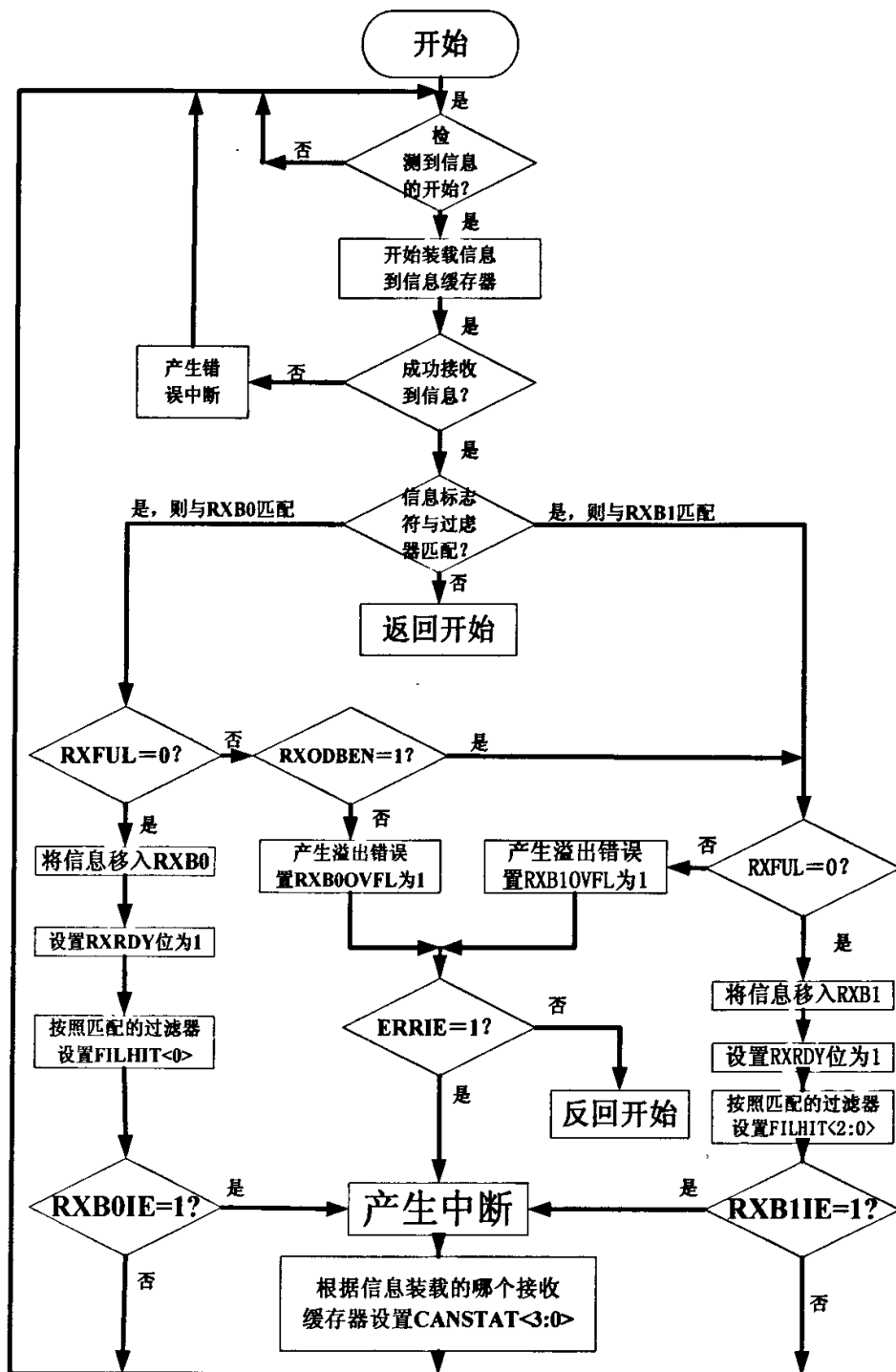


图 4-10 CAN 总线接收流程

表 4-2 过滤器和屏蔽器匹配检查的真值表

屏蔽位 n	过滤器位 n	信息标志符位 n	接收或拒绝位 n
0	X	X	接收
1	0	0	接收
1	0	1	拒绝
1	1	0	拒绝
1	1	1	接收

4.3 CAN 总线网络扩展程序设计

4.3.1 SPI 工作流程

要让 SPI 串行端口工作，必须把 MSSP 模块的使能位 SSPEN (SSPCON1<5>) 置 1。要复位或者重新定义 SPI 接口方式，需要对 SSPEN 位清 0，再对 SSPCON1 寄存器重新初始化，然后把 SSPEN 位置 1。这样就可以把引脚 SDI、SDO、SCK 和 \overline{SS} 作为 SPI 接口的专用引脚。为了使得这些引脚具有串行接口的功能，还必须对其方向控制位，进行相应的如下定义：

- ◆SDI 引脚的 I/O 方向由 SPI 接口自动控制，应设定 TRISC4=1；
- ◆SDO 引脚定义为输出，即 TRISC5=0；
- ◆在主控方式下，SCK 引脚定义为输出，即 TRISC3=0；
- ◆在从动方式下，SCK 引脚定义为输入，即 TRISC3=1；
- ◆在从动方式下，如果用到 \overline{SS} 引脚，则定义为输入，即 TRISA5=1，并且在 ADCON1 控制寄存器里必须设置为普通数字 I/O 脚。

当 SPI 接口收到一个 8 位数据时，就将其装载到 SSPBUF 缓冲器中，并且置位缓冲器满标志 BF (SSPSTAT<0>) =1，以及置位中断请求位 SSPIF (PIR1<3>) =1。由于 SSPBUF 起到二级缓冲器的作用，故在第 1 个接收到的数据还尚未被 CPU 读取时，SSPSR 寄存器即可进行第 2 个数据的接收。当在进行数据的发送或接收期间，任何试图写 SSPBUF 的操作都无效，并且将造成写冲突检测位 WCOL (SSPCON1<7>) =1。此时必须用软件将 WCOL 位重新清 0，以便使其能标志后面的 SSPBUF 写入操作是否成功。SSPBUF 所存放的接收到的数据必须及时读取走，否则可能会被后来的数据覆盖掉。如果发生数据覆盖，则溢出标志位 SSPOV (SSPCON1<6>) 会被置 1。BF 位用来标志 SSPBUF 是否已经载入了接收数据，当 SSPBUF 中的数据被读取后，BF 位即自动被清为 0。

主机由于控制着 SCK 时钟信号，故可在任何时候启动数据的传输过程。主机可以通过软件协议的方法（例如给从机发送一个特殊字节作为命令），来决定从

机何时需要发送数据。在主机工作方式下,数据一旦装入或者写入缓冲器 SSPBUF 就可以开始读取或者发送操作。此时,SSPSR 将连续地将其 SDI 引脚上的信号,按其预先选定的时钟节拍进行移入。当接受完一个字节后,就立即装入 SSPBUF,同时中断标志位和缓冲器满标志位都被相应地置 1,通知 CPU 读取 SSPBUF。时钟极性可以通过 CKP (SSPCON1<4>) 位的定义选定,数据的最高位先被传送。在主机方式下,SPI 接口的信息传输速率可以由用户编程设定,可有 4 种选择:(1) $f_{osc}/4$; (2) $f_{osc}/16$; (3) $f_{osc}/64$; (4) TMR2 输出/2。在系统时钟振荡频率为 40MHz,最高 SCK 时钟频率即可达到 10MHz。

在从动方式下,数据的发送和接收是利用 SCK 引脚上送来的外部同步时钟脉冲进行定时的,所以数据的传输速率取决于外来同步时钟的频率。当被接收数据的最后一位被锁定,或者被发送数据的最后一位被移出之后,中断标志位 SSPIF 被置 1,发出中断请求。时钟的极性由 CKP 设定。在单片机进入睡眠状态时,处于从动方式工作的 SPI 接口,亦可发送和接收数据,并通过中断请求将 CPU 唤醒。例如,当接受到一个字节的数据时,就会将 CPU 从睡眠状态唤醒。通过 \overline{SS} 引脚可以把单片机设定为从动工作方式。当 \overline{SS} 引脚送入低电平时,就可以进行发送和接收,SDO 输出引脚依据输出数据被驱动成高电平或低电平;当 \overline{SS} 脚送入高电平时,即使是在发送数据的过程中,SDO 输出引脚也会变为高阻浮空状态。

4.3.2 网络节点编号及收发控制

为了完成课题要求,同时使每个节点仅接收有用信息从而提高效率,我们需要对各个网段,各个节点进行编号,然后利用接收缓冲器的屏蔽与过滤功能对节点的收发进行控制。由于预警系统的特殊要求,为了保证来往车辆的安全,如果在一个节点处出现突发团雾等恶劣天气,那么我们需要在事故节点前后各一个或是几个节点同时报警,这样扩大了预警面以达到更好的预警效果。

按照 CAN 总线协议,每个网段最长 10km,最多每段 110 个节点。我们综合系统成本,系统性能和协议器件要求等因素,采用最低传送速率 5kbps,这样每个网段可达 10km,考虑到稳定性和可靠性,避免极限情况,我们每个网段 7km,同时每个节点之间距离设为 1km 左右,这样每个网段可有 8 到 10 个节点。我们采用标准帧格式,每个节点有 11 位的独立 ID,每个网段的节点占用低 4 位,网段占用高 7 位,则可以标识出 128 个不同的网段,足以覆盖所要监测的高速公路。

一般节点只接收与自己 ID 相符的信息,发送信息只发送到与自己 ID 相邻的节点。也就是发生事故了通知高速公路上与自己相邻的两个节点,实现在 1km 以外报警。中转节点不设屏蔽和过滤接收转发所有信息,中央控制节点也同样接

收所有节点，并上传的上位机，同时转发上位机对各个节点的控制信息。

4.4 本章小结

本章主要介绍了高速公路能见度预警系统的软件设计，借助于第三章搭建的硬件平台实现对瞬时，突发的能见度变化的预警。本章主要针对各个功能模块，从功能实现的原理，硬件提供的实现机制，软件实现的流程等方面加以详细的描述和说明。首先，对于信号检测模块，主要介绍了调制解调信号产生，温度信号的检测与温度控制以及 AD 转换的实现机制和软件流程。其次，对单节点处理单元接入 CAN 总线进行了详细说明，其中在 CAN 的初始化过程中对编程中需要考虑到协议帧结构，控制器工作模式，总线波特率以及总线的纠错方式等作了详细和深入的研究。同时给出了微处理器接入 CAN 总线的收发流程。最后，对 CAN 总线扩展设计中的软件实现进行了介绍，尤其是功能赖以实现的 SPI 接口主从工作模式以及实现流程做了详细说明，并且为了实现扩展网络的优化设计，对网络节点进行了节点编排，从而提高了网路的工作效率。

第五章 模拟实验及现场可行性分析

5.1 模拟实验

由于项目指标对环境要求很高，而作为实验室的预研项目，我们仅是对相关的指标做了一定量的模拟实验。信号检测部分对能见度信号的提取和温度信号采集做了相应的实验分析。信号通信部分则对 CAN 总线收发以及扩展网络通信做了大量的实验验证。

能见度信号采集实验我们如第三章图 3-3 搭建硬件电路。发光管的驱动信号与解调信号都由单片机产生。借助单片机内部晶振准确的定时，我们可以利用单片机产生频率相当精确的方波，再将方波通过带通滤波器即可得到解调所用的正（余）弦波，由于单片机产生的正弦波不容易驱动发光管，所以我们先用方波驱动发光管，然后将方波低电压驱动发光管后接收端经光电转换得到的信号通过带通滤波提取有用频率（调制频率）分量，即可得到等效的以调制频率信号驱动所得到转换信号。在调试过程中单片机产生解调信号所需要的方波，以及方波驱动发光管后接收端经光电转换得到的信号如图 5-1 所示，注意光电转换后的信号根据信号的强弱要进行适当的放大。其中调制和解调频率选为 1000Hz。

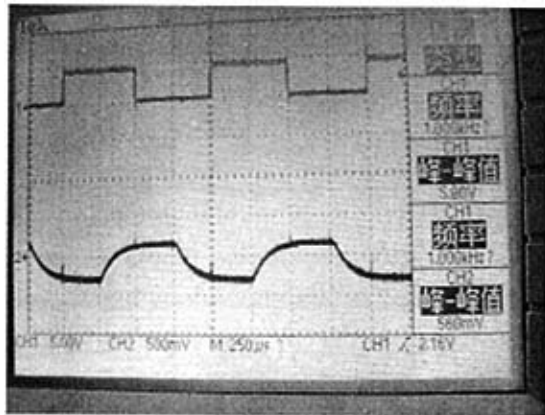


图 5-1 单片机产生的用于驱动和解调的方波（通道 1）
以及方波驱动发光管得到的光电转换后的信号波形（通道 2）

将以上信号通过中心频率为 1000Hz 的带通滤波器即可得到锁相解调所需的正余弦解调信号和等效的以调制频率信号驱动所得到光电转换信号。如图 5-2

所示。

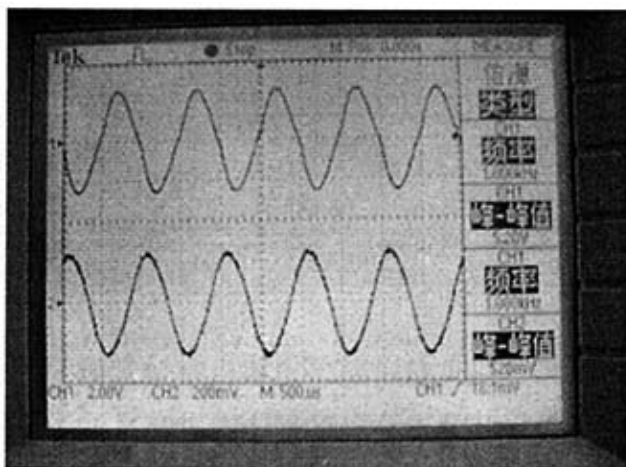


图 5-2 解调信号（以正弦为例，通道 1）和等效的以调制频率信号驱动所得到光电转换信号（通道 2）

然后将正弦，余弦解调信号分别与以调制频率信号驱动所得到光电转换信号进入 MLT04 乘法器相乘，得到的正余弦解调信号（如图 5-3），两路解调信号分别经过低通滤波器实现无限积分，经过乘法器自乘平方，加法电路相加消除相位影响后，即可得到锁相解调后的有用幅值信息。

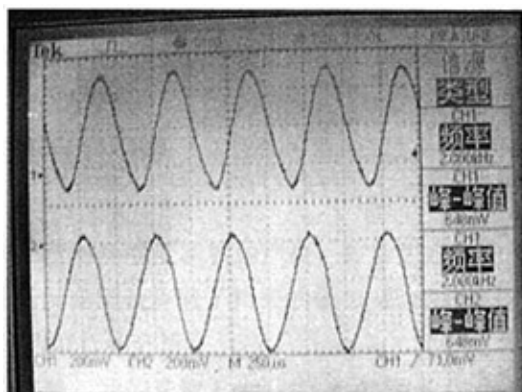


图 5-3 正弦解调信号（通道 1）与余弦解调信号（通道 2）

实验证明利用锁相检测原理处理后的信号幅频特性具有中心频率稳定，通频带窄，品质因数高等优点，非常利于将微弱的调制光信号从很强背景噪声中提取出来，是一种理想的微弱信号检测方法。

温度采集我们由第三章硬件电路结合相应的测温程序，在实验室中对室内和室外进行两点的菊花链式测温，将按图 3-9 方式连成的硬件电路中一个 TMP05

置于室内，另外一个置于室外，其测量结果由表 5-1 所示。

表 5-1 试验结果及误差分析

测温点	实际值	测量值	误差 (%)
室外	4.1℃	3.4℃	0.7℃ (17%)
室内	24.1℃	23.7℃	0.4℃ (1.6%)

利用 TMP05 对能见度仪进行多点温度检测为能见度仪的内部温度控制，使其更加稳定的工作，提高了能见度仪的测量精度和工作稳定性。由中断实现的多点测温大大降低了程序对 CPU 资源的消耗，同时 TMP05 极小的体积，低电压供电等极大的降低了芯片的功耗，以及与微处理器灵活多样的接口方式都为 TMP05 提供了广阔的应用前景。鉴于项目功能，成本，功耗及精度等要求，TMP05 完全满足需要，是理想的选择。

对于测量节点接入 CAN 总线的收发实验测试以及 CAN 扩展网络的通信实现测试，我们首先分别对接入总线的各个节点进行收发测试，然后单个 CAN 总线通信网络我们同时接入 4 个节点进行收发的通信测试，并对能见度预警进行了模拟测试，验证每个节点在网络中收发的准确性。最后，我们选取两个 CAN 网络模拟网络扩展通信过程，对其中的 SPI 通信，CAN 网络转发存储，CAN 总线仲裁以及错误处理等进行了实验性验证。

5.2 系统实验与可行性分析

由于能见度预警系统对环境要求较为严格，并且在方案设计上对工程技术方面的要求比较高，我们仅在实验室做了相关的模拟实验并根据实验结果对在野外的工程实现做了充分的可行性分析。

对于实验室模拟实验，我们选取 5 米，10 米和 20 米三个不同的距离，进行了三组对比实验。我们采用让光线透过不同厚度透明体的方式模拟雾的消光效应，选取 1mW 半导体激光二极管作为光源，在任意一组中，设置不同的阈值，对每一个阈值利用透明体消光测试预警功能。通过测试，预警系统在实验室条件下对于不同距离不同阈值报警均正常。

而在实际现场试验中，我们首先要确定收发站点之间的距离，从而确定报警阈值。根据高速公路能见度与最高限速值之间的关系，我们选取静态临界能见度 V ，这样即可根据 Koschmieder 定律

$$V = -\frac{Ln\varepsilon}{\delta} \quad (5-1)$$

(其中V为能见距离; δ 为大气消光系数; ε 为视觉对比阈值一般取0.02或0.05.)

得到临界能见度时的消光系数 δ , 再根据 Lambert-Beer 定律收发光强与传输光程长之间的关系,

$$I = I_0 e^{-\delta L} \quad (5-2)$$

这样这个关系在收发光强和站点间距离间取出最佳搭配即可确定站点间距。

表 5-2 不同阈值能见度的消光系数

$\delta \backslash V$ ε	300	400	500	600	700	800	900
0.02	0.01340	0.00978	0.00782	0.00652	0.00559	0.00489	0.00435
0.05	0.00999	0.00749	0.00599	0.00499	0.00428	0.00374	0.00332

由于民用能见度阈值一般取 0.02, 根据高速公路限速要求以及动态能见度定义我们选取能见度阈值为 500m, 也就是当能见度低于 500m 的时候报警。此时消光系数为 0.00782。

表 5-3 预警 500m 能见度时的功率衰减

$I/I_0 \backslash L$ δ	300	400	500	600	700	800	900
0.00782	10.44	22.82	49.88	109.02	238.28	520.79	1138.28

根据硅光电池 2CR42 的特性, 产生的光电流与接收的光照度成正比, 且在光照度为 $1000\text{w}/\text{m}^2$ 时产生的光电流为 22.5mA 到 27mA, 以及后继检测电路的精度等条件, 就可以在实际装配中根据系统造价最优化的选取半导体激光二极管功率和节点间距的最佳组合, 从而实现最低成本的精确检测能见度变化信号。

第六章 总结与展望

6.1 课题总结

本课题开发的高速公路能见度预警系统主要预防针对瞬时,突发的团雾,雨雪以及沙尘暴等气象原因导致高速公路局部能见度突降所引起的交通事故。由于目前国内各级气象台以及现存预警系统无法全程实时监控高速公路上发生的随机,瞬时,突发的能见度变化。因此本系统凭借其低成本,高性能并且可以全天候实时全程监控等诸多优点将会有很好的实用价值和广泛的应用前景。本文完成的主要工作有:

1. 设计了长距离光电传感器及后续的微弱光信号检测电路,实现了对远距离传送的光信号的检测。其中基于锁相解调的信号发送,接收及检测电路利用调制解调原理大大提高了系统的抗干扰能力,提高了系统的精确度和稳定性。
2. 针对预警系统需要野外工作的特点,设计了用于保证光电器件稳定工作以及镜片系统免于雾水影响的温度检测和调节系统。
3. 完成了单个节点接入 CAN 总线的通信接口设计,将分布式的测量系统连接起来,设计了硬件实现电路并对 CAN 总线的初始化,接收和发送软件流程进行了测试。以带有 CAN 模块的 MCU 代替了通常系统中使用的 CAN 控制器,优化了系统设计。
4. 完成了用于 CAN 网络扩展的电路设计,详细分析了 CAN 通讯接口及 SPI 通讯接口的硬件设计及软件调试,并对 CAN 网络数据传输进行了测试,验证了系统通讯的可靠性。

6.2 展望

本文对高速公路能见度预警系统进行了可行性分析,总体设计以及各个功能模块的软硬件设计。但是,由于系统仅处于实验室调试和实现阶段,所以不少地方需要改进或是进一步开发。

1. 由于本课题所涉及的能见度属于气象问题,受天气条件影响很大,所以

系统的稳定性和可靠性还需要大量野外实地实验和数据支撑。本课题目前尚处于实验室调试阶段，因此，对于能见度信号的预警阈值，温度的调节幅度等都还需要进一步野外实验确定。

2. 由于本课题还处于预研阶段，在实验中选用的网络节点数量较少，有待增加网络节点数，进而验证 CAN 总线仲裁机制以及纠错机制等功能的实现效果。
3. 本课题出于成本造价，经济实用等方面的考虑，仅对与交通事故密切相关的能见度信号进行检测与预警。在条件允许的情况下，可以在此硬件基础上对系统功能进行必要的补充，使之更加充实完善。

参考文献

- 【1】 新华网. 中国高速公路总里程位居世界第二.
http://news3.xinhuanet.com/photo/2004-10/27/content_2145944.htm
- 【2】 马治国, 冯建勇, 冯杰, 高速公路雾警自动限速标志系统探讨. 北京公路. 2002 (3) 27~30
- 【3】 浙江新闻网. 浙江因大雾高速日封路 10 小时 政协呼吁建预警.
<http://news.zj.com/Zhejiang/Gdxwhc/335673.html>
- 【4】 孙慧洁, 能见度测量仪器综述. 气象水文海洋仪器. 1994(1):32~40
- 【5】 孙慧洁, 大气散色光于能见度关系讨论. 气象水文海洋仪, 1995(4):30~34
- 【6】 孙景群, 激光大气探测. 北京. 科学技术出版社. 1986, 68~76
- 【7】 王青梅, 谢邦力, 梅品琛, 前向散射仪测量能见度的原理和标定方法. 光学技术. 2001, 30 (2): 176~178
- 【8】 李刚, 公路气候监测与报警系统. 中国专利. 国家专利申请号 02124117.1
- 【9】 林凌, 洪权, 李刚等, 模拟乘法器 MLT04 在高精度微弱光信号锁相检测电路中的应用, 光电子技术, 2005(4): 263~266
- 【10】 Analog Devices Inc., Four-Channel, Four-Quadrant Analog Multiplier Data Sheet
- 【11】 Analog Devices Inc., Precision Low Noise, Low Input Bias Current Operational Amplifier OP4177 Data Sheet
- 【12】 林凌, 王小林, 李刚, 一种新型锁相检测电路的研究. 天津大学学报 2005. 38(1):65~68
- 【13】 钱建强, 惠梅, 王东生, 锁相检测式二维小角度检测装置. 光学技术. 2004. 30 (2): 176~178
- 【14】 陈嘉艳, 张保平, 机场能见度仪光学头部温度控制. 测控技术. 2002. 21(12):23~25
- 【15】 Analog Devices Inc., serial digital output thermometer TMP05/06 Data Sheet
- 【16】 MAXIM, MAX1681: 125mA, Frequency-Selectable, Switched-Capacitor Voltage Converter MAX1681 Data Sheet
- 【17】 林凌, 洪权, 李刚等, TMP05 的菊花链式多点测温在能见度仪中的应用, 电

- 子质量 2005(5): 11~13
- 【18】饶运涛,现场总线 CAN 原理与应用技术.北京.北京航空航天大学出版社.2003
- 【19】马立明,魏小成,焦建勇,现场总线与现场总线控制系统,河北省科学院学报,2002,19(4): 237~240
- 【20】阳宪惠,现场总线技术及其应用,北京:清华大学出版社,2002
- 【21】曹建平,跨世纪的自动化热点技术——现场总线,南京工业职业技术学院学报,2003,3(1): 1~4
- 【22】吕岗,谭得健,马方清,现场总线的特点与发展,工矿自动化,2003,(2): 12~14
- 【23】章剑雄,冯浩,现场总线技术概述,自动化与仪表,2002,17(6): 1~3
- 【24】邬宽明,CAN 总线原理和应用系统设计,北京:北京航空航天大学出版社,2001
- 【25】吴友宇,杨家明,一种新型的光纤 CAN 总线网络,武汉理工大学学报信息与管理工程版,2003,25(2): 36~39
- 【26】MICROCHIP,PIC18Fxx8 Data SHEET,2002
- 【27】杨朔,何莉萍,钟志华,基于 CAN 总线的电动汽车电池管理系统.贵州工业大学学报:自然科学版.2004.33(2).90~94
- 【28】孙双花,曲兴华,杨学友,PIC18F248 芯片在 CAN 总线设计中的应用.制造业自动化.2004.26(8):70~72
- 【29】林凌,洪权,李刚,ADUM1201 在 CAN 总线通信系统中的应用,电子产品世界,2005(4) 98~100
- 【30】李学海,PIC 单片机实用教程—基础篇,北京:北京航空航天大学出版社,2002
- 【31】李学海,PIC 单片机实用教程—提高篇,北京:北京航空航天大学出版社,2002
- 【32】王同胜,计算机技术及应用基础,天津:天津大学出版社,1999
- 【33】周宝龙,岳继光等,基于 CAN 控制器的对等式单片机多机系统的通信,电子技术应用,2001,27(2): 23~25
- 【34】MICROCHIP,PIC18XXX8 CAN Driver with Prioritized Transmit Buffer,2002
- 【35】MICROCHIP,MCP2551 Data Sheet,2002
- 【36】张国雄,金篆芷,测控电路:机械工业出版社,2001

- 【37】邹继军,饶运涛,CAN 中继器设计及其应用,电子技术应用,2003. 29(8):39~41
- 【38】吴涤,祝建培,一种基于 SPI 的 PIC 单片机多机通信的方法,电子技术,2001, 28 (2): 35~38
- 【39】黄战华,微机原理与接口技术,北京:机械工业出版社,1998
- 【40】窦振中,PIC 系列单片机原理和程序设计,北京:北京航空航天大学出版社,2000
- 【41】吕岗,谭得健,马方清,现场总线的特点与发展,工矿自动化,2003, (2): 12~14
- 【42】康华光,电子技术基础,北京:高等教育出版社,1998
- 【43】李刚,林凌,现代测控电路,北京:高等教育出版社,2004, 1
- 【44】郑君里,信号与系统,北京:高等教育出版社,2000, 9
- 【45】马宗龙,电荷泵电压转换器及其应用,集成电路应. 1995, (2). 40~42
- 【46】李荣玉,陆家和,双极性高压稳压电源及高稳定偏转放大器,微细加工技术. 1989. 000(001). 34~36
- 【47】刘和平,PIC18XXX 单片机原理与接口程序设计. 北京. 北京航空航天大学出版社. 2004
- 【48】沙占友,TMP03/04 型数字温度传感器的工作原理. 单片机与嵌入式系统应用. 2002(3):43~45
- 【49】王广志,吴颖,数字式温度传感器与分布式温度测量系统. 传感技术学报. 2001. 014(001):26~28
- 【50】谢兴生,陶善昌,周秀骥,数字摄像法测量气象能见度. 科学通报. 2001 (1) 97~100
- 【51】施德恒,陈玉科,许启富,可精确测量低能见度的折返式跑道能见度激光测量仪的研究. 激光杂志. 1999 (2) 23~26
- 【52】周克亮,卢凌,汪尤酣,基于视觉阈值效应能见度推算方法. 交通与计算机. 1995 (6) 58~61

攻读硕士学位期间发表论文

1. L Lin, Q Hong, G Li, X B Han, Steven C-Y Lu and R Ding, A new visibility pre-warning system for the expressway, J. Phys. : Conf. Ser. 13 (2005) 67-72.
2. 林凌、洪权、丁茹, 一种新型的高速公路能见度预警系统, 电子测量与仪器学报, 已录用, 2006 年。
3. 林凌、洪权、李刚等, 模拟乘法器 MLT04 在高精度微弱光信号锁相检测电路中的应用, 光电子技术, 2005. (4) :263~266
4. 林凌、洪权、李刚, ADUM1201 在 CAN 总线通信系统中的应用, 电子产品世界, 2005. (4) :98~100
5. 林凌、洪权、李刚等, TMP05 的菊花链式多点测温在能见度仪中的应用, 电子质量, 2005. (5) :11~13
6. 林凌、洪权、李刚, 基于 TMP04 的 PIC 单片机测温实现, 国外电子元器件, 2005. (10) :42~44
7. 林凌、洪权、李刚, 双极性运算放大器 OP4177, 今日电子, 2005. (8) :63~68
8. 林凌、洪权、李刚, 基于 ADG663 的 CAN 总线网络扩展设计方案, 今日电子, 2005. (7) :35~37
9. 林凌、洪权、李刚, 四通道, 四象限模拟乘法器 MLT04, 国外电子元器件, 2005. (4) :71~72
10. 林凌、洪权、李刚, 带宽范围为 120dB 的双对数变换器 ADL5310, 国外电子元器件, 2005. (5) :67~69
11. 林凌、洪权、李刚, 18 位高速底有效位积分非线性逐次逼近型 ADC 芯片 AD7678, 电子元器件应用, 2005. (11) :92~96

在校期间参加科研项目

1. 基于 CAN 总线的能见度预警系统研制
2. 天津市高校科技发展基金项目 (20041314)。

致 谢

本论文的研究是在导师林凌副教授和李刚教授的亲切关怀和悉心指导下完成的。两位老师渊博的知识、敏锐的洞察力、丰富的科研经验、严谨的治学态度和忘我的工作精神给我留下了深刻的印象，使我受益匪浅。在课题的开展和论文的编写过程中，两位老师给予了细心的指导和全力的支持，使本研究得以顺利完成。学习中老师的谆谆教诲将对我今后的职业生涯影响深远，生活中老师的帮助我会铭记在心。在此，谨向两位老师表示衷心的感谢！

同时还要感谢王焱师姐、吴开杰师兄、卢宗武师兄、解国明师兄、王蒙军师兄、刘玉良师兄、于超师兄等对我课题上的帮助和生活上的关心指导。感谢闫巍师兄、刘铭师兄、王小林师姐、宋颖师姐以及韩晓斌、王盛艳、高剑明、林麟、王立丽、王越、乔文、姜媛媛等同学在实验室对我的帮助和支持。这里还要感谢王宁、马骏、黄建梅、赵倩云等同学两年多来对我学习和生活中的帮助。

最后要特别感谢我的家人，感谢你们多年辛勤的培养和教育，你们的爱是我的动力和源泉，支持着我不断向前。我今天取得的任何点滴成绩都离不开你们的付出和支持，在这里向你们表示我最深的感谢！

硕士研究生毕业后，我即将走向社会，走上工作岗位，这无疑是人生的一大转折。回首二十多年的求学生涯，在每一个阶段，都有许多帮助过我的人。在这里我要真诚地对你们说声：谢谢！在今后的生活中，我一定努力工作，报效社会，报效国家，不辜负所有关怀我的人对我的殷切期望！

洪权

2005年12月