

雷电定位系统的设计

邓 苏,宋润武

(贵州省江口县气象局,贵州 江口 554400)

摘 要:为解决雷电定位系统大体积和不方便安装的问题,提出了采用新型闪电传感器 AS3935 设计雷电定位系统的新方法。当闪电发生时,GPS 模块获取经纬度、高度、时间,AS3935 测量地闪到探测器的距离。探测器把数据打包,以无线 TCP 通信方式传输到中心站。中心站利用多圆相交法计算闪电的经纬度和高度,然后使用 C#语言和 JavaScript 语言在中心站软件上实现定位。Google 地图利用经纬度获取闪电的地址,同时中心站把闪电信息存入数据库。实验表明,该系统定位性能良好,减少了探测器的体积,降低系统成本,适合于实际运用。

关键词:闪电传感器;雷电定位;距离测量;无线 TCP 通信

中图分类号:P415.3 **文献标识码:**B

The Application of a Lightning Sensor in Lightning Location System

DENG Su, SONG Runwu

(Jiangkou County Meteorological Bureau, Jiangkou 554400, China)

Abstract: In order to solve the bulky and inconvenient installation problems of the lightning location system, a new method of LLS based on a new lightning sensor AS3935 is proposed. When lightning happened, longitude and latitude, height, time were obtained by a GPS module, the distance from ground lightning to a detector was measured through AS3935. Detectors transmitted packaged data to a center station via a wireless TCP communication method. The longitude, latitude and height of lightning were calculated by multiple circles intersect method, and the software of center was realized station by using C# and JavaScript language. The Google map obtained the lightning address via longitude and latitude, and the center station saved lightning information to database. The experiment proves that the system has a good position performance, reduces the volume of detectors and system costs, and is suitable for practical use.

Key words: lightning sensor; lightning position; distance measurement; wireless TCP communication

0 引言

雷电是大自然中常见的一种天气现象,容易引发各种灾害,甚至危及人类生命财产安全。贵州雷电发生比较频繁,特别是西南部和赤水地区^[1]。由此可见,雷电的监测显得尤为重要。目前,雷电定位是监测雷电的基本技术手段,国内外对雷电定位系统做了很多研究,其中不少已投入实际环境中使用^[2]。但这些雷电定位系统的探测器普遍体积较大、成本较高、安装困难。本论文研究的新型雷电

定位系统,是通过闪电传感器测量距离、GPS 模块能定位与授时的功能,大大缩小探测器体积、降低探测器成本,而且具有安装方便、自动化程度高的特点。

1 雷电定位原理

通过闪电传感器测出闪电到探测器的距离,探测器内的 GPS 模块获取探测器所在地的经纬度、高度和时间,再根据几何学中的多圆相交于一点的准

则,就能确定闪电的发生位置(图1)。

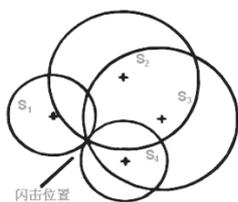


图1 闪电定位原理图

Fig. 1 lightning positioning schematic diagram

闪电定位是在 WGS - 84 坐标系中计算。假如闪电到达 S_1, S_2, S_3, S_4 的位置分别为 d_1, d_2, d_3, d_4 。而 S_1, S_2, S_3, S_4 在 WGS - 84 坐标系中的位置分别为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3), (x_4, y_4, z_4)$, 闪电在 WGS - 84 坐标系中的位置为 (x, y, z) , 根据两点之间的距离公式, 则计算闪电位置的方程组如下:

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} = d_1 \quad (1)$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} = d_2 \quad (2)$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} = d_3 \quad (3)$$

$$\sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} = d_4 \quad (4)$$

对上述 4 个方程先变形, 式(2) - 式(1), 式(3) - 式(1), 式(4) - 式(1), 得到闪电位置坐标的线性方程组, 将方程组写成矩阵形式:

$$AX = L \quad (5)$$

其中

$$A = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ x_4 - x_1 & y_4 - y_1 & z_4 - z_1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$X = (x \quad y \quad z)^T \quad (7)$$

$$L = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}(d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2) \\ \frac{1}{2}(d_1^2 - d_3^2 + x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2) \\ \frac{1}{2}(d_1^2 - d_4^2 + x_4^2 + y_4^2 + z_4^2 - x_1^2 - y_1^2 - z_1^2) \end{pmatrix} \quad (8)$$

把 $AX = L$ 写成另外一种形式:

$$X = A^{-1}L \quad (9)$$

通过计算, 从而获取闪电在 WGS - 84 坐标系中的位置, 再将 WGS - 84 坐标系中的闪电位置转换成大地坐标系, 就能获得经纬度。

2 总体设计

根据设计要求, 雷电定位系统由探测器、中心站、数据库和雷电信息发布平台组成。探测器测量

闪电到探测器的距离, 获取经纬度、时间等信息, 并把这些信息以无线 TCP 方式发给中心站; 中心站通过 TCP 通信接受探测器发来的数据, 然后计算出闪电的位置; 数据库用来保存闪电的经纬度、高度、时间、地址信息; 雷电信息发布平台是一个 B/S 模式的网页, 发布探测到的闪电发生地点, 具体的雷电探测定位系统的结构图如图 2 所示^[3]:

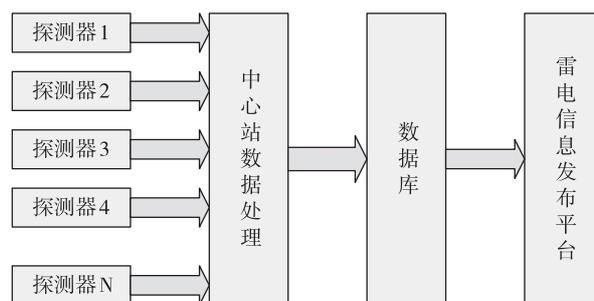


图2 雷电探测定位系统结构图

Fig. 2 structure of lightning detection location system

3 硬件设计

雷电定位系统的硬件主要是探测器的设计。探测器包括 5 个子模块, 分别是微处理器 MSP430F5438 控制器, 闪电传感器 AS3935 的电路, GPS 模块与单片机的接口电路, GSM 数据传输模块与单片机的接口电路, 电源管理电路, 探测器的结构图如图 3 所示。

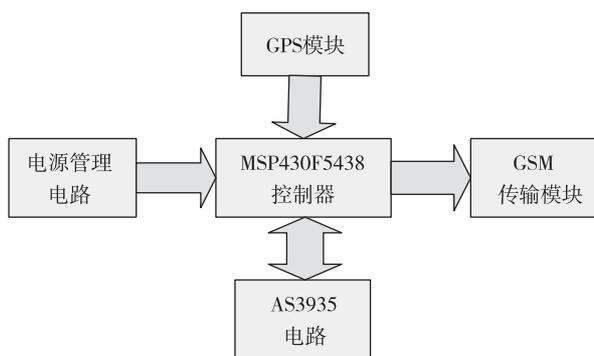


图3 探测器结构图

Fig. 3 detector structure

3.1 控制器的设计

控制器的主芯片采用德州仪器公司的超低功耗单片机 MSP430F5438, 供电电压在 2.2 ~ 3.6 V 之间, 拥有高达 256KB 的程序存储空间, 多达 87 个 I/O 端口, 还有丰富的外设电路, 属于比较高端的 MSP430 单片机。控制器使用 2 个独立的串口和一个 SPI 接口, 其中一个串口接收 GPS 模块发来的数据, 另一个串口发送数据到 GSM 模块; SPI 接口控制 AS3935, 获取闪电距离。

3.2 闪电传感器

闪电传感器采用奥地利微电子公司的推出的内部集成嵌入式智能算法的富兰克林闪电传感器芯片 AS3935^[4]。芯片通过 RF 接收器探测附近是否有闪电的电能释放,并估算风暴前沿到达闪电传感器的距离、识别云闪与地闪。AS3935 探测距离在 1 ~ 40 km 之间,可以消除电机、微波炉等人为干扰信号,且组成获取闪电距离的电路图只需较少的元器件。

AS3935 供电范围分为 2.4 ~ 3.6 V 和 2.4 ~ 5.5 V 两种。当 AS3935 第 6 角 VREG 接高电平时,电压调节器打开,选择 2.4 ~ 5.5 V 供电。MSP430F5438 通过四线式 SPI 总线控制 AS3935。当 AS3935 检测到闪电信号后,产生一个中断信号给单片机,单片机通过响应中断信号,读取寄存器,从而获取闪电到达探测器的距离。图 4 为 AS3935 电路与单片机的接口电路图。

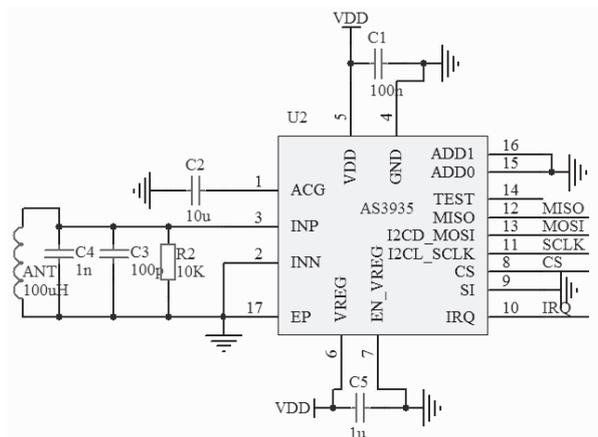


图 4 AS3935 电路图

Fig. 4 AS3935 circuit diagram

3.3 GPS 模块

GPS 模块采用 u-blox 公司设计生产的 NEO-6M 模组,自动定位精度小于 2.5 m,定时精度为 20 ns。模块的供电电压在 2.7 ~ 3.6 V 之间,和单片机的电平匹配^[5]。MEO-6M 模块有 4 种接口传输数据,本系统利用串口传输经纬度、高度及时间信息给单片机。

3.4 GSM 传输模块

GSM 传输模块选用芯讯通无线科技有限公司的 SIM900A,内嵌 TCP 协议,做 TCP 的网络传输。MSP430 单片机通过串口与 SIM900A 建立连接,连接以后就可以通过“AT”命令来进行通信。

4 软件设计

雷电定位系统的软件包括探测与中心站的软

件设计,以及数据库的建立和雷电信息发布平台的设计。

4.1 探测器的软件设计流程

探测器首先初始化硬件,建立 TCP 连接,检测 AS3935 是否有地闪信号。若有,则立即获取探测器的经纬度、高度、时间及闪电到探测器的距离,并把数据打包发送给 SIM900A,由 SIM900A 自动把数据发送给中心站。探测器的程序流程图如图 5 所示:

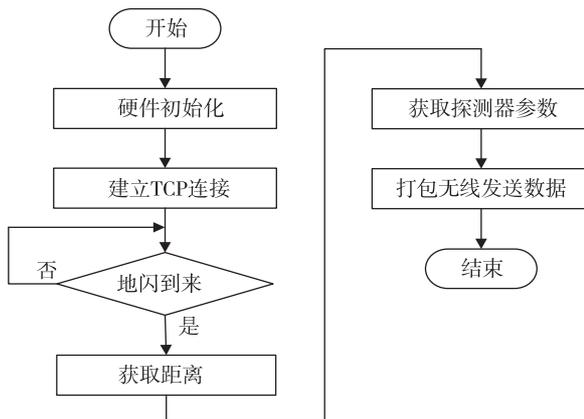


图 5 探测器程序流程图

Fig. 5 detector program flow chart

4.2 中心站程序设计

中心站是一个使用 C#语言开发的控制和数据处理软件。主要工作是建立 TCP 服务器、加载 Google 地图、使用 ADO.NET 技术连接数据库、接受探测器发来的数据、计算闪电的位置以及在 Google 地图显示闪电发生的位置,并把位置信息存入数据库。在计算闪电的位置时,需要在 WGS-84 坐标系中。大地坐标的经度、纬度、高度分别用字母表示为 (L_k, B_k, H_k) ,从大地坐标变换到 WGS-84 坐标 (x, y, z) 的变换公式^[6]如下:

$$x = (N + h) \cos L_k \cos B_k \tag{10}$$

$$y = (N + h) \cos L_k \sin B_k \tag{11}$$

$$z = [N(1 - e^2) + h] \sin L_k \tag{12}$$

N 是基准椭球体的卯酉圆曲率半径, e 是椭圆偏心率, h 是大地高度,它们与基准椭球体的长半径 a 和短半径 b 存在如下关系:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \tag{13}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_k}} \tag{14}$$

反过来,从 WGS-84 坐标系 (x, y, z) 变换到大地坐标 (L_k, B_k, H_k) 的变换公式如下:

$$L_k = \tan^{-1} \left(\frac{y}{x} \right) \tag{15}$$

$$H_k = \frac{p}{\cos B_k} - N \quad (16)$$

$$B_k = \tan^{-1} \left[\frac{z}{p} \left(1 - e^2 \frac{N}{N+h} \right)^{-1} \right] \quad (17)$$

中间变量 p 的计算公式为

$$p = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (18)$$

计算 B_k 和 H_k 时,采用迭代法:首先设置 B_k 等于 0,然后依次计算 N, H_k, B_k ,再将刚得到 B_k 重新代入 17 式,再一次更新 N, H_k, B_k 。如此循环,直到两次求得的 B_k 之间相差一个很小的数就收敛。

4.3 雷电信息发布平台设计

利用 SQL Server 2008 软件建立数据库,存储闪

电的位置信息^[7],使用 ASP.NET 技术构建一个基于 B/S 模式的雷电信息发布网站^[8],并向社会发布最新的雷电信息。

5 测试结果和分析

测试闪电的地点选在雷电多发区—四川雅安市,共 4 个探测站。中心站先把接收的数据显示在界面上,然后通过计算,在界面上显示闪电的经纬度和高度,同时 Google 地图根据闪电经纬度查找闪电发生的具体地址。图 6 为雅安市宝兴县闪电的发生地点。

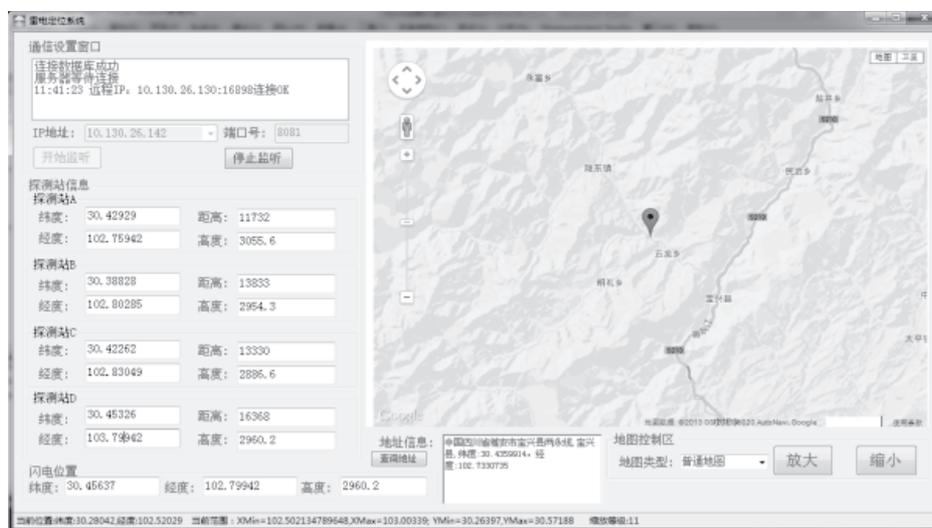


图 6 中心站上位机软件

Fig. 6 upper computer software of central station

经过中心站的数据处理,得到闪电的位置和时间信息以后,中心站会把闪电发生的经纬度、高度、发生的时间以及具体地址一起存入数据库。

闪电定位的精度主要由 AS3935 决定,而 AS3935 能测量风暴前沿的最小距离是 1 km,经过测试,闪电发生的实际位置与计算出来的闪电位置偏差在 1 km 之内,说明 AS3935 测量闪电的距离是比较准确的,即可以将闪电传感器 AS3935 运用在雷电定位系统中,测量闪电到探测器距离,实现闪电定位。

6 结语

本系统充分利用新型闪电传感器 AS3935 测量闪电到达探测器距离的优势,结合 GPS 模块精确定位和授时功能,大大缩减雷电定位系统的成本和体积。本系统具有很好的推广性,可作为雷电监测设计的理想方案之一。另外,本系统的闪电传感器 AS3935 还可以作为便携式闪电探测器,在人们出行

时可以随身携带,方便监测有无闪电发生,从而更好地保护人们的生命和财产安全。

参考文献

- [1] 杨秀庄,卢璐,王宇. 贵州雷电时空分布及强度特征分析[J]. 贵州气象,2008,32(5):6-8.
- [2] 陈星宇,马端良. 闪电定位数据在雷电灾害调查中的应用[J]. 中低纬山地气象,2018,42(1):70-72.
- [3] 黄声锦,彭涛. 雷电定位系统基础分析[J]. 中国科技信息,2008(23):3-5.
- [4] Austriamicrosystems. AS3935 Franklin Lightning Sensor IC [Z]. Austria: ams Inc, 2012. 3.
- [5] U-blox Inc. NEO-6 u-blox GPS Modules [Z]. Switzerland: u-blox Inc, 2010. 2.
- [6] 谢钢. GPS 原理与接收机设计 [M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [7] Robert Vieira, SQL Server 2008 高级程序设计 [M]. 杨华,腾灵灵,译.北京:清华大学出版社,2010.
- [8] 张正礼,王坚宇. ASP.NET4.0 技术从入门到精通 [M]. 北京:清华大学出版社,2011.