

基于 STM32 的北斗导航接收系统的设计

何泓稼, 刘培培*, 蒋艳丽, 江智威

(成都理工大学 信息科学与技术学院(网络安全学院、牛津布鲁克斯学院), 四川 成都 610059)

摘要:为了解决简易北斗导航定位接收系统因地理位置的不同而导致测量误差不稳定的问题,设计了一种基于 STM32 的简易北斗导航定位系统的优化测量方法。其硬件设备主要包括 STM32 芯片、BD-ATGM332D-5N-3X 模块、LCD12864 模块,共同构建简易卫星接收、定位、显示系统的方案;软件设计主要包含导航模块与单片机电路连接原理、系统工作流程、LCD12864 显示模块程序、校正算法介绍等。文中利用所处地理位置影响因素不同,通过加权平均进行补偿计算,并且采用最小二乘法减小误差。通过实验证明,该系统相对于传统的北斗导航工具,经度误差由 0.43% 降至 0.30%,纬度误差由 0.14% 降至 0.08%。该方法具有更好的稳定性,能够减小因地理位置的影响造成的误差。具有简单实用、经济成本低、便于操作等优点。

关键词:STM32; BD-ATGM332D-5N-3X 接收模块; LCD12864; 加权平均计算; 最小二乘法

中图分类号: TP29

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2021)11-0165-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.11.027

Design and Application of Simple Beidou Navigation Receive System Based on STM32

HE Hong-jia, LIU Pei-pei*, JIANG Yan-li, JIANG Zhi-wei

(School of Information Science and Technology (School of Cyber Security, Oxford Brookes College),
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: In order to solve the problem of unstable measurement error of a simple Beidou navigation and positioning receiving system due to different geographical locations, we design an optimized measurement method for the simple Beidou navigation and positioning system based on STM32. Its hardware equipment mainly includes STM32 chip, BD-ATGM332D-5N-3X module, LCD12864 module, building a simple satellite receiving, positioning and display system. The software design mainly includes the principle of navigation module and single-chip circuit connection, system workflow, LCD12864 display module procedures, introduction to correction algorithms, etc. We use the different factors of geographic location to compensate by weighted average, and adopt the least square method to reduce the error. Experiments have proved that compared with the traditional Beidou navigation tool, this system shows that the longitude error is reduced from 0.43% to 0.30%, and the latitude error is reduced from 0.14% to 0.08%. The proposed method has better stability and can reduce the error caused by the influence of geographic location, with the advantages of simplicity, practicality, low economic cost and easy operation.

Key words: STM32; BD-ATGM332D-5N-3X receiving module; LCD12864; weighted average calculation; least square method

0 引言

导航在人类历史的发展进程中一直起着相当重要的作用。早在 20 世纪 60 年代初期,美国政府机构就对三维定位的卫星系统产生兴趣,并于 1964 年成功开发世界上第一个卫星导航系统——子午卫星系统。在这之后,世界各国相继发展并不断完善自己的卫星导航系统,北斗卫星导航系统是中国自主研发、独立运行

的全球导航卫星系统(GNSS),自 20 世纪 70 年代发展至今,现与 GPS、GLONASS 和 Galileo 系统一起被誉为全球四 GNSS。北斗卫星导航系统由空间部分、地面运行控制部分和用户终端部分组成。北斗导航终端设备已在多个领域有实际应用,并在近年的汶川、舟曲救灾过程中发挥了关键作用。国内司南导航、华测导航和芯星通等多家单位不断研究、开发新的北斗导航终

收稿日期:2020-11-09

修回日期:2021-03-10

基金项目:国家自然科学基金青年基金(11905020)

作者简介:何泓稼(1997-),男,硕士研究生,研究方向为 FPGA 技术与应用;通信作者:刘培培(1978-),女,博士,副教授,研究方向为通信信息处理、信息安全。

端设备或接收机,并把各种新技术融入其中,使得北斗卫星终端设备能够适应各种应用需求。

北斗导航具有很好的精度,但是因为地理位置,海拔高低的不同而影响其工作的稳定性。

文中以北斗卫星导航终端设备为主进行分析与研究,在此基础上分析并利用 STM32 进行实践,并且使用最小二乘法减小所测经纬度的误差,使最后的结果更加准确。

1 系统总体设计

北斗导航接收系统主要以 STM32F103C8T6 单片机为核心,以北斗卫星接收模块和 LCD12864 液晶屏为原器件。北斗导航接收系统框图如图 1 所示,具体方案为:当单片机上电时,接收到外界的指令需要输出经度和纬度,调节相应的地理位置服务程序处理后,在显示屏上得到输出的目标。并且可以通过按键刷新经度与纬度的数据,同时显示不同的海拔和时间。根据所要求的功能,可以显示目标所在的经纬度,并且可以通过调试,系统测试之后精准显示目标的位置^[1]。

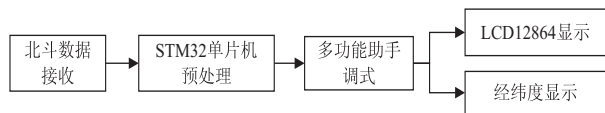


图 1 北斗接收系统框图

2 硬件模块介绍

2.1 STM32F103C8T6 主控模块

STM32F103C8T6 内核——32 位的微控制器系

统,其容量为 64 KB,ARM Cortex-M 性能。启动电压为 1.9 V~3.5 V,工作温度为 35 °C~75 °C。其引脚图如图 2 所示,相关参数如表 1 所示^[2]。

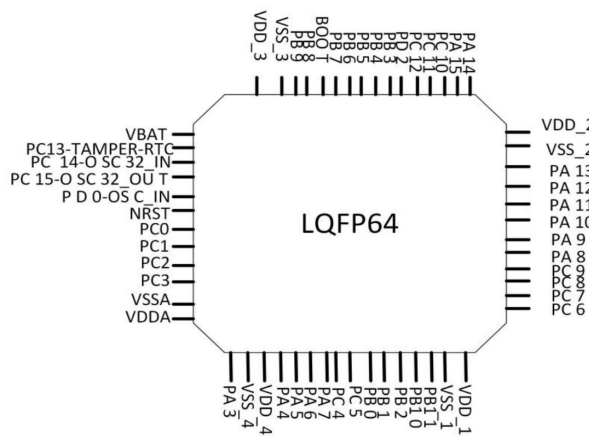


图 2 STM32 引脚

STM32F103 是一种增强型系列,它是由名叫意法半导体的公司所发明的。这个集团使用了性能比较高的处理器,内核的工作频率在 69~73 MHz 之间^[3]。内核存在着高速存储器,加速数据的处理。其中内核含有 128K 字节的闪存,同时含有 20K 字节的 SRAM。内核的优点是增强了 I/O 口的接触性能以及到两条 APB 总线的外设情况。这个类型的所有系列包括 3 个通用的 16 位计数/定时器、PWM 定时器、两个 12 位的 ADC、多个通信接口、一个 CAN、一个 USB、三个 USART 和两个 SPI^[4]。

STM32 拥有的 ARM 核心,与世界上目前所有的 ARM 工具和软件兼容。

表 1 STM32 数据参数

技术参数		封装参数		基本参数	
电源电压(DC)	2.00(V) min	安装方式	Surface Mount	总线宽度	32 位
时钟频率	72.0 MHz	引脚数	48	速度	72 MHz
RAM 大小	20 480 B	封装	LQFP	输入\输出接口数	37
位数	32	外形尺寸	43.8	存储器容量	64 KB
FLASH 内存容量	65 536 B			存储器类型	FLASH

2.2 BD ATGM332D-5N 3X 电路模块

BD ATGM332D-5N 3X 模块是一块北斗 GPS 双模块,在插上电,使用过后,模块的主电源断开,最特别的优点是后备电池可以保存一个小时的北斗数

据。这种性能的优点是以此来支撑温启动和热启动,以至于在显示上实现精确的定位。北斗导航模块共有 5 个引脚,分别是 VCC、GND、TXD、DXD、PPS,其功能如表 2 所示。

表 2 北斗导航模块引脚输出

序号	名称	说明
1	VCC	电源(3.3 V~5.0 V)
2	GND	地
3	TXD	模块串口发送脚(TTL 电平,不能直接接 RS232 电平!),可接单片机的 RXD
4	RXD	模块串口发送脚(TTL 电平,不能直接接 RS232 电平!),可接单片机的 TXD
5	PPS	时钟脉冲输出脚

其中,PPS 引脚的部分要求很严格。而且连接到模块之后,在内部自身状况好的情况下,自带状态指示灯:PPS,这种状态指示灯对需求很严格,PPS 对接 BD ATGM332D-5N 3X 的输出端口,输出端口叫 TIMEPULSE 端口,TIMEPULSE 这个数据端口的性能很强,如其抗输入特性很强。这种输出特性对配置要求很高,通过程序进行默认设置^[5]。可以显示的状态为:PPS(即引脚)。

PPS 静态的条件下,如出厂设置下,有 2 个状态:

(1)持续亮,这个情况表示系统工作,工作但未实

现定位。

(2)黄灯闪烁一段时间,约 100 ms 灭,900 ms 亮。这时模块为安全,表示定位成功。

这样,通过 PPS 指示灯的专门特性,就可以很方便、及时地判断模块的当前状态。

2.3 北斗和单片机连接线模块

根据北斗导航模块的引脚功能,设计出其与单片机的电路连接,BD ATGM332D 上的接口逐一与相应的接口连接:TXD->RXD,RXD->TXD,GND->GND,VCC->VCC(5V),如图3所示。

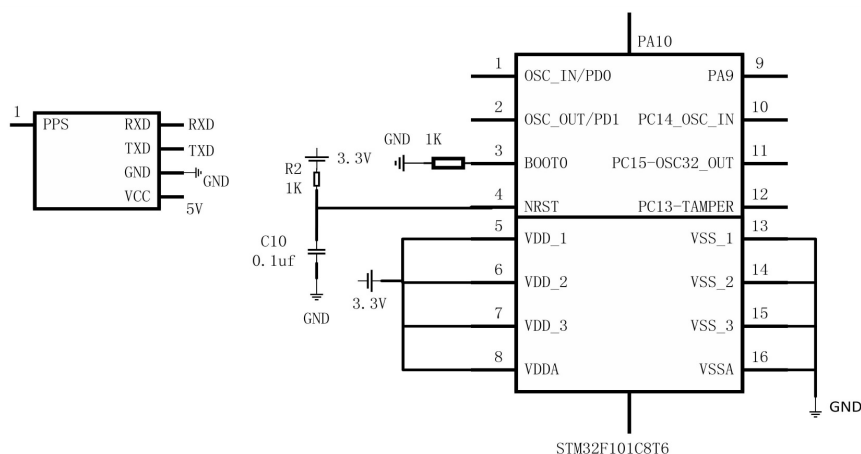


图3 北斗导航模块与单片机电路连接图

2.4 LCD12864 液晶电路设计模块

液晶显示模块可以大大降低数据的不清晰度,在上面显示字母、数字。还有更加突出的中文字型及图

形的特点,可以呈现所需要呈现的大小图。LCD12864 共有 20 个引脚,但只需要 4 个引脚^[6]。LCD12864 性能参数如图 4 所示。

汉字格式	8×4 个(16×16 点阵)	汉字格式	(128(列)×64(行))	中文字型	8 192 个中文字型
三种控制接口	①8 位微处理接口; ②串行接口; ③4 位微处理接口	ROM 字型	内置 2M-位元中文字型 ROM(CGROM)	容量	16K 位的存储容量
绘图区域	64×256 点	图形	可以与文字混合		

图 4 LCD12864 性能参数

3 系统算法设计

3.1 系统主程序设计

通过 Keil 仿真软件以及调试可以初步看到结果,显示器上观察。在 Keil-uVision5 平台上,采用 C 语言编写程序^[7]。北斗导航接收系统采用模块化程序设计,除主程序外,还包括 BD ATGM332D-5N 3X 接收模块程序和 LCD12864 显示模块程序。北斗导航接收系统的主程序如图 5 所示。单片机、串口、12864 初始化之后,接收到传过来的数据,显示在液晶上^[8]。

分析步骤如下:

(1) 电源通电, 系统对 STM32 单片机、串口、LCD12864 进行初始化。

(2) STM32 接收外界的指令需要输出经度和纬

度,调节相应地理位置服务程序处理后,在显示屏上得到输出目标。

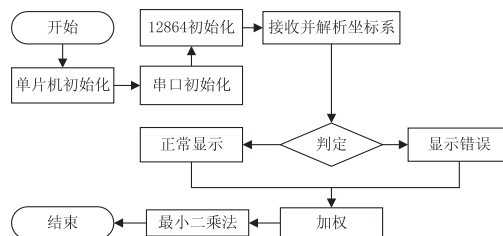


图5 主程序流程

(3)通过按钮刷新经度与纬度的数据,同时显示不同的海拔和时间。

(4)通过调试、系统测试之后精准显示所需要的位置。

(5)将经度和纬度的测量结果进行加权计算,加

权计算公式为:

$$Y = (1 - M/100) \times N_1 + (M/100) \times N_2 \quad (1)$$

其中, Y 为加权计算后的距离, M 为定点到所测距离, N_1 为所测地理位置的经度, N_2 为所测地理位置的纬度。

(6) 将加权计算后的距离带入所求得的线性回归模型, 求出最终结果。

(7) 最终结果的输出包含多种形式, 如可以通过 LCD12864 液晶显示屏幕直接显示所需要的经度和纬度。

LCD 程序流程如图 6 所示。

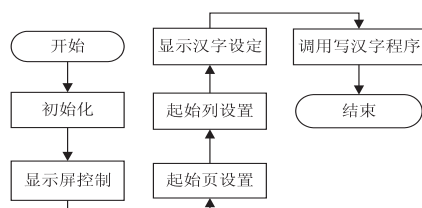


图 6 LCD 程序流程

第一, 把先前的 LCD 模块的 I/O 口设定为输出接口, 设计到需要用哪些输出设置接口, 必须要根据之前所设计的电路图和 LCD 设计的通信模式来确定。

第二, 通过设定的初始化框图的情况, 对 LCD 类似的原器件进行初始化, 以此来开启 LCD 的液晶显示, 这么做是为以后的数字和字符显示打下基础。

第三, 根据设计的程序框图, 将需要显示的字符传递到 LCD, 这样就可以正常显示^[9]。

3.2 最小二乘回归校正算法

目前中国在实际的应用中多采用的是正常高, 而频繁使用的北斗导航定位技术所测量的数据基本上是大地高, 对此需要将北斗导航的大地高转换成正常高。比较传统的多项式拟合法在高程拟合中应用较为广泛, 二次曲面拟合是经过大量实验验证并且精度较好、使用场合最多的一种多项式拟合方法, 但是传统的二次曲面法是基于最小二乘 LS(least square) 原理的, 并不能考虑到系数矩阵中的误差^[10]。为解决这一个问题, 需要引入整体最小二乘法 (total least square, TLS) 和加权整体最小二乘法 (weighted total least square,

WTLS)^[15]。二次曲面拟合的最小二乘法的数学模型为:

$$\delta_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 x_i^2 + a_4 x_i y_i + a_5 y_i^2 \quad (2)$$

文中采用的是—阶最小二乘回归, 故所求的回归模型表达式为:

$$y(x) = jx + a \quad (3)$$

其中, $y(x)$ 为最小二乘回归校正后的距离, x 为经度与纬度之间的误差经过加权计算后的距离, j 、 a 为待确定系数。 j 、 a 的值满足方差 Z 取值最小^[11]。

$$Z = \sum_{i=1}^k (y_i - jx_i - a)^2 \quad (4)$$

其中, y_i 为实际距离, x_i 为测量距离。将式 (4) 分别对 j 、 a 求解偏微分, 并令其为 0, 则 j 、 a 的求解公式为^[12]:

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial j} = -2 \sum_{i=1}^k x_i (y_i - jx_i - a) = 0 \\ \frac{\partial Z}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^k (y_i - jx_i - a) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

利用所测得的数据, 求出 j 、 a 并带入式 (3), 可以解得最小二乘回归模型为:

$$y(x) = 0.223 \ 1 \ x + 0.090 \ 2 \quad (6)$$

4 北斗导航接收系统测试分析

对本地的经纬度测试完成后, 对数据进行整理, 当 STM32 单片机上电时, 通过 BD ATGM332D-5N 3X 接收所在地的经度和纬度^[13], 调节相应的地理位置服务程序处理后, 在 LCD12864 显示屏上得到输出的经纬度^[14]。用 LCD12864 显示的经纬度作为测量数据, 高德地图查询本地的最官方的经纬度数据为真实数据, 最后用文中所提出的公式加以计算得出表 3、表 4 的数据。现实验如下, 以家为定点作为第一组, 以学校为定点作为第二组, 测量经纬度, 对两者数据进行加权, 校正后观察、记录、统计和分析。

根据表 3、表 4, 再对 6 次测量结果进行加取平均值, 第一组经度的平均误差为 0.43%, 纬度的平均误差为 0.14%。第二组经度的平均误差为 0.1%, 纬度的平均误差为 0.09%。

表 3 第一组结果记录

地理位置	测量的数据		真实的数据		相对误差		加权		回归校正	
	纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度
家(0 米)	31.297 440	104.356 380	31.496 419	104.593 603	0.198 979	0.237 223	0.63%	0.23%	0.43%	0.13%
服务社区(10 米)	31.393 195	104.496 500	31.493 520	104.597 260	0.100 325	0.200 76	0.32%	0.19%	0.35%	0.11%
家前小溪(20 米)	31.593 276	104.332 796	31.492 999	104.595 985	0.100 277	0.263 189	0.31%	0.25%	0.35%	0.10%
家前小树(30 米)	31.327 652	104.632 546	31.493 159	104.595 733	0.165 507	0.036 813	0.53%	0.12%	0.27%	0.06%
家前小石(40 米)	31.376 589	104.532 750	31.493 209	104.596 628	0.116 620	0.063 878	0.37%	0.06%	0.30%	0.10%
家前公交站(50 米)	31.628 456	104.614 529	31.493 923	104.593 345	0.134 533	0.021 184	0.42%	0.02%	0.11%	0.03%

表 4 第二组结果记录

地理位置	测量的数据		真实的数据		相对误差		加权		回归校正	
	经度	纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度	纬度	经度	纬度
成都理工大学 北翼楼(0 米)	104.032 756	30.659 452	104.141 250	30.673 845	0.108 494	0.014 393	0.10%	0.04%	0.08%	0.08%
操场(100 米)	104.138 201	30.632 580	104.140 627	30.671 750	0.002 426	0.039 170	0.02%	0.12%	0.10%	0.02%
正校门(500 米)	104.138 825	30.572 916	104.138 219	30.672 756	0.000 606	0.099 840	0.10%	0.32%	0.05%	0.05%
寝室(1 000 米)	104.335 813	30.675 217	104.144 908	30.670 629	0.190 905	0.004 588	0.18%	0.01%	0.11%	0.10%
后校门(5 000 米)	104.053 687	30.662 857	104.151 791	30.681 918	0.098 104	0.019 061	0.09%	0.06%	0.15%	0.06%
图书馆(1 500 米)	104.162 280	30.687 430	104.151 555	30.676 142	0.010 725	0.011 288	0.01%	0.03%	0.01%	0.01%

利用式(6)继续对两组加权后的经度和纬度进行最小二乘回归校正。校正后结果值如表 3、4 所示,对 6 次测量的误差分别取平均值,第一组经度的平均误差为 0.30%,纬度的平均误差为 0.08%。第二组的经度平均误差为 0.08%,纬度平均误差为 0.05%。

由上述计算可以知道,经校正后的第一组经度误差由 0.43% 降至 0.30%,纬度误差由 0.14% 降至 0.08%。第二组经度误差由 0.1% 降至 0.08%,纬度误差由 0.09% 降至 0.05%。实验结果表明,根据所处地理位置的不同而采用加权平均计算减小误差的方法与现有的工具进行比较,可以看出,在目前原有的传统工具的基础上,有效地减小了因地理位置的不同而带来的误差,而且也是可行且有效的,使得结果更加具有稳定性^[15]。

5 结束语

通过实验得出结论,实现北斗导航系统的设计与应用。通过多次测试,最终在这个设计上实现以 STM32F103C8T6 单片机为核心,通过 C 语言编程的方法可以得到定位系统的功能,基本上实现了实时定位的功能,最后在经过加权平均计算和最小二乘法回归算法正确地处理数据,可以使得测量出来的误差更小、更精准。目前北斗卫星导航系统在船舶运输、公路交通、铁路运输、海上作业、渔业作业、森林火灾预防、环境管理监测等领域应用广泛,覆盖部队、公安、海关等其他有特殊指挥调度要求的单位,产生了显著的经济效应和社会效应。北斗的应用规模和范围也随着北斗卫星导航系统功能和性能的不断提高与完善,将逐渐扩大,前景可观。当今世界,数字电子系统越来越先进,集成度越来越高。价格低廉,更好地显示了图像和数字,大大地简化了制作的时间和成本。

参考文献:

[1] 谢永超. 基于 STM32 的“模块化”电子技术综合创新平台的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2020,28(11):256-

259.
[2] 崔 钊. 基于 ARM 的北斗坐标转换模块设计[J]. 中国新通信,2020,22(7):57.
[3] 翁子彬,丁 蔚,彭佳丽. 基于 STM32F103 的一种通用 MCU 编程器[J]. 电子与封装,2020,20(11):68-72.
[4] 王敬平,姜 鑫,褚少鹤,等. 北斗卫星导航系统定位精度研究[J]. 软件,2019,40(10):152-154.
[5] 杨福霞. 北斗/GPS 组合 RAIM 算法研究[D]. 沈阳:沈阳航空航天大学,2018.
[6] 甘韦飞,郑鹏辉. 基于 STM32 监控系统中无人机的设计[J]. 电子设计工程,2020,28(21):188-193.
[7] 张凌雪. 基于 STM32F103 的智能小车设计[J]. 农家参谋,2020(23):106.
[8] 陈 清. 北斗卫星导航着陆系统定位算法改进研究[D]. 广汉:中国民用航空飞行学院,2020.
[9] 王 娟. 基于 STM32 系列单片机的智能手势识别多功能系统[J]. 科技创新与应用,2020(33):43-44.
[10] 闫 飞,王春博,吴永睿,等. 森林 BDS/GPS 组合定位算法与精度分析[J]. 农业机械学报,2019,50(4):221-227.
[11] 王 超,骆德汉,郑 魏,等. 基于 STM32 的嵌入式智能家居无线网关设计[J]. 计算机技术与发展,2013,23(3):241-244.
[12] KANG Guohua, LIU Jianye, ZHU Yanhua, et al. Implementation of GPS/SST/SINS integrated navigation filtering algorithm for ballistic missiles[J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronau, 2015(2):115-118.
[13] DUAN Fang, LIU Jianye, YU Feng. Autonomous navigation technology of LEO satellite based on image displacement [J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronau, 2016(2):165-169.
[14] JING Li. Design of DC motor PID control system based on STM32 single chip microcomputer [J]. International Core Journal of Engineering, 2020, 6(7):47-49.
[15] ZHAO Liang, QU Shaocheng, ZHANG Weigang. Design of multi-channel data collector for highway tunnel lighting based on STM32 and Modbus protocol[J]. Optik, 2020, 213:164388.