

基于 RDSS 和 RNSS 的高精度定位系统设计

郭竹森¹, 张会新¹, 刘宏艺¹, 金丽生², 撒子奇³

(1. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051; 2. 北京航空航天大学 计算通讯研究所, 北京 100074;
3. 上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘要: 针对飞行器或航海船舶的定位问题, 设计了一套基于 RDSS 和 RNSS 的高精度定位系统; 通过对定位、通信模块的选型以及相关技术原理分析, 提出了采用北斗模块实现落点定位的系统设计方案; 系统采用 RNSS 定位, 通过 RDSS 进行通信; 为了提高短报文通信频度, 采用双北斗模块轮流通信的方案设计; 为了应对落点区域以及飞行器飞行过程中复杂的环境, 提高定位和短报文通信质量, 系统使用了 10 W 的 PA 功率放大模块, 对 RDSS 通信信号进行放大; 定位系统由信标机和地面接收设备两部分组成; 信标机负责定位和 RDSS 通信, 地面接收系统负责处理数据实现残骸的落点定位; 系统经实际应用检测, 可以将通信频度由原来的 1 次/min 提高至 2 次/min 的, 通信丢包率小于 5%; 系统采用 GPS/北斗双模定位技术, 定位精度最高可以优于 5 m; 信标机内部设计了充电电路, 可以反复给设备充电, 大容量锂电池保证信标机可以长时间工作, 最长工作时间可以达到 3 h; 该系统解决了飞行器、航海船舶定位问题, 具有实时性强、通信频度高、定位精度高、体积小、适用强和发射功率大等特点。

关键词: 卫星无线电导航系统 (RNSS); 卫星无线电测定业务 (RDSS); 定位系统; 北斗; 短报文

Design of High Precision Positioning System Based on RDSS and RNSS

GUO Zhusen¹, ZHANG Huixin¹, LIU Hongyi¹, JIN Lisheng², HAN Ziqi³

(1. State Key Laboratory of Electronic Testing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2. Beijing Jinghang Research Institute of Communication, Beijing 100074, China; 3. School of Medical Instrument and Food Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A high-precision positioning system based on RDSS and RNSS is designed for the positioning of aircraft or marine vessels. Through the analysis of positioning, communication module selection and related technical principles, the system design scheme of using Beidou module to achieve drop-off positioning is put forward. The system uses RNSS positioning to communicate through RDSS. In order to improve the frequency of short message communication, the scheme design of rotating communication of dual Beidou module is adopted. In order to cope with the drop-off area and the complex environment during the flight of the aircraft and improve the quality of positioning and short message communication, the system uses a 10W PA power amplification module to amplify the RDSS communication signal. The positioning system consists of beacon machine and ground receiving equipment. Beacon machine is responsible for positioning and RDSS communication, ground receiving system is responsible for processing data to achieve the location of debris. The system can be detected by practical application, the communication frequency can be increased to 2 times/min, the communication drop rate is less than 5%, and the system adopts GPS/Beidou dual-mode positioning technology, the positioning accuracy can be better than 5m. Beacon machine designed with internal charging circuit, can repeatedly charge the device, large-capacity lithium battery can ensure that beacon machine can work long hours, the maximum working time can reach 3h. The system solves the problem of aircraft and marine ship positioning, which has the characteristics of strong real-time, high communication frequency, high positioning accuracy, small size, strong application and high transmission power

Keywords: RDSS (radio determination satellite service); RNSS (radio navigation satellite system); positioning system; Beidou; short text messages

0 引言

随着科技的高速发展, 定位技术愈加成熟, 日臻完善的今天, 同样存在许多难题, 尤其是在航空航天领域, 以及航海领域。

由于飞行测试的增多和航海领域的发展, 面对复杂环

境下的飞行器和航海机械的定位仍然是一个难题。由于环境的高度复杂性, 给定位和通信造成了极大的困难^[1-2]。因此研究出一个可以在高度复杂环境下可以实现定位和通信的系统迫在眉睫^[3-4]。国外常使用雷达定位、卫星定位等技术及进行定位。国内经常使用信标机定位的方式进行定位。从一开始的 GPS 定位, 到现在使用的北斗导航卫星定位,

收稿日期: 2021-03-04; 修回日期: 2021-03-31。

基金项目: 国家自然科学基金杰出青年基金(61525107)。

作者简介: 郭竹森(1994-), 男, 山西长治人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式北斗导航定位方向的研究。

张会新(1980-), 男, 黑龙江牡丹江人, 博士, 副教授, 主要从事抗过载存储技术及动态测试技术与仪器方向的研究。

引用格式: 郭竹森, 张会新, 刘宏艺, 等. 基于 RDSS 和 RNSS 的高精度定位系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 176-180, 216.

再到 GPS/北斗混合定位, 定位精度越来越高。并且北斗卫星导航系统自带的短报文通信方式通信成功率可以达到 95%, 并且在海事领域, 已经得到了很好的应用, 同时北斗卫星导航系统在水文监测, 灾害监测等方便使用广泛^[5-7]。在同类研究中, 为了减小功耗, 增加系统的工作时间, 多使用 5 W 的北斗模块和卡切换方式来提高通信频度的设计方案。但是, 这样的设计在较为复杂的工作环境中存在一定的缺陷。一旦处于复杂的环境中, 通信的成功率将变得很小。较之前的方案设计, 文章设计的定位系统, 采用双北斗模块轮流工作的方式来提高通信频度, 并使用 10 W 的 PA 功率放大器, 使得整个系统在更加复杂的环境中都可以正常工作。即使出现单一模块损坏, 另一个模块也能够继续正常工作, 给飞行器和船舶等大型机械充足的定位通信提供安全保障。

1 系统结构及原理

1.1 定位系统整体结构

如图 1 所示, 该定位系统由信标机和地面接收设备两部分组成。信标机内部的通信定位模块集成了 RDSS 和 RNSS, 安装于飞行器和航海机械上。信标机通过 RNSS 以双模定位技术实现定位^[8-11], 之后将位置信息通过 RDSS 以短报文的形式发送至地面接收设备, 地面接收设备将短报文解算之后再传送至 PC 端处理、显示, 最后实现飞行器和航海机械的定位^[12-14]。信标机由主控单元、通信定位模块和电源模块组成; 电源模块由锂电池充电模块、断电模块、供电模块三部分组成; 地面接收设备由两台北斗短报文接收机和电脑组成。定位系统主要实现定位和通信两大功能。

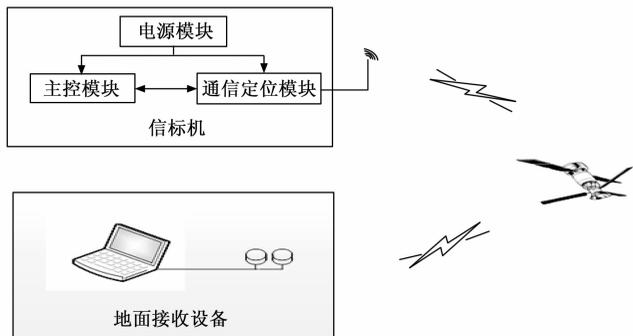


图 1 总体方案示意图

信标机通过 GPS/BD 双模定位技术实现对当前位置信息的获取^[15], 可以实现快速精准定位。为防止由于外界干扰或信号较弱等因素降低通信的成功率, 系统采用了双北斗模块轮流通信的设计, 两个北斗模块独立工作, 互不干扰。

此外, 该定位系统选用的北斗模块内部含有 10 W 功率放大模块, 用以短报文发送, 相较于市场上的 5 W 的模块, 该模块更加适用于飞行器、船舶等工作环境较为复杂的大型机械。在同等条件下, 该模块在通信质量上更加出色。

该系统的技术特点和优势主要有 4 个: 1) 通信频度高, 在北斗民用 SIM 卡一分钟内最大的通信频率为 1 次/

min 的前提下, 系统通信频率提升至 2 次/min, 提高了信标机通信成功率; 2) 定位精度高, 在采用 GPS/BD2 组合定位方法基础上, 对两个模块的定位信息进行处理, 减小误差, 在四周无明显遮挡的环境下, 定位精度可以优于 5 m; 3) 通信时, 短报文经过 10 W 的功放模块进行功率放大, 增加了通信的可靠性, 可以适用于更加复杂的环境; 4) 系统使用双模块进行通信, 比使用双卡切换的设计要更具安全性, 双模块提供双份的保障。

1.2 定位原理

北斗二号导航卫星定位方式不再采用北斗一号所使用的主动式双向测距的定位方式, 改用与 GPS 相同的单向测距三维导航。GPS 系统较北斗系统在北和高程方向上表现要好, 北斗导航系统则是在东西方向上由于 GPS, 因此, 本系统采用北斗和 GPS 组合定位的方法降低定位误差, 提高定位效果。

信标机采用 GPS 和北斗双模定位, 有两种工作模式, 分别是单模工作模式和组合工作模式。在单模工作模式下, 系统单独由北斗或者 GPS 进行定位; 在组合工作模式下, 由北斗和 GPS 共同实现定位。在组合工作模式中, 又分为两种工作模式, 分别是单模定位结果融合和伪距融合。两种融合方式在位置解算和定位精度上存在很大的不同。

如图 2 所示, 定位结果融合是将两个系统独立计算得出结果通过加权处理组合得到最终结果, 但是由于两个系统的定位精度不同, 对于权重很难确定, 因此对于加权得到结果, 其精度难以保证的。



图 2 结果融合

如图 3 所示, 伪距融合是将北斗和 GPS 的伪距进行联合观测, 同时, 将两个系统的时间差纳入, 组成联合方程组。通过解算两者联合后的方程组就可以得到信标机精确的位置结果。

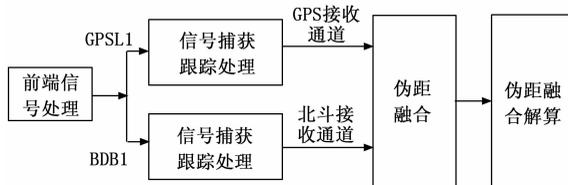


图 3 伪距融合

联合后的伪距方程会引入新的时间系统差未知因子, 组合后的方程将含有 5 个未知参数。伪距融合能够将北斗系统和 GPS 系统的优势结合起立, 实现更加精确的定位。联合后的方程如式 (1) 所示:

$$\begin{cases} R_{r-GPS} = f(x_r, y_r, z_r, \delta t_r) \\ R_{r-BD} = f(x_r, y_r, z_r, \delta t_r, \delta t_{GPS-BD}) \end{cases} \quad (1)$$

1.3 短报文通信原理

北斗短报文通信系统由空间系统、地面系统和用户系统 3 部分组成, 如图 4 所示。

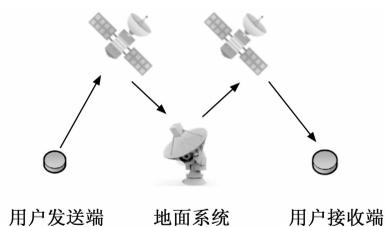


图 4 短报文传输流程

发送端将短报文加密后发送至卫星, 卫星收到短报文后根据接收端的地址进行广播, 经广播进入地面中心, 地面中心解密再加密后再次转发给卫星, 该卫星再次进行广播, 接收端收到广播的短报文消息后, 进行解密, 完成一次通讯。北斗可以实现双向通信功能, 即用户与用户、用户与中心控制系统间可实现双向简短数字报文通信, GPS 只有单向的, 这是北斗的优势。

2 硬件设计

2.1 主控模块设计

主控模块选用 ST 公司的 STM32F0 系列低功耗单片机, 主要负责与定位通信的模块的通信以及信息处理和供电控制。该单片机拥有 6 路 UART, 满足总体方案所需要的 4 路 UART, 通过与北斗模块通信, 将 RNSS 的定位信息进行提取、编帧, 随后通过 RDSS 发送至地面短报文接收机。

2.2 定位通信模块硬件设计

定位通信模块内部包括两个北斗模块, 该北斗模块选用北斗星通公司开发的一款集成了 RDSS 和 RNSS 功能的双模模块。模块内部集成了高性能 RDSS 射频接收芯片、10 W 输出功率的功放模块、北斗专用 RDSS 基带电路, 以及一款国产 BD2 B1/GPS L1 小型化导航定位模块, 可实现 RDSS 定位、通信功能和 RNSS 导航定位等功能。该模块集成度高、功耗低、对外接口非常简单, 且与常见模块接口兼容, 在使用上非常方便。模块使用 12 V 和 5 V 供电, 接口以及周围电路如图 5 所示。

短报文发送时, 单片机将已编帧信息通过串口发送至基带处理部分并转化成 RDSS 基带数据, 经过信号调制、变频等操作处理后, 将数据信息调制为 L 频段信号, 最后在 10 W 功率放大器作用下对信号进行放大, 通过外置无源天线 TX 端对信号进行发送。短报文发送模式为突发模式。北斗模块 RDSS 原理如图 6 所示。

北斗模块内部通过 RNSS 进行定位。RNSS 包括 GPS 和北斗两部分, 既可以使用二者其一进行定位也可以采用 GPS 和北斗组合的方式进行定位。外部天线使用双模天线, 接收到信号后, 先由噪声放大器进行滤波、噪声放大等相关处理后, 进行 A/D 转换为中频信号, 接着通过基带信号处理电路输出定位信息。内部原理如图 7 所示。

在频段划分中, 北斗 B1 和 GPS 的 L1 信号频谱重叠,

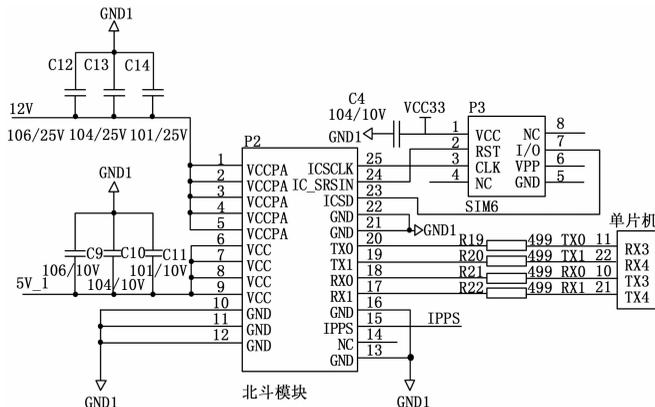


图 5 定位通信模块接口及周围电路



图 6 北斗模块 RDSS 原理框图



图 7 北斗模块内部 RNSS 原理框图

两个系统发射信号又都采用右旋圆极化方式, 因此可以使用同一根天线, 因此, RNSS 中的 GPS 和北斗采用一根双模天线便可以工作。同时, 两个系统采用相同的 CDMA 扩频技术, 相关通道也可以兼容的。

北斗模块通过 3 根高频电缆连接天线, 天线选用嘉兴佳利电子股份有限公司开发的 A-011&GPS 型号天线, 该天线由 3 个高频接口, 分别是北斗上行发送接口 L, 下行接收接口 S, 以及混合定位所使用的 B1L1 接口。天线频点和极化形式如表 1 所示。

表 1 天线频点及极化方式

频点	频率	极化形式
L	1 615.68 MHz±4.08 MHz;	左旋圆极化
S	2 491.75 MHz±4.08 MHz;	右旋圆极化
B1 L1	1 575.42 MHz±2 MHz;	右旋圆极化

2.3 供电模块设计

供电模块由两部分电路组成: 一是外部供电电路; 二是锂电池充电电路。系统供电主要由锂电池供电, 在外部供电在测试阶段可以对锂电池进行充电, 也可以对系统进行供电。

供电原理如 8 图所示, 锂电池和外部供电经过 DCDC 输出 12 V 直流电压, 然后进行二次电压变换, 同时对北斗模块内部 PA 电路进行供电。采用 CW001M 芯片单独为北斗模块提供 3 A 的大电流; 采用 78D05 芯片为其他模块进

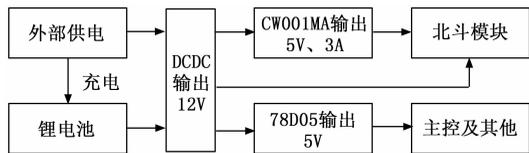


图 8 供电模块原理框图

行供电。设计按需供电, 减少功耗, 延长系统工作时间。

2.4 充电模块设计

定位装置独立工作的时候采用 3.4 Ah 的锂电池供电, 在锂电池电量耗尽时需要对其进行充电。文章中设计采用 BQ24650 芯片对锂电池进行充电, 输入电压为 15 V, 芯片输出的最大充电电压为 12.6 V。充电电路如图 9 所示, 充电芯片采用恒流恒压分阶段充电的方式对锂电池进行充电。

BQ24650 是一个高度集成的开关模式电池充电芯片^[16-17]。它提供了一个恒频同步 PWM 控制器, 具有高精度的电流和电压调节, 可对充电进行预处理、终止和状态监测。它提供输入电压调节, 当输入电压低于程序设定的水平时, 它降低充电电流。

BQ24650 分三阶段给电池充电: 预处理阶段、恒流充电阶段、恒压重带阶段。当电流达到快速充电速率的 1/10 时, 充电终止。充电电压可通过电阻 R32 和 R33 的比值进行调节, 充电电流可通过调节 R_{SR} 的阻值进行设置。

2.5 电池供电控制电路设计

外部供电开关打开后, 继电器在主控模块的控制下主动闭合, 此时, 外部给锂电池充电, 且供给设备用电。外部供电断开后, 装置独立工作, 此时由锂电池供电。此时就需要断电控制电路来控制锂电池断电。

断电控制电路主要通过继电器实现^[18-19]。继电器选用宏发继电器 HF49FD, 该继电器是小型中共旅继电器, 拥有 5 A 触点切换能力、高灵敏度。当继电器闭合时, 锂电池供电; 反之, 则断开锂电池供电。断电信号 Lictr 由单片机给出, 通过一个三极管实现对继电器的控制。电路原理

如图 10 所示。当 Lictr 为高电平时, 三极管导通, 此时, D3 左右两侧的电势差为 5 V, 达到继电器闭合条件; 反之, 继电器则断开。断电时, 单片机将 Lictr 置低, 实现锂电池断电。

2.6 地面短报文接收终端

地面接收机使用 FB-CZ-01 通用型 10 W 北斗二代短报文通信终端, 拥有自检、定位、通信功能, 待机功耗 ≤ 2 W, 可使用 +12~30 V 电压供电, 拥有 RS232 通信接口, 默认波特率为 115 200。接收到信标机发送的短报文之后, 负责解算短报文, 并将解算结果通过 RS232 通信接口传输至 PC 端的上位机显示。

3 系统软件设计

3.1 信标机软件设计

信标机上电后, 单片机开始初始化, 使能两个定位通信模块开始工作, 随后定位通信模块内部的 RNSS 开始获取位置信息并将之传输给主控模块。主控对位置信息进行提取、编帧, 随后通过模块内部的 RDSS 以短报文的形式发送至地面北斗短报文接收机, 经接收机传输到 PC 端进行解析、显示。两个北斗模块独立工作, 在定位时和与主控通信时互不干扰; 使用的北斗通讯卡是 60 s 卡, 一分钟只能发送一次短报文信息。定位系统内部两个北斗模块 (A 和 B) 分别装有一张 60 s 的北斗通讯卡, 为了提高短报文的通信频度, 因此采用双北斗模块交替发送的通信方式。每次短报文发送间隔 35 s, 由于地面接收系统内部包含了两个 RDSS 短报文接收模块 (R1 和 R2), 因此采用 A-R1, B-R1, A-R2, B-R2 的方式实现定位系统和地面接收系统的通信, 通信逻辑如图 11 所示。由于北斗模块是交替发送, 因此单个模块发送短报文的时间间隔为 70 s, 大于北斗通讯卡发送的间隔时间 60 s, 提高了通信频度。信标工作流程如图 12 所示。

3.2 定位信息处理

北斗二号导航系统通信输出协议是在 NMEA-0183 基

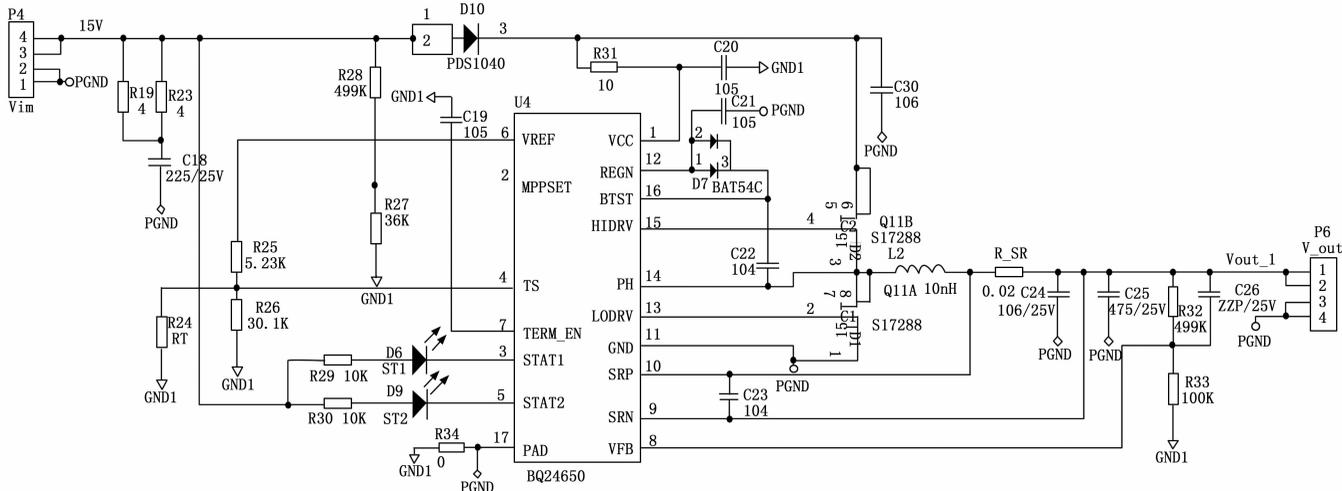


图 9 充电电路原理图

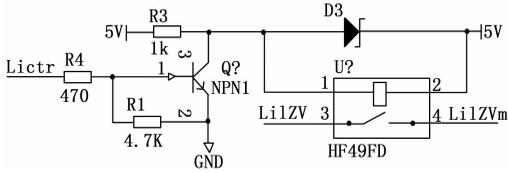


图 10 断电控制电路

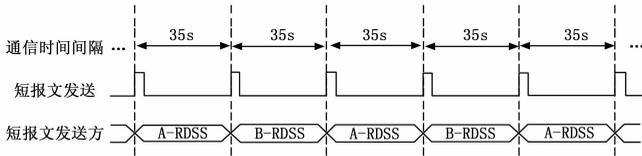


图 11 短报文通信逻辑

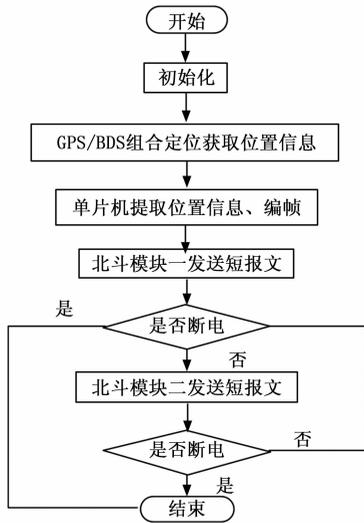


图 12 信标机工作流程

所以在试验时，主要针对这两点功能进行测试。在测试时，首先选择一处空旷且无明显遮挡的地方进行测试。将设备的天线放置在朝南的地方，且与水平面的夹角为 45°左右，连续长时间不间断测试，测得的数据显示在 PC 端的上位机软件上。

上位机原始数据如图 14 所示，从图中可以看出：

- 1) 定位系统能够正常工作，即可以实现定位和通信；
- 2) 通信频度在民用 SIM 卡 1 次/min 的前提下提高至 2 次/min。

```

H[2020-06-08 17:10:16][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 84 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 39 38 31 38 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:10:43][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 83 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 36 38 38 35 36 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:11:17][2] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7E 60 06 46 84 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 36 38 33 31 32 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:11:52][2] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7E 60 06 46 83 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 37 31 38 35 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:12:28][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 84 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 33 35 33 32 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:14:12][2] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7E 60 06 46 83 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 33 35 31 31 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:14:49][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 84 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 33 34 38 39 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:15:24][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 83 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 35 33 36 31 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:15:58][2] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7E 60 06 46 84 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 35 34 36 33 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:16:32][2] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7E 60 06 46 83 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 35 33 32 39 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:17:09][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 84 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 35 33 36 31 31 32 32 36 2E
H[2020-06-08 17:17:44][1] 24 54 58 58 58 00 3A 0E 28 7D 60 06 46 83 00 00 01 30 33 38 30 2E 38 35 35 33 37 30 31 31 32 32 36 2E

```

图 14 信标机接收原始数据

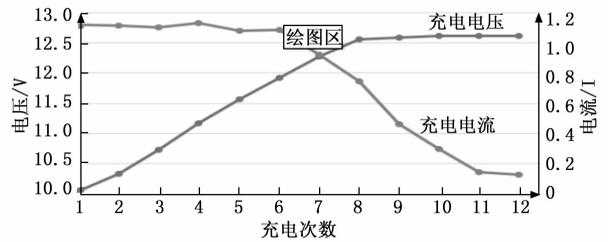


图 15 充电测试实验结果

础上进行扩展的^[20-21]，其规则定义基本相同，但在输出的命令标识有所区别，GPS/BD2 双模定位的命令标识 GN。因此在单片机初始化之后，会通过串口配置北斗模块只输出定位信息，且输出标识为 GNGGA，数据包含经纬度，高度等信息，且中间用“，”隔开，所以在提取数据时以“，”为分隔标志对数据进行提取，如图 13 所示。在单片机提取定位信息后，与其他的信息一同编帧，之后，通过 RDSS 以短报文的形式将定位信息发送至地面接收。随后上传至 PC 端的上位机，根据帧结构进行解析后显示定位目标的地址。

```

$GNGGA,013304.000,3800.8639,N,11226.7575,E,1,14,2,1,819.0,M,0.0,M,,*78
$GNGGA,013305.000,3800.8592,N,11226.7585,E,1,16,1,1,827.2,M,0.0,M,,*7A
$GNGGA,013305.000,3800.8639,N,11226.7575,E,1,14,2,1,819.0,M,0.0,M,,*79
$GNGGA,013306.000,3800.8592,N,11226.7585,E,1,16,1,1,827.2,M,0.0,M,,*79
$GNGGA,013306.000,3800.8639,N,11226.7575,E,1,14,2,1,818.9,M,0.0,M,,*72
$GNGGA,013307.000,3800.8592,N,11226.7585,E,1,16,1,1,827.2,M,0.0,M,,*78

```

图 13 GNGGA 数据

4 测试结果与分析

对于定位系统而言，最重要的是定位和通信两大功能，

为了检测系统定位结果和精度，在一空旷无遮挡的区域进行多次不间断测试，之后对测试数据进行处理，得到如表 2 和图 15 所示的测试结果。据表中数据可以得出：系统总体误差优于 5 m，满足系统设计要求。系统单独供电时，工作时长统计如图 16 所示，根据图 16 可以得出，系统单独供电时长可以达到 3 h，满足系统设计。

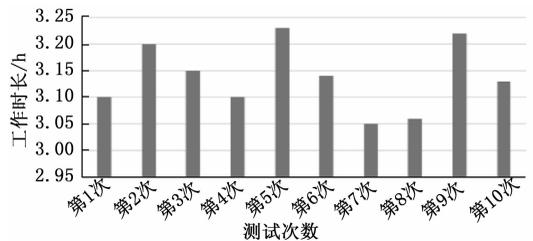


图 16 定位装置工作时长统计图

5 结束语

文章设计的基于 RDSS 和 RNSS 的定位系统，在实际应用中，不仅能够安全稳定环境中工作，而且在一些较为复杂的环境中，也能够提供目标精确的位置信息，保证

(下转第 216 页)