

基于正交频分复用的低轨卫星移动通信同步控制系统设计

韩芳, 李资, 王红梅

(新疆工程学院 信息工程学院, 乌鲁木齐 830023)

摘要: 低轨卫星移动通信信息存在复用保护间隔, 为实现对传输数据信息的精准定位, 设计基于正交频分复用的低轨卫星移动通信同步控制系统; 设置电源管理模块, 初步协调 BDG-MF-OS 型卫星终端与 ZIGBEE 无线数据传输模块, 将卫星通信信息反馈至网络与显示模块, 实现低轨卫星移动通信同步控制系统的硬件设计; 建立同步信号模型, 通过信号调制解调的方式, 完善待处理通信信息的复用保护间隔与循环前缀, 实现正交频分复用处理的关键技术研究; 分包处理通信数据, 借助已知的短报文通信模式, 连接同步通信协议, 完成低轨卫星移动通信同步控制; 与北斗型通信控制系统相比, 正交频分复用技术作用下, 低轨卫星的移动通信能力得到强化, 较好地满足精准定位传输数据信息的实际应用需求。

关键词: 正交频分复用; 低轨卫星; 移动通信; 同步控制; 同步信号模型; 调制解调; 短报文通信模式

Design of Synchronous Control System for Low Orbit Satellite Mobile Communication Based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing

HAN Fang, LI Zi, Wang Hongmei

(Department of Information Engineering, College of Information Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China)

Abstract: In order to realize the accurate positioning of the transmitted data information, a synchronization control system of LEO satellite mobile communication based on orthogonal frequency division multiplexing is designed. Set up the power management module, initially coordinate the BDG-MF-OS satellite terminal and ZigBee wireless data transmission module, feedback the satellite communication information to the network and display module, and realize the hardware design of LEO satellite mobile communication synchronization control system. Establish the synchronous signal model, improve the multiplexing protection interval and cyclic prefix of the communication information to be processed through signal modulation and demodulation, and realize the key technology research of orthogonal frequency division multiplexing processing. With the help of the known short message communication mode, the synchronous communication protocol is connected to complete the synchronization control of LEO satellite mobile communication. Compared with the Beidou communication control system, the mobile communication capability of LEO satellite is strengthened under the effect of orthogonal frequency division multiplexing technology, which can better meet the practical application requirements of accurate positioning and transmission of data information.

Keywords: orthogonal frequency division multiplexing; low orbit satellites; mobile communication; synchronous control; synchronous signal model; modulation and demodulation; short message communication mode

0 引言

正交频分复用是一种常见的多载波调制手段, 其主要应用思想为: 通过通信网络均分传输信道为子信道, 转换高速信号为并行或者直行的数据流, 保证子信道充分接收传输信号^[1]。通过信号处理技术区分接收端设备正交信号, 降低子信道之间相互干扰。通常情况下, 核心信道相关带宽值高于子信道带宽, 子信道传输行为状态表现为平坦型衰落, 这也是频分复用技术能够消除数据间干扰影响的主

要原因^[2]。子信道带宽与原信道带宽相比, 只达到一部分, 故而正交频分复用技术支持下的信道均衡处理就显得相对较为容易。

低轨卫星通信建立固定用户与移动用户、移动用户与移动用户之间的关系, 与地球同步轨道相比, 实际运行轨道较低^[3]。传统通信控制系统无线通信数据信号传输载体为 Z-Stack 协议栈, 通过 MQ-2 烟雾传感器以及温湿度传感器, 结合 Arduino 主控中心组织服务器集群。然而此系统对于低轨卫星移动通信同步导航能力的促进作用相对有

收稿日期: 2021-03-31; 修回日期: 2021-05-18。

基金项目: 教育厅教育改革项目(PT-2021063)。

作者简介: 韩芳(1978-), 女, 甘肃武威人, 硕士研究生, 副教授, 主要从事物联网工程、计算机网络方向的研究。

引用格式: 韩芳, 李资, 王红梅. 基于正交频分复用的低轨卫星移动通信同步控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(8):

119-124.

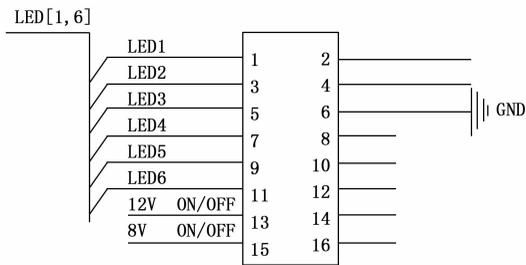
限, 很难实现对传输数据信息的精准定位。为解决此问题, 引入正交频分复用技术, 设计一种新型的低轨卫星移动通信同步控制系统, 在 BDG-MF-OS 型卫星终端、ZIGBEE 无线数据传输模块等多个硬件设备结构体的支持下, 对同步信号模型的复用保护间隔与循环前缀进行完善, 再通过通信数据分包的方式, 实现同步通信协议与控制应用系统之间的实用性连接。

1 低轨卫星移动通信同步控制系统硬件设计与实现

低轨卫星移动通信同步控制系统的硬件执行环境由电源管理模块、BDG-MF-OS 型卫星终端、ZIGBEE 无线数据传输模块、网络与显示模块共 4 部分共同组成, 具体设计与实现流程如下。

1.1 电源管理模块

低轨卫星移动通信同步控制系统的电源管理模块以 Arduino Mega 2560 主控板作为核心供电设备, 可在正交频分复用状态下, 对电源状态进行实时显示与监控。Arduino Mega 2560 主控板拥有 16 个完全独立的输出管脚, 在用 8 V、12 V 并列连接的供电调试模式^[4]。其中, 8 V 惯脚可对内部锂电池进行供电, 12 V 惯脚可对外部同步电池设备进行供电。LED [1, 6] 传输信道可同时读取低轨卫星电池内的存储电压值, 并可实时显示系统现阶段所处的电量状态, 当存储电量不足时, GND 输出端的蜂鸣器设备会发出报警信号, 以提醒移动通信网络所处的非同步传输状态, 为最大限度节省系统内的传输电子量, Arduino Mega 2560 主控板会在连接初期启动同步睡眠模式, 平均睡眠时间可达 8 s, 也可在此过程中, 通过串口设备将电池结构的状态实时发送给电源管理模块的主控中心。



Arduino Mega 2560 主控板

图 1 Arduino Mega 2560 主控板供电形式

蜂鸣器电路作为电源管理模块的附属执行结构, 可在频分信号放大器设备的作用下, 对主控板供电端输出的电子量进行整合与协调处理, 再借助 R、C、D、Q 四类电子消耗元件, 实现对正交频分复用信号的全局化调度^[5]。

1.2 BDG-MF-OS 型卫星终端

BDG-MF-OS 型卫星终端集电源稳压、信号定位、通信显示等多重功能于一体, 可在电源管理模块的作用下, 与系统控制主机建立报文通信关系。此外, 由于低轨卫星定位导航功能的存在, 正交频分复用信号在系统同步信道

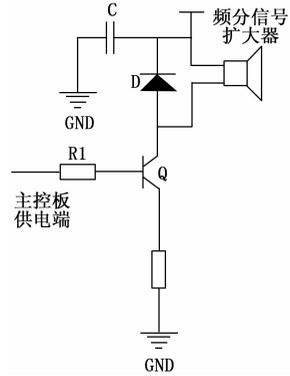


图 2 蜂鸣器电路

内始终不会迷失传输方向, 这也是新型通信控制系统具备较强同步性能的主要原因。在低轨卫星的作用下, BDG-MF-OS 型移动通信接收站可同步调试系统下级连接的远端卫星站与近端卫星站, 并可在遵循正交频分复用原理的同时, 对同步通信终端的连接能力进行初步约束。BDG-MF-OS 型卫星终端的移动通信接收站可借助串口对低轨卫星的通信能力进行控制, 再借助同步通信协议, 完善正交频分信号的复用保护间隔与循环前缀^[6-7]。若从功能性角度来看, 低轨卫星作为 BDG-MF-OS 型卫星终端的核心设备元件, 可接收系统控制主机输出的同步信号, 并可通过远端卫星站与近端卫星站, 将信号参量平均分配至下级通信终端设备之中。由于正交频分复用原理的存在, 卫星移动信号在传输过程中需要先后经历多个供电节点, 出于连接稳定性考虑, 节点设备可自行对传输信号中的卫星信息进行过滤。

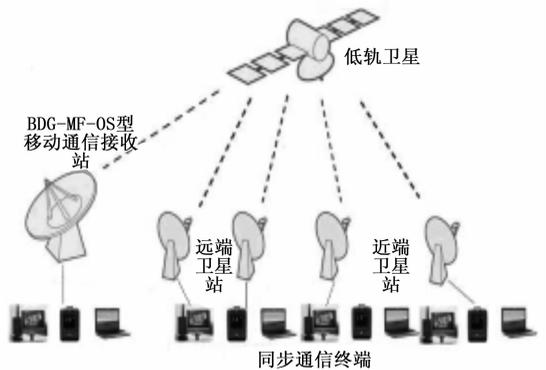


图 3 BDG-MF-OS 型卫星终端示意图

1.3 ZIGBEE 无线数据传输模块

ZIGBEE 无线数据传输模块采用一块底层主板作为低轨卫星移动通信同步信号的采集子节点, 并可在电阻与芯片设备的配合作用下, 配置完整的 Zigbee 无线网络环境, 从而实现正交频分复用信号的无线化传输。Zigbee 无线网络的搭建始终遵循 Zigbee 协议栈的原语传输形式, 可在接收正交频分复用信号的同时, 按照低轨卫星所处的实时通信位置, 向上层移动设备发起原语连接请求或原语指示请求, 并将所记录信息结果反馈至 BDG-MF-OS 型卫星终端

主机之中^[8-9]。由于 ZIGBEE 芯片设备的存在, 协议栈原语的定义过程就显得极为复杂, 需要 Arduino Mega 2560 主控板、蜂鸣器电路、应用电阻等多个设备元件的共同作用, 才可实现由节点软件到执行指令的转换。因没有其他控制设备的存在, 电阻结构体直接掌控 ZIGBEE 无线数据传输模块中的信息调度行为, 但其实际电压与电流消耗能力, 则始终受到系统电源管理模块的影响。根据数据 ID 码的不同, 可分为标准帧和扩展帧两部分。用于发送节点向接收节点传输数据。其数据帧结构如图 4 所示。

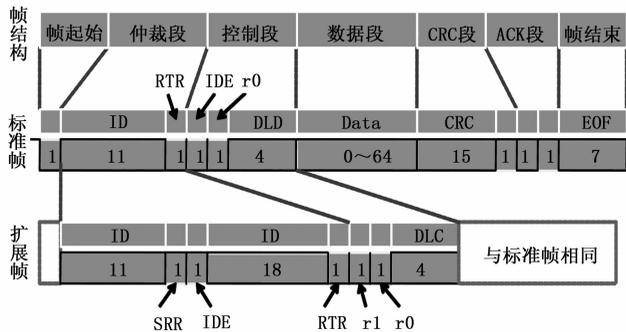


图 4 网络链路层高效传输数据帧结构

1.4 网络与显示模块

低轨卫星移动通信同步控制系统的网络与显示模块由移动通信网络同步转接板、ITDB02-4.3TFT 液晶显示屏两部分共同组成。其中, 移动通信网络同步转接板通过与 ZIGBEE 体系结合的方式, 来实现正交频分复用信号的接入处理, 再借助下级服务器与控制设备, 完成系统内的同步通信中心配置, 可为卫星用户提供全方位的连接服务, 且在此过程中, 能够采集大量的传感器通信数据信息^[10]。

ITDB02-4.3TFT 液晶显示屏具备较强的电子感知能力, 可在感知到正交频分复用信号后, 以静态波的形式, 显示低轨卫星移动通信同步信号已经过的传输路径, 并可在 BDG-MF-OS 型卫星终端的作用下, 对信号波峰、波谷等多处的信号表现形式进行及时调整, 从而使显示屏内部的信号静态波始终表现为最佳传输形式。

对于 Altera 公司的 FPGA, 可在 Altera 公司的集成开发环境 Quartus II 中调用 ALTLVDS IPCORE 模块来实现, 模型如图 5 所示。

信号采集模块的主要功能是实现 AD 模块的初始化、启动转换、采样数据读取、采样率的控制以及多片 AD 芯片的同步。

2 正交频分复用处理的关键技术

正交频分复用指将信道分成若干正交子信道, 将高速数据信号转换成并行的低速子数据流, 调制到在每个子信道上进行传输。正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开, 减少子信道之间的相互干扰 IC^[11]。每个子信道上的信号带宽小于信道的相关带宽, 因此每个子信道上的可以看成平坦性衰落, 从而可以消除符号间干扰。而且由于

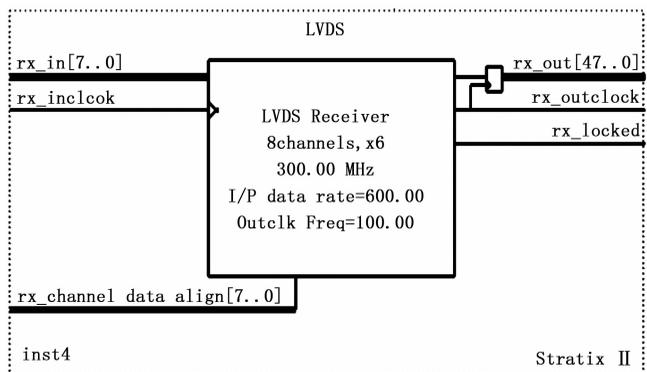


图 5 LVDS 接收模块框图

每个子信道的带宽仅仅是原信道带宽的一小部分, 信道均衡变得相对容易。

在低轨卫星移动通信同步控制系统硬件执行环境的支持下, 联合同步信号模型, 对传输信号进行最基本的调制解调, 再借助复用保护间隔和循环前缀, 完成正交频分复用处理的关键技术分析。

2.1 低轨卫星移动通信的同步信号模型

在低轨卫星移动通信同步控制系统中, 正交频分复用信号的输出量始终等于子载波信号量之和, 且每一波段内的子载波调制形式都满足相移键控与正交幅度原理^[12]。若一个低轨卫星移动通信同步信号中同时包含 λ 路的信息数据流, 且串口中的二进制比特流系数始终为 \bar{y} , 设 i_0 代表既定的信号指标量, 联立上述物理量, 可将基带子载波的映射形式定义为:

$$\varphi(i_0) = \frac{\hat{u} \sqrt{i_0 \cdot \lambda^{k+1}}}{y^2} \quad (1)$$

式中, ϵ_1, ϵ_2 分别代表两个不同的同步信号定义系数, \hat{u} 代表基带子载波的基本映射条件。由于正交频分复用技术的存在, 低轨卫星移动通信的基带子载波能够在同步控制空间内自行调试, 且随着频域内正交子信道的划分, 每个子载波的自由传输需求均能得到较好满足。设 r_0 代表最小的卫星信号通信系数, r_1 代表最大的卫星信号通信系数, 在上述物理量的支持下, 联立公式 (1), 可将低轨卫星移动通信的同步信号模型定义为:

$$S[\varphi(i_0)] = \frac{\sum_{r_1=0}^{r_1 \rightarrow +\infty} X \cdot p^{(\omega_1 + \omega_2)^2 / 2\beta}}{\varphi(i_0) \times I} \quad (2)$$

其中: X 代表低轨卫星移动信号的通信周期, p 代表正交频分复用指标, ω_1, ω_2 分别代表两个不同的信号定义系数, β 代表正交频分信号的复用指标参量, \bar{I} 代表移动信号的同步输出均值。

2.2 同步信号的调制解调

系统同步信号的调制解调处理始终对低轨卫星移动通信信号的频率偏移保持相对明暗的状态, 特别是在实际应用过程中, 正交频分复用信号的输出量越大, 在低轨卫星移动通信中, 信号结构体所面临的调制解调压力也就越大。

与其他卫星信号控制指令相同，同步信号的调制解调可分为跟踪与捕获两个实际处理阶段^[13]。在下行链路环节中，卫星移动基站可以向各个移动终端设备连续不断地传输同步信号，因此，下行链路的同步作用原理相对简单，比较容易实现。在上行链路环节中，来自不同通信终端的移动信号可同时到达卫星基站，且由于正交频分复用技术的连续性影响，子载波间始终保持较强的正交性交流能力^[14]。在卫星基站对子载波信息进行同步提取时，调制信号可经由基站设备直接返回移动终端设备，且在此过程中，信号参量自身的时域与频域需求都能得到较好满足。设 k_0 代表最小的正交频分信号复用调制权限， k_n 代表最大的正交频分信号复用调制权限， n 代表同步信号的解调处理次数，联立公式 (2)，可将低轨卫星移动通信同步信号的调制解调结果表示为：

$$D = \frac{\sum_{k_1}^{k_n} nq \sqrt{l_1 + l_2} \cdot S[\varphi(i_0)]}{f \times \bar{G}} \quad (3)$$

式中， q 代表待传输的卫星移动通信电子量， l_1 、 l_2 分别代表两个不同的调制解调数量级指标， f 代表同步信号的复用处置周期值， \bar{G} 代表单位时间内的同步信号处置均值。

2.3 复用保护间隔和循环前缀

复用保护间隔能够消除正交频分复用信号间的同步传输位移差，通常情况下，在低轨卫星移动通信环境中，与传输信号匹配的复用保护间隔时间越长，最终所获得的同步信号输出量也就越大。循环前缀是系统用于区分不同类型卫星移动信号的主要参考标准，由散点型、连线型两种形式共同组成^[15]。其中，散点型主要面对短时间的复用保护间隔，连线型主要面对长时间的复用保护间隔。规定在低轨卫星移动通信环境中，正交频分复用信号的循环前缀始终保持为连线型，设 $|T|$ 代表既定的间隔时长，联立公式 (3)，可将复用保护间隔与循环前缀对于同步信号的控制作用原理定义为：

$$R = \sum_{c_1}^{c_n} r_{(n-1)} \frac{\tilde{x} \times h^{-\mu}}{n \cdot |T| D} \quad (4)$$

其中： c_1 代表第一个连线型信号循环前缀系数， c_n 代表第 n 个连线型信号循环前缀系数， \tilde{x} 代表复用保护间隔时间内的卫星信号同步权限指标， h 代表同步控制关系定义条件， μ 代表卫星移动通信环境内的信号低轨传输系数， r 代表正交频分复用情况下的卫星信号移动标准项参量。 D 表示低轨卫星移动通信同步信号的调制解调结果。

3 低轨卫星移动通信同步控制系统软件开发（北斗）

按照正交频分复用技术的实际应用需求，分别从通信数据分包、短报文通信模式、同步通信协议 3 个方面，对低轨卫星移动通信同步控制系统的各项应用软件进行针对性开发。

综上，建立同步信号模型，完善待处理通信信息的复用保护间隔与循环前缀，实现正交频分复用处理的关键技

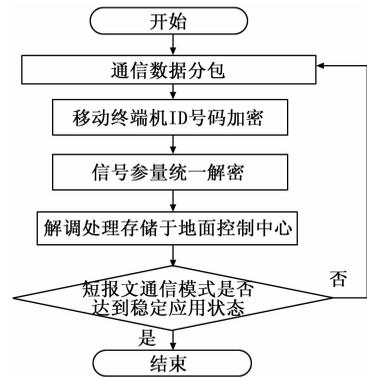


图 6 低轨卫星移动通信同步控制

术研究。分包处理通信数据，借助已知的短报文通信模式，连接同步通信协议，完成低轨卫星移动通信同步控制。

3.1 通信数据分包

分包后的低轨卫星移动通信数据由响应包、报文包两种形式共同组成。其中，系统接收端在接收到卫星同步信号后，所发出的通信数据包为响应包。系统控制中心接收到响应包卫星移动同步通信信号后，首先对相关信息进行解析研究，再从中提取正交频分复用数据的包头信息，最后当数据包的内部信息容量逐渐趋近于 0 时，认定该类型数据包已经接收成功^[16-17]。当系统环境中存在大量低轨卫星移动通信同步信号时，可被控制主机直接应用的通信数据为报文包。这类型数据信息具备较强的可分割能力，当系统剩余信息不足以满足后续信号提取需求时，BDG—MF—OS 型卫星终端就会自发开启分割指令，直至将所有包状数据结构体全部切割成容量不超过 5 Mb 的小型传输文件。具体的通信数据分包原理如图 7 所示。

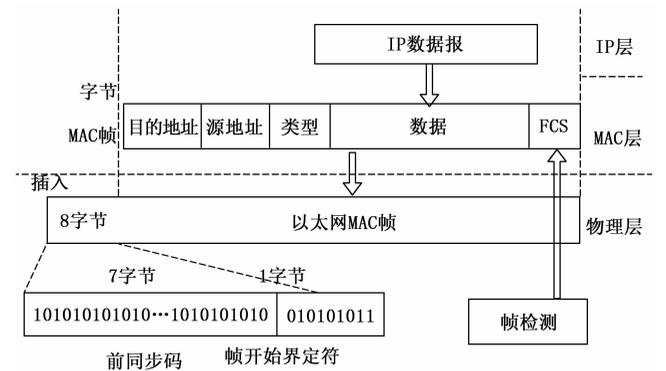


图 7 数据帧格式图

3.2 短报文通信模式

根据正交频分复用策略的约定，低轨卫星移动终端机 ID 号码存在差异，但这些参量值都是唯一的，地面中心接收通信同步报文信息，才能进行后续的转发处理^[18-19]。具体通信模式为：

- 1) 低轨卫星发送终端必须将报文内容与移动终端机 ID 号码加密后，才能将其转发进入通信用户终端主机中。
- 2) 正交频分复用信号由低轨卫星 1 发送到地面控制中

心后, 将信号参量统一解密后再进行加密, 最后再混入出站电文中, 由指定的移动通信用户终端设备接收。

3) 出站后的移动通信同步信号只能被用户终端设备接收, 再经过一系列的解调处理后, 得到完整的出站报文, 存储于地面控制中心。

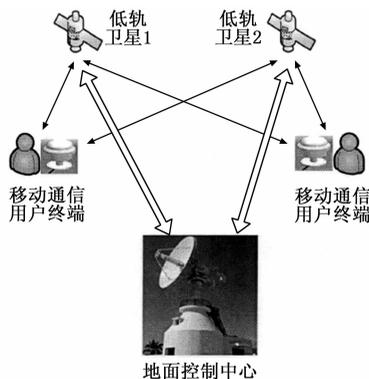


图 8 同步控制系统的短报文通信模式

3.3 同步通信协议

同步通信协议可维系 BDG—MF—OS 型卫星终端与 ZIGBEE 无线数据传输模块间的频分复用关系, 在短报文通信模式达到稳定应用状态时, 通信数据的分包需求越明显, 最终所定义的低轨卫星移动通信行为也就越明显^[20]。总的来说, 同步通信协议并不具备明显的连接作用能力, 但在低轨卫星移动通信同步控制系统中, 复用信号所负载的正交频分控制量越大, 通信协议的作用范围也就越广泛, 反之则越局限。至此, 实现各项软硬件执行环境的搭建, 在正交频分复用技术的支持下, 完成低轨卫星移动通信同步控制系统设计。

4 实用性分析

为验证基于正交频分复用低轨卫星移动通信同步控制系统的实际应用价值, 设计如下对比实验。AD7606 提供 3 种接口选项: 并行接口、高速串行接口、并行字节接口。所需接口模式可通过 PER/SER/BYTE SEL 引脚 DB15/BYTE SEL 引脚进行选择。

分别使用实验组系统、对照组系统对通信运营中心进行控制, 其中实验组终端搭载基于正交频分复用低轨卫星移动通信同步控制系统, 对照组终端搭载北斗型通信控制系统。

QSE 指标、USE 指标均能反映低轨卫星移动通信的同步导航能力, 一般情况下, QSE 指标数值越低、USE 指标数值越高, 低轨卫星移动通信的同步导航能力也就越强, 反之则越弱。

表 1 记录了实验组、对照组 QSE 指标的具体数值变化情况。

随着实验时间的延长, 实验组呈现上升稳定后下降的趋势, 整个实验过程中的最大数值结果仅能达到 30.8%。对照组呈现稳定后再持续上升的数值变化趋势, QSE 指标

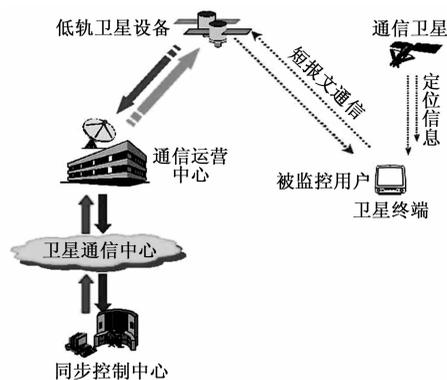


图 9 低轨卫星移动通信控制环境

表 1 指标数值对比表

实验时间/ min	实验组 QSE 指标/%		对照组 QSE 指标/%	
	1	2	1	2
5	30.1	30.3	67.8	66.4
10	30.4	30.4	67.8	66.4
15	30.5	30.5	67.8	66.4
20	30.7	30.6	67.8	66.7
25	30.6	30.7	68.2	67.0
30	30.6	30.8	68.7	67.2
35	30.5	30.8	69.1	67.5
40	30.3	30.8	69.4	67.8
45	30.2	30.6	69.9	68.1
50	30.1	30.4	70.2	68.3

最大值达到 70.2%, 高于实验组最大值 39.4%, 随着基于正交频分复用低轨卫星移动通信同步控制系统的应用, QSE 指标的数值上升情况得到较好抑制, 能够较好促进低轨卫星移动通信同步导航能力的提升。

表 2 记录了实验组、对照组 USE 指标的具体数值变化情况。

表 2 USE 指标数值对比表

实验时间/ min	实验组 USE 指标/%		对照组 USE 指标/%	
	1	2	1	2
5	76.5	77.2	30.4	31.7
10	76.4	77.0	53.7	55.3
15	76.3	76.9	30.5	31.6
20	76.2	76.7	54.1	55.6
25	76.1	76.5	30.3	31.8
30	76.0	76.3	53.8	55.7
35	75.9	76.1	60.5	31.6
40	75.8	76.1	52.9	55.3
45	75.8	76.1	30.4	31.5
50	75.8	76.1	53.0	55.2

随着实验时间的延长, 实验组与对照组的 USE 指标最大数值结果分别达到 76.1%、55.7%, 实验组变化趋势呈现先下降再稳定, 对照组变化趋势呈现上升、下降交替出现, 对照组与实验组相比, USE 指标下降 20.4%。随着基于正交频分复用低轨卫星移动通信同步控制系统的应用,

USE 指标也确实出现了明显上升的数值变化趋势,符合提升低轨卫星移动通信同步导航能力的实际应用需求。

5 结束语

与北斗型通信控制系统相比,新型低轨卫星移动通信同步控制在正交频分复用技术的作用下,针对电源管理模块、BDG-MF-OS 型卫星终端、ZIGBEE 无线数据传输模块等硬件执行结构进行改进,又通过同步信号调制解调的方式,实现对通信数据的数据包处理,从而建立完善的短报文通信模式。从实用性角度来看,QSE 指标数值的下降、USE 指标数值的上升,能够不断强化低轨卫星的移动通信能力,可较好满足精准定位传输数据信息的实际应用需求。

参考文献:

- [1] 全英汇,高震,沙明辉,等.基于期望最大化算法的捷变频联合正交频分复用雷达高速多目标参数估计[J].电子与信息学报,2020,42(7):1611-1618.
- [2] 张烁瑜,高军萍,李琦,等.新型互补序列的构造及其在正交频分复用系统中的应用[J].信息与控制,2020,49(6):99-105.
- [3] 李玖阳,胡敏,王许煜,等.基于ALPSO算法的低轨卫星小推力离轨最优控制方法[J].系统工程与电子技术,2021,43(1):205-213.
- [4] 叶刚进,王骏海,杨翔,等.分布式电源接入下基于供电需求预测的配电网网格化规划[J].电子设计工程,2020,28(17):189-193.
- [5] 续丹,毛景禄,王斌,等.分布式电池电源模块储能系统的荷电状态均衡控制[J].西安交通大学学报,2019,53(10):85-91.
- [6] 叶紫晴,张鑫,梅风华.机载卫星导航终端定位精度试飞中杆臂效应的校正[J].火力与指挥控制,2019,44(8):155-157.
- [7] 刘亮,苏盛,曹一家,等.基于Kalman滤波的持续卫星时

(上接第 118 页)

- [11] 余威,卜旭辉.四旋翼无模型自适应抗干扰姿态控制器设计[J].电子测量与仪器学报,2019,33(7):171-177.
- [12] 仲秦,闫杰,张晓峰,等.基于模型参考自适应的大气层外杀伤拦截器姿态控制系统设计[J].固体火箭技术,2020,43(1):119-123.
- [13] 闫中江,李倩倩,李波,等.定向航空中继网络中一种基于链路距离分环的多址接入协议[J].西北工业大学学报,2020,38(1):147-154.
- [14] 胡又农,徐程程,赵锦红,等.无线传感器网络通信中用户数据优化查询仿真[J].计算机仿真,2018,35(10):459-462.
- [15] 张凯,段广仁.机械系统的快速有限时间跟踪控制及其在航天器交会中的应用[J].控制理论与应用,2019,36(1):89-97.
- [16] 李婧忱,李爱军,黄兵,等.基于反步法的空天飞行器有限时间姿态跟踪控制[J].飞行力学,2019,37(1):78-82.

- 间同步攻击防护方法[J].电力系统自动化,2020,44(10):119-126.
- [8] 董绍江,杨舒婷,刘伟,等.基于改进蚁群算法的 Zigbee 网络路由优化研究[J].组合机床与自动化加工技术,2020(3):65-69.
- [9] 夏鲲,付夏乐,李正荣,等. ZigBee 技术在分布式光伏发电系统中的应用[J].电源技术,2019,43(4):116-119.
- [10] 苗开超,周建平,陶鹏,等.自适应混合卷积神经网络的雾图能见度识别[J].计算机工程与应用,2020,56(10):210-217.
- [11] 张仕超,陈冲,任帅,等.正交频分复用系统中改进的串行峰值抵消方法[J].兵工学报,2020,41(3):112-119.
- [12] 王志屹,王刚,陈彤睿,等.基于信号博弈的端信息跳变同步策略[J].火力与指挥控制,2020,45(9):183-187.
- [13] 史德生,武楠,王华,等.卫星高速宽带自适应调制解调器算法与实现[J].北京理工大学学报,2020,40(3):106-112.
- [14] 张健,高泽峰,吴倩文,等.毫米波自适应调制解调器的 FPGA 设计实现[J].电子技术应用,2020,46(12):122-126.
- [15] 吴迪,訾琳深,胡涛.非合作通信中循环前缀线性调频信号的频率估计[J].信号处理,2020,36(8):126-132.
- [16] 卢梅,杨佳兴,张喜临.基于 BP 神经网络及熵权灰靶法的分包商选择研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2019,51(3):447-456.
- [17] 张孝勇,霍亮,沈涛,等.动态时空数据模型服务化共享方法研究[J].测绘科学,2020,45(12):165-171.
- [18] 王敏,李斯明,杨伟民.骨硬化蛋白通过 Wnt 信号通路在骨质疏松中作用机制的研究[J].养生保健指南,2019(17):347.
- [19] 郭永勃.微信视频在气管切开患者院外延续护理中的应用[J].饮食保健,2019,6(22):229-230.
- [20] 池林辉,钱芸生,籍宇豪.一种提高 FPGA 片间通信稳定性的校验协议研究[J].红外技术,2020,42(11):10-15.
- [17] 康升征,吴洪涛,杨小龙,等.压电微定位系统自适应鲁棒有限时间跟踪控制[J].农业机械学报,2018,49(8):403-410.
- [18] 张泽芳,任勇峰,何常德.基于 CMUT 的超声波信号检测及放大电路设计[J].仪表技术与传感器,2020(2):41-44.
- [19] 谷坤熙,刘礼燕,赵鑫.医院基于 RFID 技术的医疗设备类固定资产管理模式[J].饮食保健,2019,6(41):279-280.
- [20] 田洋,潘红.智能化光纤在线监测系统在电力通信网中的建设应用[J].内蒙古电力技术,2019,37(5):51-54.
- [21] 冯浩,殷晨波,贾文华,等.挖掘机器人轨迹控制及运动可视化研究[J].计算机集成制造系统,2019,25(2):185-191.
- [22] 郑积仕,孟凡茹,赖宏图,等.一种空间曲线轨迹跟踪的无人机自适应导航控制算法[J].计算机测量与控制,2020,28(11):89-94.
- [23] 陈运剑,刘畅,马武举,等.基于非线性制导的四旋翼轨迹跟踪控制[J].计算机测量与控制,2020,28(11):101-105.