

海洋观测数据的卫星传输链路 —以 Iridium 传输链路应用分析为例

王凤军¹,熊学军^{1,2*},蒲定³,杨秉林³

(1.国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛 266061;

2.青岛海洋科学与技术国家实验室 区域海洋动力学与数值模拟功能实验室,山东青岛 266237;

3.中海石油深海开发有限公司,广东深圳 518067)

摘要:为了使全球性的海洋观测数据能够及时、可靠、准确地接收,介绍了基于卫星网络海洋观测数据传输链路的组成,对卫星传输链路的 3 个组成部分进行详细说明,包括: Iridium, Argos, Inmarsat 和中国北斗四种卫星网络系统及比较分析,各卫星网络对应发送终端的分类分析以及陆地接收系统数据下载方式的比较分析。以 Iridium 网络系统为例,建设可实现全球覆盖的海洋观测数据卫星传输链路,完成现场观测数据的实时回传,为海洋观测数据卫星传输链路的建设提供示范,对比 PSTN 和 M2M 两种数据下载方式,通过实验分析,结果表明该海洋观测数据的卫星传输链路具备可行性和可靠性,可以进行业务化运行。

关键词:海洋观测数据;卫星网络系统;海面发射系统;陆地接收系统

中图分类号: P714

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2017)01-0052-10

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2017.01.006

中华文明正在从大陆文明向海洋文明拓展,我们对海洋的探索也正从近海走向远海,这就对海洋调查技术水平提出了更高的要求。海洋是流体,其状态处在不断变化中,现场观测数据理应及时处理,特别是应用于海洋灾害预警的观测数据,对实时传输要求更高。但是通常海洋环境的观测主要采取调查船现场观测、潜标定期观测等方式,成本高、风险大、效率低,信息产品需要等待测量船舶返航到岸站处理中心后才能生成,尤其是大洋远海的海洋环境观测,数据回收并处理成信息产品的滞后时间更长,观测数据的价值也就大打折扣。因此海洋环境观测数据的卫星传输技术是海洋观测亟待解决的重要技术。

海洋观测数据的传输技术有多种方式,包括:无线电通讯、GSM 蜂窝电话数据通讯以及卫星通讯等,国内对各种通讯方式都有过相当的探索。对于地面网络无法到达的远海大洋区域,数据传输链路应具备覆盖面更广、可靠性高、误码率低、抗干扰能力强等特点,卫星传输是现代化海洋调查的必备技术,也是实现全球化调查网的重要支撑,以卫星作为海洋观测数据的传输方式在国内是分散的,对多种卫星的使用并没有系统

收稿日期: 2016-12-23

资助项目: 国家科技重大专项科研任务——南海北部内波流监测、预报、预警系统研究及应用(2016ZX 05057015);海洋工程装备科研项目——500 米水深油田生产装备 TLP 自主研发-内波流预警方案研究及内波流监测系统研制;国家自然科学基金项目——黄海暖流的多时相特征及其发生机制研究(41376038);国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合资助海洋科学研究中心项目——海洋环境动力学和数值模拟(U1606405);全球变化与海气相互作用专项子课题——黑潮结构时空变化特征对中国近海环流的影响分析(GASI-03-01-01-02);全球变化与海气相互作用专项子课题——黑潮不稳定性及多核结构(GASI-IPOVAI-01-05);国家重大科学研究计划——太平洋印度洋对全变暖的响应及其对气候变化的调控作用-热带太平洋印度洋海洋观测(2012CB955601);海洋公益性行业科研专项——常用海底声纳测量仪器计量检测关键技术研究及示范应用(200905024);国家自然科学基金青年基金项目——东海黑潮三维结构及季节变化研究(40406009);国家重大科学仪器设备开发专项——自容式声学多普勒流速剖面仪开发(2012YQ12003908)

作者简介: 王凤军(1991-),男,硕士研究生,主要从事区域海洋动力学及调查技术方面研究.E-mail: wangfj@fio.org.cn

* **通讯作者:** 熊学军(1976-),男,研究员,博士,主要从事区域海洋动力学及调查技术方面研究.E-mail: xiongxj@fio.org.cn

(陈靖 编辑)

的比较,不能充分了解多种卫星之间的差距,本文就海洋环境观测数据的卫星传输链路进行详细说明,对建设传输链路的技术解决和业务化运行提供可靠参考。

1 链路组成

海洋观测数据的卫星传输链路主要由海上发送单元、卫星网络系统和陆地接收系统三部分组成。海上发送单元和陆地接收系统是由用户自己设计和搭建的,而中间的卫星网络系统由所选卫星厂商提供。图 1 为海洋环境观测数据的卫星传输链路组成图。

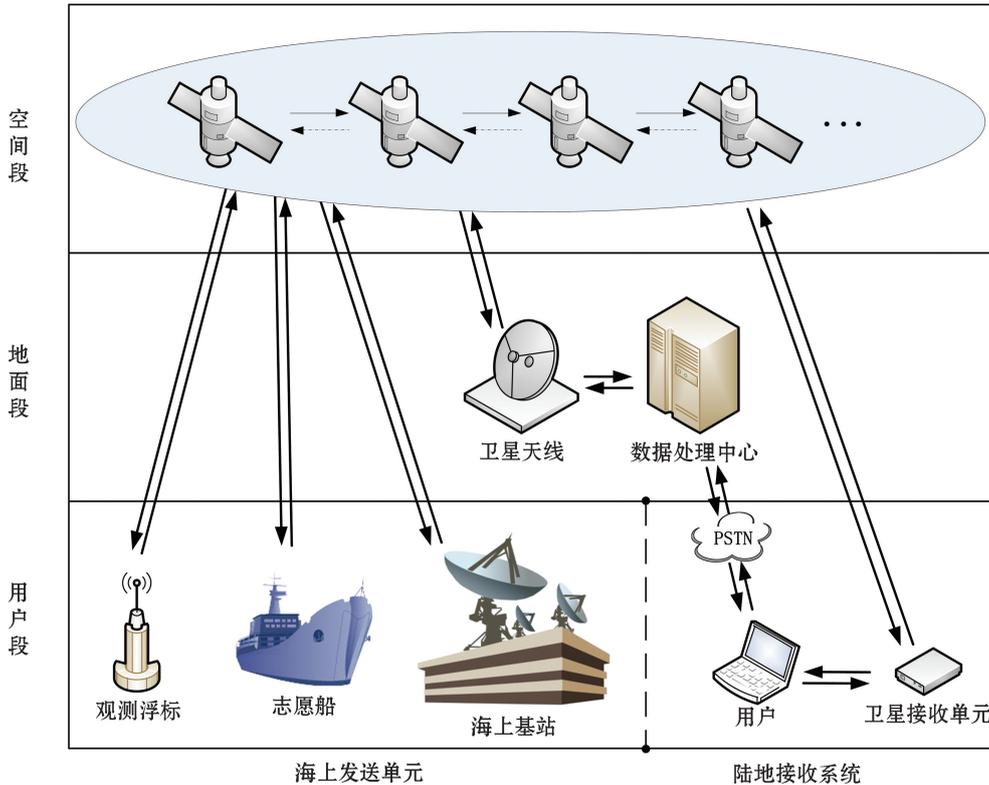


图 1 海洋观测数据的卫星传输链路组成

Fig.1 The components of the satellite transmission link of ocean observation data

海上发送单元部分是数据采集和发送单元,主要有 3 种搭载方式:1)海上观测平台:在海上观测平台上搭建可实现大数据量传输的数据发送单元,将观测平台固定位置采集到的多种海洋观测数据通过卫星实时回传至岸站数据处理中心;2)移动调查船舶:在移动的调查船舶或志愿船上搭建卫星数据发送单元,对沿途海域进行海洋环境观测,并将调查船舶现场的观测数据通过卫星实时回传至岸基数据处理中心;3)观测浮标/观测潜标:在浮标潜标可浮出水面部分安装卫星数据发送单元,定点定时或定点实时地将采集到的海洋环境观测数据回传至岸基数据处理中心,及时处理,发布信息产品。

海上发送单元将观测传感器推送的数据上传至空间部分的卫星网络,传输给卫星的服务基站,简单处理后,用户建立的陆地接收系统可以通过 PSTN 网络或者是通过接收单元下载现场观测数据^[1]。陆地接收系统是数据下载和处理中心,对不同数据类型进行分类处理,分析数据特性,及时发布信息产品,为海洋灾害防范,海洋领域维护做出及时应对方案。

1.1 卫星网络系统

依据卫星轨道高度卫星系统可分为:高轨道卫星(离地距离 35 000 km)、中轨道卫星(离地距离 10 000 km)和低轨道卫星(离地距离 < 1 000 km)。对于单颗卫星而言,卫星轨道越高,其通讯覆盖面积越广,通讯距离越远,通讯时发射电磁波所需要的能量也就越大,数据发送单元功耗也就越大。在实际使用中,应根据项目观测地点和观测范围,选择合适的卫星通讯系统。图 2 简单对比常见卫星通讯系统的网络覆盖范围。

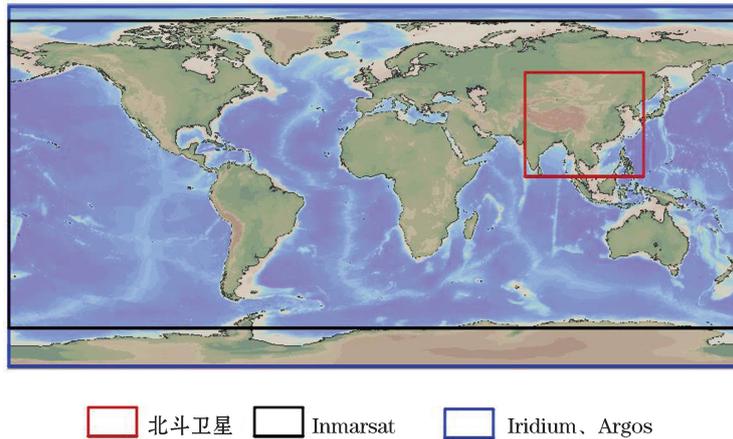


图 2 卫星网络覆盖范围对比图

Fig.2 Comparison of satellite network coverage

由图 2 可知,我国自行研制的北斗卫星覆盖范围较小,主要覆盖我国国土和领海范围,具体范围为 $70^{\circ} \sim 145^{\circ}E, 5^{\circ} \sim 55^{\circ}N$ ^[1],对于中国近海的海洋调查数据可参考使用,但北斗系统是我国自主知识产权的卫星导航系统,能够保证通信的安全性和保密性,而不受国外限制;Inmarsat 是由分布在大西洋、印度洋和太平洋上空的 3 颗卫星组成,覆盖了几乎整个地球,不包括南北极区;Iridium 和 Argos 卫星是低轨道卫星,由于两者空间卫星较多,所以在保证功耗较低的前提下实现了全球覆盖。

在具体数据传输链路的建设中,结合项目要求,在考虑卫星传输范围的基础上,还应考虑延迟时间、卫星高度、通讯方向和通讯费用等方面选择合适的卫星网络,各卫星网络技术重要指标对比见表 1。

表 1 卫星网络技术指标对比^[2]

Table 1 Comparison of the technical indices of satellite systems^[2]

项 目	延迟时间	卫星高度/km	通讯方向	未来发展计划
Iridium	13~30 s	780	双 向	更高的传输速率 1 500 kB 可以灵活分配频带 利用 IP 技术
ARGOS	约 1 h	850	单 向	通讯方向双向 数据传输速率提高到 4.8 kB/s 单包数据量提供到 128 b
INMARSAT	4~10 min	35 876	双 向	更高的数据传输能力(发送能力 6.4 kB;接收能力 10 kB) 更短的延迟时间(<15 s)
中国北斗	1 min	36 000	双 向	增大覆盖面积至 2020 年实现全球覆盖

除此之外,全球通信卫星都在高速稳定地发展,新型的卫星系统正在不断涌现,就民商用通信卫星而言,美国发射国际通信卫星-34(Intlsat-34),欧洲国际移动卫星公司的第五代第 2、3 颗卫星发射成功,我国成功发射天通一号 01 星和全球首颗量子卫星“墨子号”,并将在今年择机发射首颗高通量通信卫星实践十三号通信卫星(中星 16 号)。

1.2 海上发送单元

海上发送单元可以搭载在 3 种不同的观测平台上,而对于任何一种使用方式,海上发送单元的发送模块应该浮于水面,才能保证卫星发送模块的信号强度满足数据传输要求,3 种不同的使用方式,对卫星发送模块又有体积、通讯速率、功耗等方面的特殊要求,卫星发送终端的大小决定了整个浮标系统的体积,对漂流浮标等小型浮标系统,卫星终端越小越好;浮标的通讯速率决定了浮标系统大功率工作的时间,对于相同数据量的数据而言,通讯速率越高,大功率工作时间越短;发射功率决定了持续观测时间,对无人值守的浮标,卫星终端的发射功耗越小,浮标储能要求越低,完成工作可能性也就越大。设计人员应结合观测数据特点和观测方式来选择合适的卫星发送模块。通过表 2 对 Iridium,Inmarsat、北斗和 Argos 四种卫星系统的数据发送终端的相关技术参数进行对比。

表 2 卫星发送终端技术指标对比^[2-6]

Table 2 Comparison of the technical indices of satellite transmitting terminals^[2-6]

项 目	Iridium	Inmarsat	北 斗	Argos
射频频率/MHz	1 616~1 626.5	1 626	1 615.68	401.61
传输速率/B·s ⁻¹	2 400	600	50	400
单包字节量/B	1 890	32 000	240	32
发射功耗/W	0.17	23	12.95	1
通信成功率/%	≥99.9	≥99	≥95	≥99
质 量/g	30	最大	≤75	最小

由表 2 可知,Iridium 卫星终端传输速率最高,功耗最低,适合对体积要求不是很高的浮标系统使用;Inmarsat 卫星终端单包字节量最大,且功耗较高,比较适合数据传输量较大的调查船和观测平台使用;北斗卫星是我国自主知识产权的卫星系统,能够保证通信的安全性和保密性,其政治、经济意义非同寻常,适用于保密项目的数据传输;Argos 卫星体积最小,质量最轻,可集成制作较小的浮标系统,这也正是 Argos 广泛应用于海洋的重要原因。海洋环境观测数据传输链路的海面发送系统,要综合考虑卫星发送终端的体积、传输速率、发送单包字节量等指标,选择和设计合适的海面发送系统。

1.3 陆地接收系统

卫星传输的数据可以通过 M2M(Machineto Machine)或通过 PSTN(Public Switched Telephone Network)两种方式下载。M2M 即终端与终端之间的数据传输,不用经过网络,传输的数据更为安全且实现较为方便,但是整条链路具备 2 个或 2 个以上的终端,链路建设成本和通讯费用相对较高;PSTN 方式传输数据一般又可以分为“点对 Email”和“点对服务器”两种,通过 PSTN 设计建设陆地接收系统需具备网络,传输的数据要经过网络传输,对数据安全有一定的影响,但是链路建设只需要一个海上发送终端,链路建设成本

低,且通讯费用是 M2M 方式的一半。

要建设覆盖全球的海洋观测数据卫星传输链路,要求通讯效果较好,通讯费用较低,所以 Iridium 系统是比较合适的卫星系统之一,基于 Iridium 系统建设陆地接收系统的 3 种通讯方式进行详细介绍。

三种通讯方式的共同特点:

1)Iridium 基站存储:数据上传至 Iridium 基站后如未及时下载至接收终端,依规会存储 24 h,有时也会存储 1 周。

2)数据发送到接收时间间隔:传输延时始终是存在的,SBD 格式传输的官方时间在 15 s 以内,如果出现不畅,会不断查询接收端信号,直至回传成功。

3)传输字节量:目前有 2 种终端模块:①9602 或 9603(接收 270 b 或发送 340 b);②9523 或 9522(接收 1 890 b 或发送 1 960 b)。

4)流量收费标准:每个 Iridium 终端接收和发送都要收费,对同一包数据,发送模块收费,接收模块也收费。中国电信收费方式:①0.1 元/10 b+100 元基本费/月;②包月套餐:150 元/10 kb。

点对点传输:Iridium 终端与终端之间传输数据,与其他的方式相比较,点对点方式可建立移动的陆地接收系统,陆地接收系统只需要一个 PC 电脑和另一个与海上 Iridium 终端绑定的 Iridium 终端即可。点对点传输又可分为:“1 发多收”和“多发 1 收”两种方式,分别应用于不同的工作模式中。

图 3 为“点对点(1 发 5 收)”的通讯方式:一个 Iridium 终端发送数据最多 5 个终端同时接收数据,可应用于陆地接收系统同时向 5 个海上发送单元发送指令,同时控制 5 个海上发送单元的工作状态。具体工作流程为:陆地接收系统的 Iridium 终端发送指令至 Iridium 矩阵,星上处理和星间链路技术让发送的指令可以在星间互传,并发送到 Iridium 网管基站;基站处理数据(加 4 个字节,作为牵手协议)后,查询接收端信号,在 Iridium 信号强度满足传输要求时,通过 Iridium 阵列回传至接收端,完成数据传输。

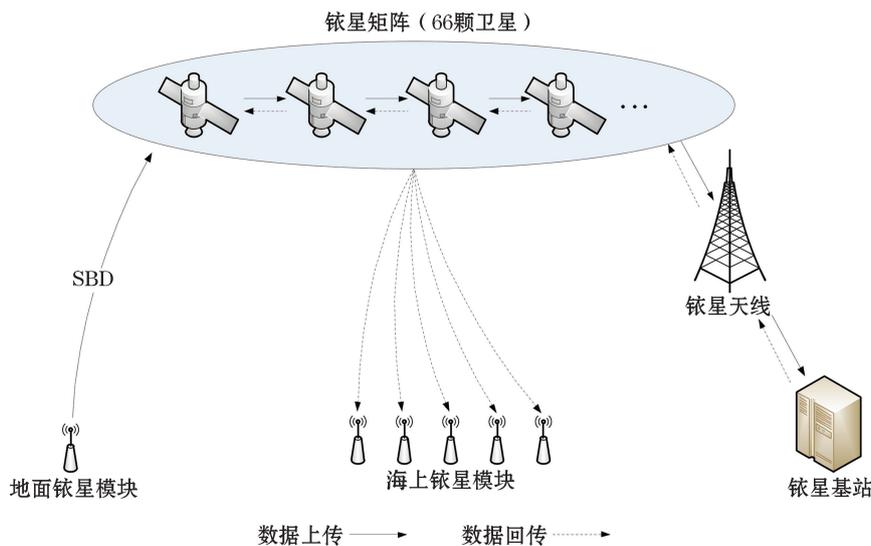


图 3 点对点(1 发 5 收)通讯方式

Fig.3 M2M (1 transmit to 5 receive)

图 4 为“点对点(多发 1 收)”通讯方式:多个(无限个)Iridium 终端发送数据,1 个终端接收数据,可应用于建立一个陆地接收系统,接收多个海上发送单元的观测数据。具体工作流程与点对点(1 发 5 收)基本相同,陆地接收系统会按照海上发送单元发送时间的先后,依次接收数据。为区别不同 Iridium 终端,建议海上发送单元对发送的数据添加编号标识,方便陆地接收系统对各海上发送单元发送的数据进行分类保存。

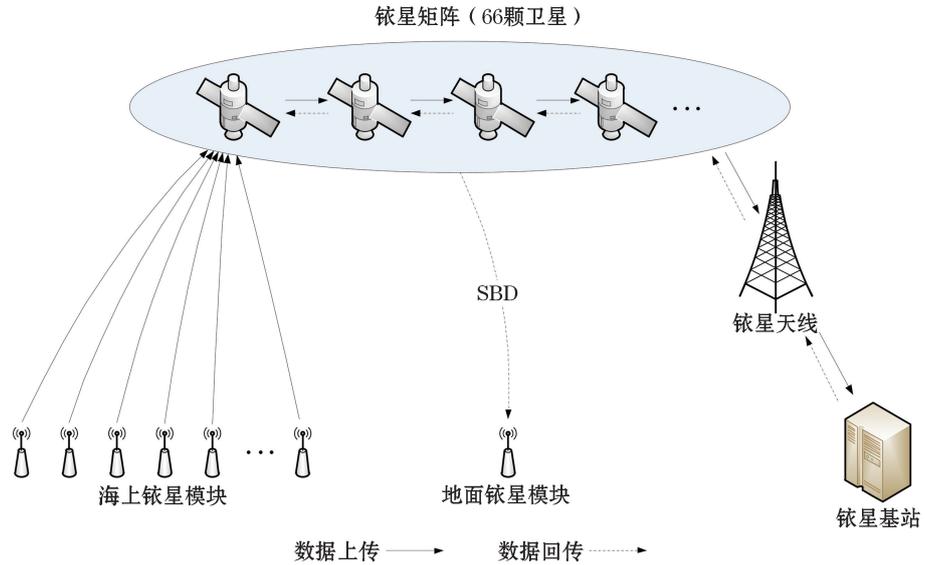


图 4 点对点(多发 1 收)通讯方式

Fig.4 M2M (multiple transmits to 1 receive)

采用点对点方式建立陆地接收系统,上位机编程相对简单,通过串口可以将数据下载,不经过网络,保证数据的安全。陆地接收系统可移动,但点对点方式通讯费用较高,陆地接收系统的 Iridium 终端接收数据也要收费。

图 5 为“点对 Email”通讯方式,“点对 Email”和点对服务器都属于 Iridium 终端与 PSTN 之间的连接。与“点对点”方式不同,Iridium 终端与 PSTN 之间的连接,只需要一个海上发送单元的 Iridium 终端,陆地接收系统只需要满足上网要求。数据传输给 Iridium 基站后,基站直接向绑定的邮箱发送邮件,一个邮箱可以绑定多个海上发送单元的 Iridium 终端,可以双向传输。

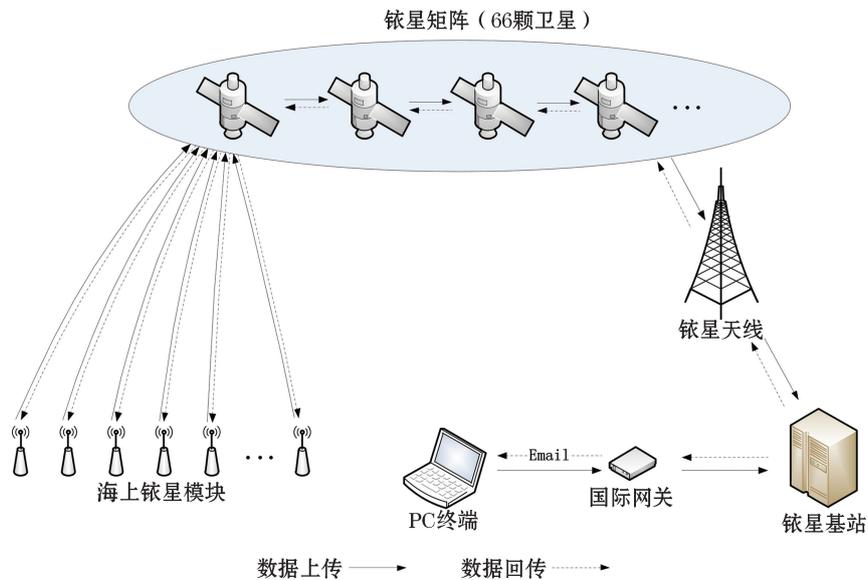


图 5 点对 Email 通讯方式

Fig.5 PSTN (Email)

1)数据接收:Iridium 终端绑定 Email 后,对于 Iridium 终端发送的数据,邮箱以 SBD 的附件形式接收,文件内容与终端接收的内容一致。

2)数据发送:Email 向终端发送信息:①收件人:data@sbd.iridium.com;②主题:Iridium 序列号;③以附件形式添加发送内容,附件后缀为 sbd。

采用 Email 方式建立陆地接收系统,这种形式较为灵活方便,只要能上网的地方即可,无需申请静态的 IP,是比较廉价的方式,由于受到公共邮箱的制约限制,大量传输时会被认为是黑客攻击,安全性较差。通讯费只有海上发送单元发送的费用,Email 接收和发送不收取费用。

图 6 为点对服务器通讯方式的系统结构图,与点对 Email 方式相同,点对服务器属于 Iridium 终端与 PSTN 的连接,采用点对服务器通讯方式的陆地接收系统需要连接网络,将 Iridium 终端绑定到一个固定 IP 的用户应用服务器上,该应用服务器可作为信息处理中心,可与多个 Iridium 终端绑定,借助 Iridium SBD 业务,实现双向数据传输,此种方式,需要申请固定的 IP 地址,适应于实时性高,多点集中管理的应用场合。基于其他卫星建立陆地接收系统,在下载数据时也主要分为 M2M 和 PSTN 两种方式,陆地接收系统的建立方式基本一致。

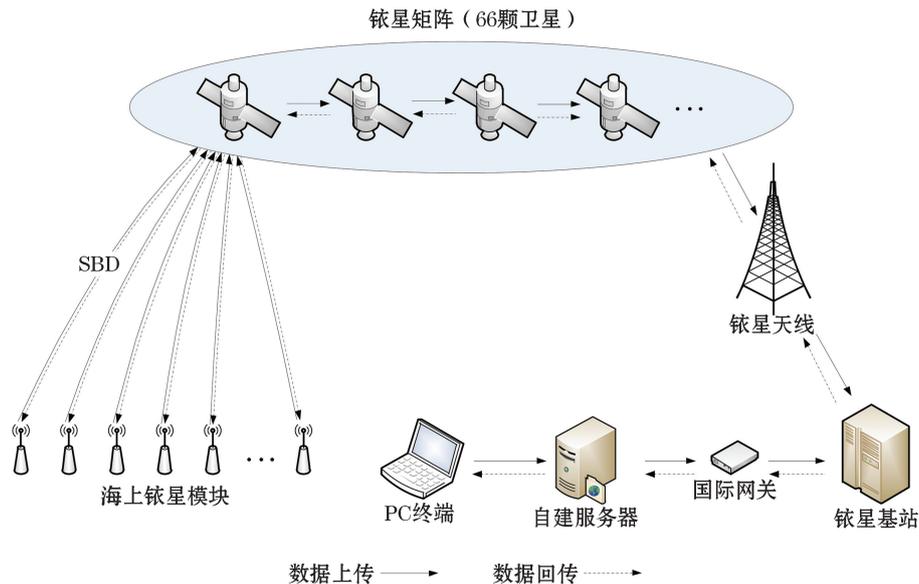


图 6 点对服务器通讯方式

Fig.6 PSTN (IP Direct)

2 基于 Iridium 系统的实验效果分析

基于 Iridium 系统设计的海洋环境观测数据的卫星传输链路实验(图 7)采用的观测仪器为 RBR-D。将 RBR-D 固定水底,在规定海域进行实时观测,并不断推送观测数据;集成了 Iridium-9602 的浮标浮于海面,将采集的数据,通过 Iridium 网络实时回传。陆地接收系统同时采用“点对点”和“点对 Email”两种方式下载数据。

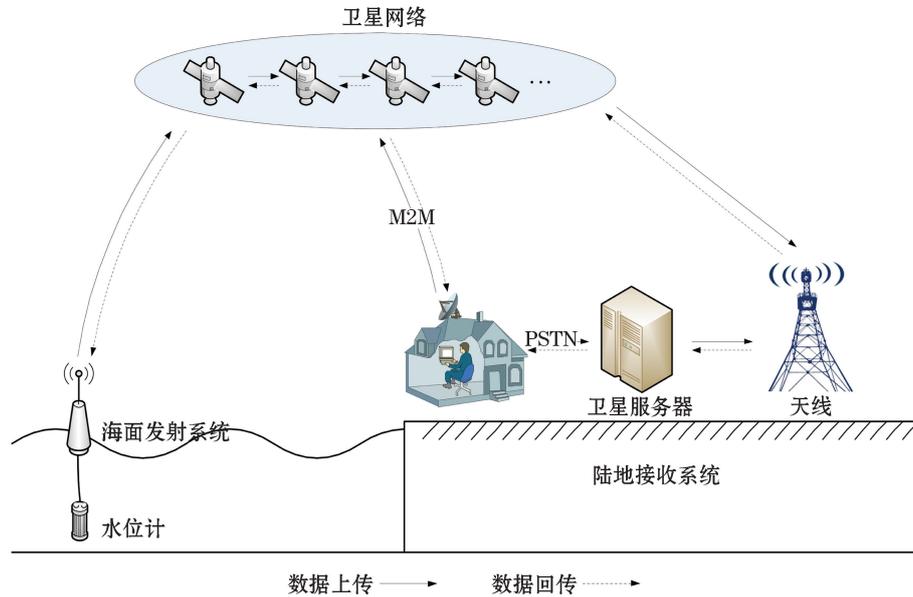


图 7 Iridium 实验链路

Fig.7 The experimental transmission link in Iridium

2.1 实验设计

实验的观测仪器采用水位计 RBRvirtuiso D 测量水下压力,数据输出格式简单,用于数据集成较为方便,其技术指标如表 3 所示。

实验浮标的主控单元采用 STM32 单片机,对水位计推送的数据进行简单的处理和存储备份,打包成传输的固定格式,通过串口把要发送的数据传推送至发送模块 Iridium-9602,浮标系统查询卫星信号强度,如果满足发送的条件,开始发送观测数据;若不满足,持续发送直至信号强度满足为止。浮标电路结构如图 8 所示,浮标系统实测功耗为 35 mA @12V。

浮标系统 STM32 单片机,通过拓展的 RS232 串口,控制 Iridium-9602,通过 AT 指令完成卫星信号查询和数据发送。

陆地接收系统同时采用点对点 and 点对 Email 两种方式。将点对点方式的 Iridium 终端置于房顶,保证其信号强度满足数据接收,通过串口与计算机相连;点对 Email 方式,将绑定的邮箱打开,时刻关注数据接收情况,数据接收后,及时下载附件内容,防止计算机系统误认为是病毒邮件而删除。

表 3 RBRvirtuiso D 重要技术指标

Table 3 The major technical indices of RBR-D

项 目	参 数
电 源	8 节 3VCR123A 电池(可升级到加长型 16 节)
内 存	存储 3 000 万组数据
深度测量准确度	满量程的 ±0.05%
通 讯	USB 或 RS-232/485
时钟准确度	±60 s/a
深度限制/m	740
尺 寸/mm	260×直径 64
质 量	空气中 960 g,水中 430 g
采样周期	1 s~24 h
采样率	1 Hz(可升级到 6 Hz)

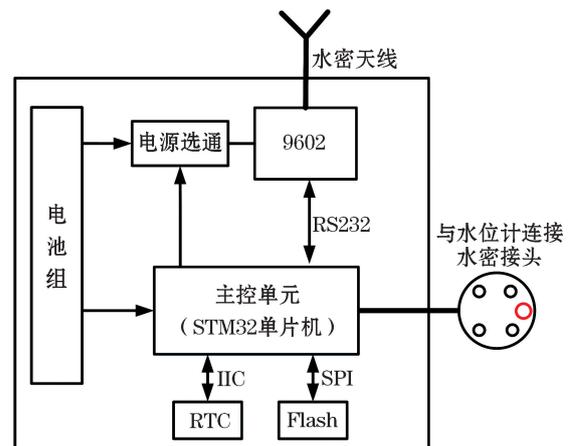


图 8 浮标电路结构

Fig.8 Circuit structure of the buoy

2.2 实验结果分析

实验观测持续 7 d, 观测周期为 10 min, 每次观测浮标主控打包生成 48 kB 的数据包, 7 d 的数据共 8 064 kB。卫星链路传输稳定, 表 4 为陆地接收系统所采用的两种通讯方式的对比。

表 4 M2M 和 PSTN 通讯效果比较

Table 4 Comparison of the communication effects between M2M and PSTN

通讯方式	平均通讯时延/s	通讯费用/元 · (10 kB) ⁻¹	误码率/%
点对点	16	150	0.3
点对 Email	8	75	0

通过对比可知, 2 种通讯方式接收的数据都与仪器自身存储的数据相同, “点对 Email”的通讯时延和通讯资费都是点对点方式的一半, 且“点对 Email”未出现漏包现象; “点对点”在工作过程中漏传 24 包数据。

3 结 语

海洋观测数据的卫星传输链路是我国实现全球性海洋观测的重要技术, 本文介绍了多种卫星网络, 分析比较了卫星覆盖范围、卫星终端功耗重要指标。其中 Iridium 卫星可实现全球覆盖且功耗最低; Argos 卫星体积最小可以搭载对体积要求较高的小型漂流浮标; 北斗卫星作为我国自主知识产权的卫星, 可以保证信息的安全性和保密性; Inmarsat 作为专门应用于海洋的卫星主要覆盖三大洋, 卫星终端体积较大, 其传输数据量最大, 比较适合海上观测平台或调查船舶等大数据量传输的场合。以 Iridium 为例, 对陆地接收系统建设的多种方式进行了详细说明, 并通过实际案例对 M2M 和 PSTN 两种方式进行对比, PSTN 的通讯时延和通讯资费是 M2M 通讯方式的一半, 但是 PSTN 更依赖地面网络, 在具体项目中, 应结合项目要求和观测环境等诸多因素选择合适的卫星网络和通讯方式。

参考文献:

- [1] 鲍然.北斗卫星导航系统与全球定位系统的性能比较[J].信息通信, 2013, 129(7): 3-4.
- [2] VENKATESAN R, MUTHIAHA M, RAMESH K, et al. Satellite communication systems for ocean observational platforms: societal importance and challenges[J]. The Journal of Ocean Technology, 2013, 8(3): 58-63.
- [3] 张少永, 林玉池, 熊焰. Argos 卫星发射平台研究与 Argos 通讯系统应用[J].海洋技术, 2005, 24(1): 25-28.
- [4] 鲍然.北斗卫星导航系统与全球定位系统的性能比较[J].信息通信, 2013(7): 3-4.
- [5] 李子木. INMARSAT 系统发展及应用[J].无线电工程, 2009, 39(10): 8-10.
- [6] ANDRÉ X, MOREAU B, RESTE S L. Argos-3 satellite communication system: Implementation on the Arvor Oceanographic Profiling Floats[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2015, 32(10): 1902-1914.

Satellite Transmission Link of Ocean Observation Data —Taking the Application of Iridium Transmission Link as the Example

WANG Feng-jun¹, XIONG Xue-jun^{1,2}, PU Ding³, YANG Bing-lin³

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Key Lab of Marine Science and Numerical Modeling, SOA, Qingdao 266237, China;*

3. *CNOOC Deepwater Exploitation Co. Ltd, Shenzhen 518067, China*)

Abstract: For receiving the global ocean observation data timely, reliably and accurately, the components of ocean observation data transmission link in satellite network are introduced. Three components of the satellite transmission link are described in detail, which include the comparative analysis of four types of satellite network systems (i.e. Iridium, ARGOS, INMARSAT and Beidou Satellite Network System of China), the classification analysis of transmitting terminal corresponding to each satellite network and the comparative analysis of the methods for data download in the land receiving system. By taking the network system Iridium as the example, a globally covered satellite transmission link of ocean observation data is built, the real-time return of in-situ measured observation data is completed, the demonstration is provided for the construction of the satellite transmission link of ocean observation data and the comparison between the methods for downloading the PSTN and the M2M data is carried out. The results from the experimental analyses indicate that this satellite transmission link of ocean observation data is of feasibility and reliability and can be run in business.

Key words: ocean observation data; satellite network system; emission system on the sea; land receiving system

Received: December 23, 2016