

低轨道卫星通信与物联网应用研究

刘洋¹, 魏锋², 崔树成¹, 王文剑¹

(1. 航天信息股份有限公司, 北京 100195;
2. 广东金融学院互联网金融与信息工程分院, 广东 广州 510521)

摘要: 依托物联网的应用需求, 对低轨道卫星通信系统的现状进行分析, 分别对通信系统的构成要素进行对比阐述。然后, 对比当前应用广泛的 NB-IoT 陆基通信网络、已有低轨道卫星通信系统的特点, 并提供了一种面向物联网应用的低轨道卫星系统可行设计方案, 简述其主要参数和特点。

关键词: 物联网; 卫星通信; 窄带; 低轨道

中图分类号: TN99

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2019.00137

Research on the application of LEO satellite communication and Internet of things

LIU Yang¹, WEI Feng², CUI Shucheng¹, WANG Wenjian¹

1. Aisino Corporation, Beijing 100195, China
2. School of Internet Finance and Information Engineering, Guangdong University of Finance, Guangzhou 510521, China

Abstract: Relying on the demands of Internet of things application, a detailed review on the status quo of LEO (low earth orbit) satellite communication system was given, and the components of communication system were compared and explained separately. Afterwards, the characteristics of the NB-IoT land-based communication network widely applied at present and existing LEO satellite communication system were compared, and a feasible design scheme for IoT-oriented LEO satellite system was provided, and its main parameters and characteristics were briefly described.

Key words: Internet of things (IoT), satellite communication, narrow-band, low earth orbit

1 引言

随着“一带一路”倡议的提出, 我国的全球经济活动日益频繁, 国内企业响应“一带一路”, 倡议走向国门。在国际合作背景下, 对复杂环境中通信保障的需求不断增长, 作为拥有航天技术的大国, 卫星通信系统为我国的海外企业提供了“永不失联”的可靠通信保障。系统成本相对较低的 LEO 卫星通信系统成为关注的焦点, 如我国已经公布即将开始建设的低轨道卫星系统“鸿雁”等, 本文将详细分析目前的三大典型低轨道卫星系统的性能指标。

2 世界主要低轨道卫星系统介绍

低轨道卫星系统具有如下 6 个特点:

1) 可实现全球覆盖, 通信不受地域限制, 特别是在地基通信困难的边远地区、技术不发达地区和地貌复杂的地区, 较适合以低轨道卫星系统为代表的卫星系统, 并能够将物联网扩展到远海和天空。

2) 系统抗灾害能力强, 局部的自然灾害和突发事件等几乎不影响系统正常工作。

3) 低时延, 卫星处在近地轨道运行, 天地之间的通信距离较短, 通常在 350~1 000 km, 与高轨卫星相比, 通信距离明显缩短, 可提供更加实时的信息传输。

4) 地面终端和卫星轻量化、低功耗, 由于低轨通信距离较短, 无线通信信号的衰减明显减弱, 与使用相同频率的高轨卫星相比, 设备和卫星所需要的发射功率、接收灵敏度都低, 功耗下降明显,

可显著减轻地面终端和卫星的自重，有利于向低成本太空技术迈进。

5) 网络定点覆盖建设快，并且系统建设成本与通信距离无关，当时部署可当时联通。

6) 全天候通信保证能力，几乎全天候、全天时不受气候和天气的影响。

铱星系统、全球星系统和 ORBCOMM 系统是最具代表性的 LEO 系统，分别由几个主要发达经济体运维，面向民用市场提供价格可接受的语音和报文服务。其中，短报文服务是物联网领域的核心通信，结合低轨道卫星的低功耗、轻量化、低时延、低成本以及地面设备便捷部署的特点，使得 LEO 系统成为物联网新兴通信手段的呼声日益高涨。

铱星系统由 66 颗卫星组成一个覆盖全球的 L 频段蜂窝小区群，用于向移动用户提供全球无缝覆盖

的通信业务。铱星系统已经发展了两代，2001 年开始提供速度为 2.4 kbit/s 的互联网服务，2003 年开始提供短信业务，如今用户数量接近 50 万，每天会话 1 200 万次以上。一代铱星系统和二代铱星系统对比如表 1 所示。

全球星系统^[1]用 48 颗低轨道卫星在不包括南/北极的全球范围内，向用户提供无缝隙覆盖的、低价的卫星移动通信业务，业务包括语音、传真、数据、短信息和定位等。全球星系统的每颗星质量约为 450 kg，功率为 1 100 W。语音传输速率有 2.4 kbit/s、4.8 kbit/s 和 9.6 kbit/s 共 3 种，数据速率为 7.2 kbit/s，定位精度为 300 m。全球星每颗重 700 kg。

ORBCOMM 系统^[2]是一个广域、分组交换和双向短数据的 LEO 卫星通信系统，ORBCOMM 系统的技术性能指标如表 2 所示。

表 1 一代铱星系统和二代铱星系统对比

比较项目	第一代铱星系统	第二代铱星系统
星座数量	66 颗 LEO 卫星	66 颗 LEO 卫星
质量	约 670 kg	860 kg
容灾备份	6 颗在轨备用卫星	6 颗在轨备用卫星、9 颗地面备用卫星
用户容量	200 万用户容量	300 万用户容量
数据带宽	最高 128 kbit/s 的 L 波段数据速率	语音和数据业务：2.4 kbit/s~1.5 Mbit/s 高速数据业务：10 Mbit/s（便携式终端）、30 Mbit/s（运输式终端）
服务范围	全球覆盖	全球覆盖
服务内容	高通话质量	增强的通话质量、端到端 IP 技术
特点	高可靠性和低时延性	高可靠性和低时延性
优势对比		带宽灵活分配 私有网络网关 兼容现有手机和其他设备 设计支持主机二级载荷

表 2 ORBCOMM 系统的技术性能指标

参数	性能指标
用户数据速率	2.4 kbit/s（输入） 4.8 kbit/s（输入）
工作频率	上行链路 148~150.05 MHz 下行链路 137~138 MHz 400.05~400.15 MHz
寻址协议	X.400（CCITT 1988）
信息容量	6~250 B（最佳情况），无最大值限制
空间段	卫星轨道 4 颗卫星工作在极地轨道 32 颗卫星工作在倾斜轨道（倾斜角度为 45°） 圆轨道，轨道高度为 775 km
用户终端	重量 340.2 g 天线 长度为 50 cm 的鞭状天线
定位误差	375 m

3 主要低轨道卫星系统的通信指标

本节从频谱规划、多址方式、帧结构、调制编码和功率控制等方面详述 LEO 卫星通信系统的发展现状。

3.1 频谱规划

1) 铱星系统的频谱规划

铱星系统中上/下行用户链路使用 L 频段中的 1 616~1 626.5 MHz, 10.5 MHz 的带宽被划分成 240 个信道, 信道间隔为 41.67 kHz, 每个信道的有效带宽为 31.5 kHz, 铱星 FDMA 方案如图 1 所示。

为了充分利用频率资源, 铱星系统采用频率复用技术, 频率复用因子是 12, 每个波束的信道数量为 240/12=20 个。为了进一步增加系统容量, 铱星系统对每个频率信道采用 TDMA 方案。铱星 TDMA 帧长为 90 ms, 由 4 个上行链路时隙和 4 个下行链路时隙组成, 每个时隙间由一段保护时间分隔开, 铱星 TDMA 方案如图 2 所示。

由于每个小区拥有 20 个信道, 每个信道可以支持 4 个用户, 则每个小区支持 80 个用户。铱星系统的小区总数为 48 波束/卫星×66 颗星=3 168 波束, 由于波束在极地地区有重叠, 实际上只需要 2 150 个波束就可以覆盖全球。铱星系统采用了一种算法来避免多个点波束同时覆盖某个区域, 当多个点波束覆盖某个区域时, 这种算法会让卫星把多余的点波束关闭, 只保留一个点波束覆盖此区域。因此, 系统的总容量为 80 用户/小区×2 150 小区=172 000 用户, 即最多支持 172 000 个并发用户, 在

现有的 LEO 系统中, 其容量最高。另外, 可根据具体需要动态分配语音和数据信道的比例。在每个小区的 80 个信道中, 通常 81.25% 的信道用于全双工语音通道, 剩余 18.75% 的信道用于数据通道, 即每个小区支持 65 个全双工语音通道和 15 个数据通道。对于整个铱星系统而言, 共有 65×2 150=139 750 个全双工语音通道和 15×2 150=32 250 个数据通道。

2) 全球星系统的频谱规划

在全球星系统中^[1], 用户终端到卫星的上行链路使用 1 610~1 626.5 MHz, 卫星到用户终端的下行链路使用 2 483.5~2 500 MHz。L 频段和 S 频段的频道间隔为 1.23 MHz。全球星地面点波束覆盖如图 3 所示。

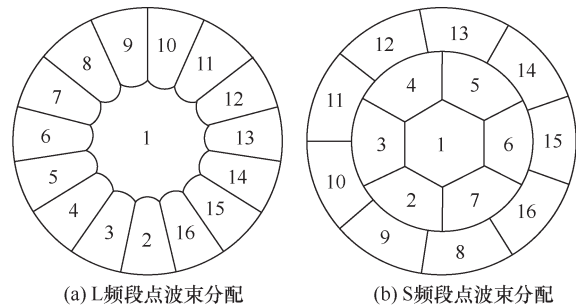


图 3 全球星地面点波束覆盖

卫星 L 频段和 S 频段天线均由 16 个波束组成。上、下行频段均按照频分复用方式划分出 9 个子信道, 最低频率的子信道分别用作命令和遥测信道, 其余的 8 个子信道通过正交极化(左旋圆极化和右

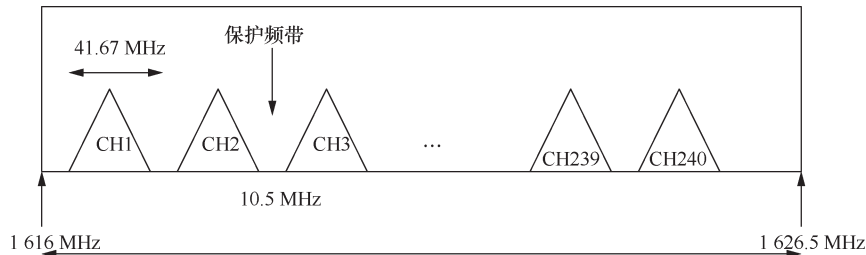


图 1 铱星 FDMA 方案

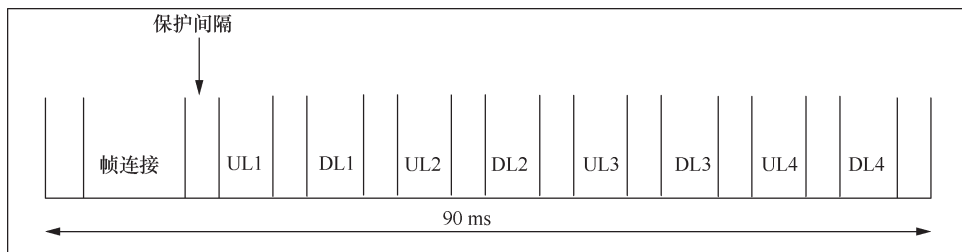


图 2 铱星 TDMA 方案

旋圆极化) 分割成 16 个子信道, 对应 16 个用户点波束。全球星馈送链路与点波束的频率对应方案如图 4 所示, 全球星系统信道规划如图 5 所示。

3) ORBCOMM 系统的频谱规划

ORBCOMM 系统的重要特点是上行通道发射采用动态信道分配技术 DCAAS (data center as a service)。卫星上的发射机在频率 137~138 MHz 向用户下传连续的 4 800 bit/s 分组数据流。每个卫星上配置了多个用户接收机以接收来自用户终端的突发性短数据, 该数据以 2 400 bit/s 的速率在 148~150.05 MHz 频段上传输。

3.2 多址方式与帧结构

1) 铱星系统

铱星系统采用 FDMA、TDMA 和 TDD 方式,

将 10.5 MHz 的带宽按 FDMA 方式划分为 12 个频带, 在此基础上利用 TDMA 方式, 一个 TDMA 帧长为 90 ms, 包含 4 个全双工信道, 单信道的数据传输速率为 50 kbit/s。语音业务的传输速率为 2.4~4.8 kbit/s, 数据业务的传输速率为 2.4 kbit/s。

2) 全球星系统

全球星系统采用 FDMA、CDMA 和 FDD 方式, 用户终端可以提供语音、数据 (7.2 kbit/s)、三类传真、定位和短信息等业务^[1]。系统利用 48 颗卫星和每颗卫星上的 16 个点波束按照相邻波束使用同一组频率的方式, 对可用频带进行空分利用。在每个波束内, 把 16.5 MHz 的总可用频带划分为 13 个带宽为 1.23 MHz 的 CDMA 信道。全球星系统信道规划如图 5 所示。

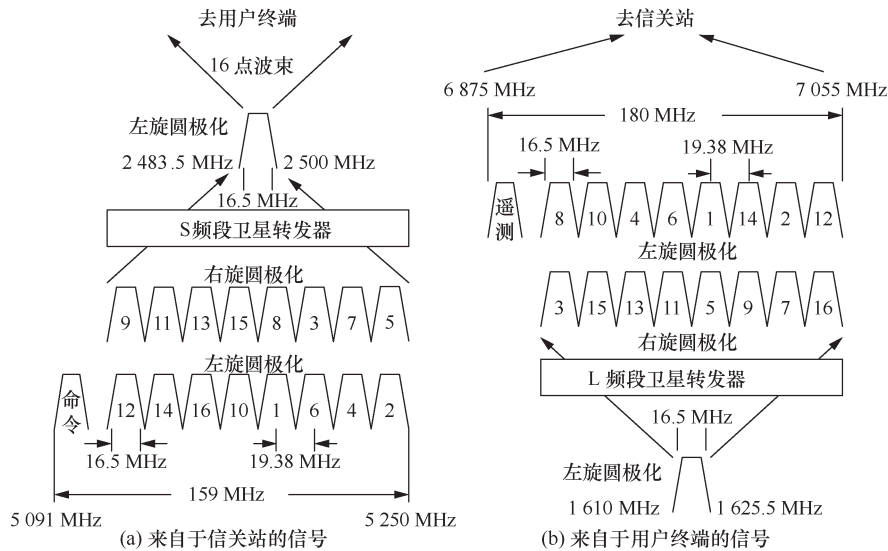


图 4 全球星馈送链路与点波束的频率对应方案

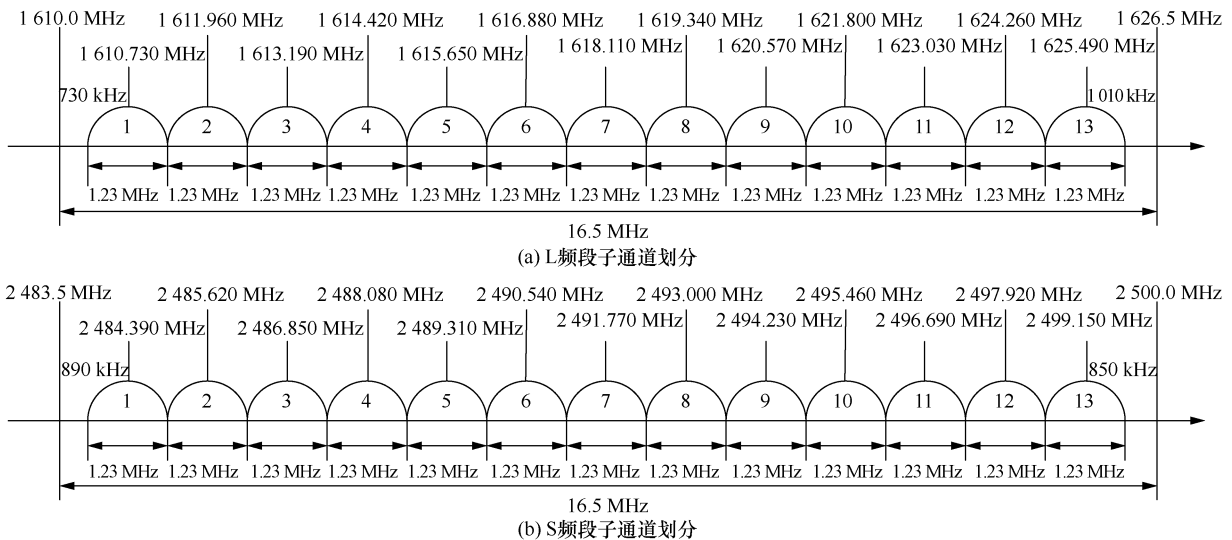


图 5 全球星系统信道规划

采用 CDMA 技术可在每一波束内重复使用全部频带,对全球 48 颗星而言,可有 $6 \times 48 = 288$ 次频率复用。在 16.5 MHz 频带内,按照 4.8 kbit/s 的数据速率以及 $BER = 10^{-3}$ 支持 2 800 条双工数字话路。与 IS-95 的 64 阶 Walsh 序列不同,全球星系统的下行链路通过 128 阶的 Walsh 序列划分为 128 个信道,包括 1 个导频信道、1 个同步信道、7 个寻呼信道和 119 个业务信道,支持两种速率集,对应的最高速率分别为 4.8 kbit/s 和 9.6 kbit/s。

3) ORBCOMM 系统

用户终端和卫星之间的通信采用多址接入协议方式,这个协议把所有信道分为两种不同的通信信道:随机接入信道和预约信道^[2]。由测控站来决定分配到两种信道方式的卫星接收机数目。基于随机接入信道方式的信息交换可以传输短传报或控制分组,也可以通过给用户终端分配一个预约信道来传输较长的报文分组。

由于 ORBCOMM 系统的上行频段为 148 ~ 150.05 MHz,并且与其他地面通信系统共享,为了解决信号干扰问题,ORBCOMM 系统采用 DCAAS 来解决此问题。DCAAS 通过扫描整个用户上行频段来确定信道空闲还是信道忙,这样就可以把空闲信道的下一时隙使用权分配给所需用户。

3.3 各种多址方式的优缺点总结

1) TDMA 系统涉及“全球波束”同步、反馈同步以及开环同步等,对整个卫星系统的同步要求较高,所有工作模块必须采用同一时钟进行同步,因此,大幅度增加了系统成本。

2) FDMA 实现简单,但也存在诸多缺点,包括信道分配相对不灵活,即当通信业务较少时造成系统频带利用率较低,并且出现大载波对小载波的抑制现象;为了维持所有链路的通信质量,需要对上行链路进行功率控制,很大程度上增加了系统的复杂度;需要设置足够宽的保护带以避免干扰,使得频带利用率降低。

3) CDMA 系统的抗干扰能力很强,可以减小卫星之间的间隔,有利于实现全球覆盖并且可以使用小天线,而不会受到临近卫星的干扰;不需要严格同步,地球站接入时间不受限制,降低了系统复杂度和成本;用户数量的增加对系统性能的影响相对较缓慢,使得可以容纳更多业务量;具有很好的抗多径衰落性、信号隐蔽性和保密性,具有软切换功能,并且易于实现且适用于大型移动性系统等^[3-9]。

3.4 调制编码技术

1) 铱星系统的调制编码技术

铱星系统采用 QPSK 调制,信道编码、译码分别采用卷积编码和维特比译码^[10]。铱星系统在关口站的编码方式为:前向纠错使用码率 $R = 1/2$ 、 $K = 7$ 的卷积码,在用户终端采用 $R = 3/4$ 、 $K = 7$ 的卷积码。

2) 全球星系统的调制编码技术

全球星系统也采用 QPSK 调制、卷积编码和维特比译码,用户至卫星链路 FEC 使用 $R = 1/3$ 及 $K = 9$ 的卷积码,而对用户接收方面则采用 $R = 1/2$ 及 $K = 9$ 的卷积码。对语音的门限比特误码率为 10^{-3} ,语音传输最高速率达 9.6 kbit/s。下行链路为了更好地区分不同卫星波束,与 IS-95 相比对扩频调制部分做了很大改动:将 IS-95 的短码换成了由内、外码组成的复合伪码,每个信道的扩频序列包括一对内码 PN 序列和一个外码 PN 序列,内码 PN 序列的码片速率为 1.228 8 Mc/s,码长为 1 024;外码 PN 序列每秒产生 1 200 个外码码片,码长为 288,则一个外码周期包含 1 024 个内码周期。系统通过内/外码及其相位偏置来区分不同卫星的不同波束,具体为使用 8 个内码序列来区分卫星的 8 个不同轨道面,每个轨道面上的所有卫星波束(共 $6 \times 16 = 96$ 个)通过外码和内码的共同偏置来决定,每个偏置包含 18 个外码码片和 64 个内码码片:

$$\text{PN 序列总偏置} = \text{波束 ID} \times (\text{64 内码码片} + \text{18 外码码片}) = \text{波束 ID} \times \text{18 496 内码码片} \quad (1)$$

下行链路中的导频信道、同步信道、寻呼信道和业务信道的结构和特点与 IS-95 类似。功率控制比特插入下行业务信道帧的第一个子帧发送,间隔为 20 ms。全球星系统上行链路分为接入信道和业务信道两类,均由 PN 序列进行扩频和解扩。接入信道使用短 PN 序列的偏置来区分不同的关口站,业务信道使用码长为 2^{42} 的长码来区分不同用户。接入信道的短 PN 码码长为 256,业务信道的短 PN 码码长为 2^{15} 。

3) ORBCOMM 系统的调制编码技术

ORBCOMM 系统采用 SDPSK 调制、卷积编码和维特比译码。采用可变编码调制体制(VCM),根据链路质量选择合适的信道编码和调制方案,在不增加卫星与地面站能量消耗和设备成本的条件下,可减少链路资源浪费,优化星—地数据传输的吞吐量,有效提升卫星数据链路的传输效能。VCM 机制的使用条件是动态信道条件可预测,不需要设

计信息反馈结构^[11-13]。

4 天基物联网前景展望

物联网应用正在向更广泛的领域和行业纵深发展，天基星座物联网需求已经在多个物联网领域展开讨论和论证。

目前，我国民用卫星系统的发展相对落后，对民用开放的报文服务仅有北斗系统，但北斗系统属于高轨卫星系统，地面设备的体积、重量和功耗较大，在有限报文容量的通信保障规程下，民用服务的申报审批流程长、费用高，因此难以推广，使用范围有限，物联网应用并没有被纳入其支持范围。

而低轨道卫星系统能够有效降低地面终端的设计和制造成本，更适合物联网应用和短报文通信需求，物联网专用的低轨道卫星系统报文传输容量大，且支持用户量巨大，不会被设置冗长的申报审批流程，报文费用更灵活、合理。物联网专用低轨道卫星系统架构如图 6 所示。

对陆基 NB-IoT、铱星系统等现有低轨道卫星系统、一种可行的天基星座物联网设计进行对比，天基星座物联网设计与现有 LEO 系统参数比较如表 3 所示。

可见，一旦我国自主的面向物联网短报文应用的低轨道卫星系统建设完成，将为我国广袤的边疆地区、山区和牧区等地面通信覆盖的薄弱环节带来质的改变，也能与 5G 通信建设相互补充，早日实现全国范围内的物联网服务全覆盖和泛在通信服务。同时，将为我国“一带一路”遍布全球的经济贸易往来提供低成本的可靠通信手段。另外，可带动全产业链新生大量的智能物联网设备研发创新，并在全国尤其是边远地区应用实施，从而促进整体现代化水平提升和社会变革。

5 结束语

从应用业务来看，陆基 NB-IoT 与天基星座物联网的应用场景均为低功耗、低速率、远距离和广覆盖，具有相同的应用业务，但预计 2022 年人类陆基通信仍然部署在人口密集生活的经济发达区域，约 40% 的人口^[14]和超过 80% 以上的地球面积无陆基网络覆盖，物联网应用在很多领域受限。现有的低轨道卫星系统设计并未考虑物联网需求，物联网应用覆盖有限。然而，天基星座物联网除了具有全球覆盖的能力外，对高速移动目标的监控能力也远大于陆基 NB-IoT，因此，天基星座物联网应用前景十分广阔。

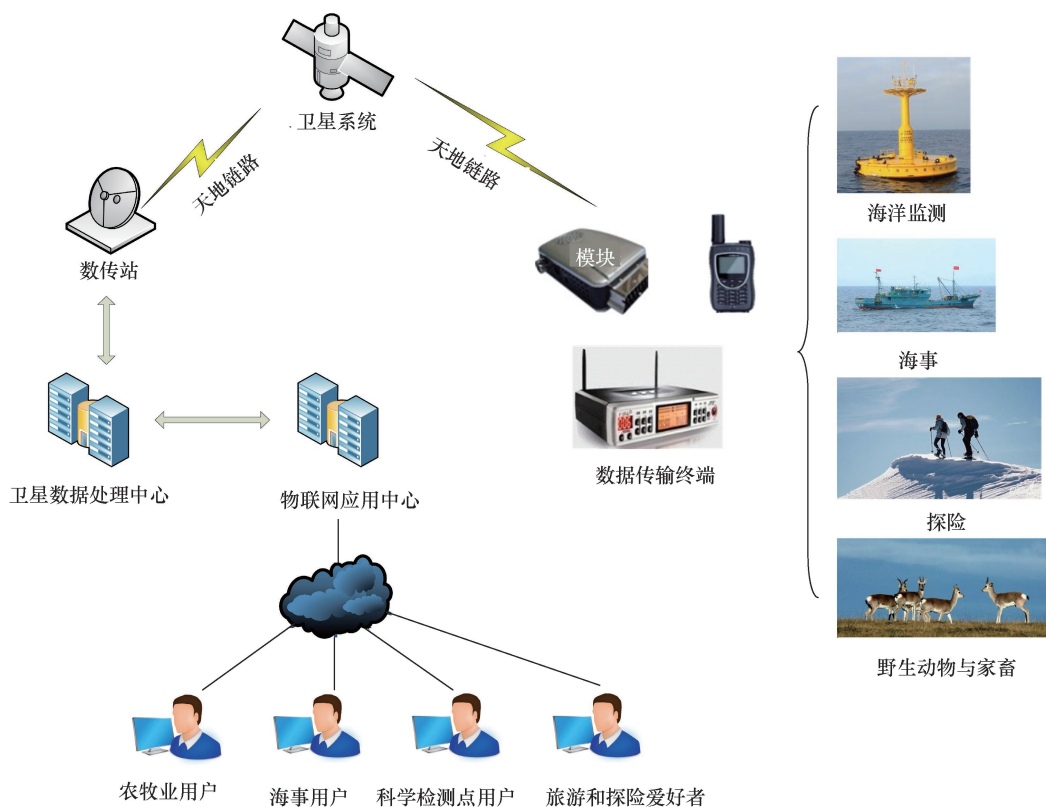


图 6 物联网专用低轨道卫星系统架构

表 3 天基星座物网络设计与现有 LEO 系统参数比较

	天基星座物网络设计概要	陆基 NB-IoT	铱星系统	全球星系统	ORBCOMM
业务特征	终端设备移动性多样, 从固定到高速移动, 低功耗、低速率、低成本、广覆盖和大容量	终端设备移动性差, 面向低功耗、低速率、低成本、广覆盖和大容量	双向语音通信和数据业务	双向语音通信和数据业务	双向短数据
系统容量	1 000 万级半双工	50 000/基站半双工	72 600, 双工	120 000, 双工	100 万级
通信速率	上行: 0.6~10 kbit/s 下行: 1.2 kbit/s 范围大, 取决于业务应用	0.35~230 kbit/s 范围大, 取决于业务应用	2.4 kbit/s~1.5 Mbit/s 业务类型相对固定	2.4 kbit/s、4.8 kbit/s 和 9.6 kbit/s 业务类型相对固定	上行: 2.4 kbit/s 下行: 4.8 kbit/s 业务类型相对固定
频率资源	L 波段	GSM、LTE 频段 带宽: 180 kHz	L 波段 1 616~1 626.5 MHz 带宽: 10.5 MHz	L 波段上行: 1 610~1 626.5 MHz S 波段下行: 2 483.5~2 500 MHz 带宽: 16.5 MHz	上行: 148~150.05 MHz 下行: 137~138 MHz 带宽: 2 MHz (UL) + 1 MHz (DL)
信道划分	41.5 kHz 频谱利用率低, 适用于高速移动	3.75~15 kbit/s 频谱利用率高, 不适用于高速移动	41.67 kHz 频谱利用率低, 适用于高速移动	1.25 MHz 频谱利用率低, 适用于高速移动	25 kHz 频谱利用率低, 适用于高速移动
资源分配	统一规划, 有限竞争 采用频分和码分相结合, 由终端发起资源申请, 基站调度分配, 资源占用时间短, 确保在一个波束内完成信息交换	集中分配, 统一管理 采用频分和时分相结合, 由终端发起资源申请, 基站调度分配, 资源占用时间短	集中分配, 统一管理 采用频分和时分相结合, 通信双方均可发起资源分配, 建立链路, 资源占用时间长	集中分配, 统一管理 采用频分和码分相结合, 通信双方均可发起资源分配, 建立链路, 资源占用时间长	采用动态信道分配 根据需要进行动态分配
多址方式	FDMA/CDMA 异步	下行 OFDMA 上行 SC-FDMA 频谱效率高, 对频偏敏感, 功率效率低	FDMA/TDMA 全网同步	FDMA/CDMA 异步	FDMA/TDMA 全网同步
调制编码	DDPSK 重复码+BCH; CC+BCH; TPC 无需相干解调, 对频偏不敏感; 星上半透明转发, 地面站解码	BPSK/QPSK 咬尾卷积码 (TBCC), Turbo 码 TBCC 通过两次编码与两次译码, 可提高短码的纠错性能	QPSK、CC 相干解调不适合高频偏、低功耗场景	QPSK、CC 相干解调不适合高频偏低功耗场景	OQPSK、BCH 相干解调不适合高频偏低功耗场景
基站设备、在轨卫星	体积小、重量为 40 kg、供电需求不高 处理能力弱 传输距离为 350~800 km	体积、重量无限制, 供电能力强 处理能力强 传输距离为 25 km	体积大、重量为 689 kg、供电能力 400 W 处理能力较强 传输距离为 780 km	体积较大、重量为 450 kg、供电能力 380 W 处理能力较强 传输距离为 1 414 km	体积较小、重量为 43 kg、供电需求不高 处理能力较弱 传输距离为 825 km
终端设备	功耗较低、成本较低 设备长期休眠, 事件触发, 上行数据时延短、下行数据时延长	功耗低、成本低 设备长期休眠, 事件触发, 上行数据时延短、下行数据时延长	功耗高、成本高 长期工作在监听状态, 上下行数据时延短	功耗高、成本高 长期工作在监听状态, 上/下行数据时延短	功耗较低、成本较低 长期工作在监听状态, 上/下行数据时延较短

参考文献:

[1] JOE H, AN H, WANG W, et al. In-band cellular IoT for smart home applications[C]//2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). IEEE, 2017: 336-337.

[2] MANGALVEDHE N, RATASUK R, GHOSH A. NB-IoT deployment study for low power wide area cellular IoT[C]//2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE, 2016: 1-6.

[3] 孙震强, 朱雪田, 张光辉, 等. 蜂窝物联网频率使用与干扰分析[J]. 移动通信, 2017, 41(3): 10-13.

SUN Z Q, ZHU X T, ZHANG G H, et al. NB-IoT spectrum utilization and interference analysis[J]. Mobile Communications, 2017, 41(3): 10-13.

[4] 邱刚, 陈宪明, 戴博. NB-IoT 系统资源调度研究[J]. 中兴通讯技术, 2017, 23(1): 15-20.

QIU G, CHEN X M, DAI B. Resource scheduling for NB-IoT[J]. ZTE Technology Journal, 2017, 23(1): 15-20.

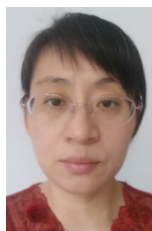
[5] LIN X Q, ADHIKARY A, ERIC W Y P. Random access preamble

- design and detection for 3GPP narrowband IoT systems[J]. IEEE Wireless Communications Letters, 2016, 5(6): 640-643.
- [6] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical layer procedures[S]. 2016.
- [7] YU C S, YU L, WU Y, et al. Uplink scheduling and link adaptation for narrowband Internet of things systems[J]. IEEE Access, 2017, 5: 1724-1734.
- [8] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation[S]. 2016.
- [9] 李鹏飞. 窄带物联网技术要点研究[J]. 通讯世界, 2017(5): 60-61.
LI P F. Research on key technologies of NB-IoT[J]. Telecom World, 2017(5): 60-61.
- [10] 卢斌. NB-IoT 物理控制信道 NB-PDCCH 及资源调度机制[J]. 移动通信, 2016, 40(23): 17-20.
LU B. Analysis on NB-PDCCH resource scheduling in NB-IoT[J]. Mobile Communications, 2016, 40(23): 17-20.
- [11] 面向低成本 IoT 市场的集成式 LTE 解决方案[J]. 今日电子, 2016(12): 72.
Integrated LTE solution for low cost IoT market[J]. Electronic Products, 2016(12): 72.
- [12] MU Q, LIU L, JIANG H L, et al. Investigation on link adaptation for LTE-based machine type communication[C]//2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE, 2016: 1-5.
- [13] 张更新, 张杭. 卫星移动通信系统[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
ZHANG G X, ZHANG H. Satellite mobile communication system[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2011.
- [14] WANG Z, TAKIS M P. A novel traffic dependent dynamic channel allocation and reservation technique for LEO mobile satellite systems[C]//Proceedings IEEE 56th Vehicular Technology Conference. IEEE, 2002: 1652-1656.

[作者简介]



刘洋 (1979-), 男, 吉林长春人, 航天信息股份有限公司硬件领域总工程师、航天金卡 (金盾) 研发中心主任, 主要研究方向为物联网和短距无线通信。



魏锋 (1977-), 女, 辽宁丹东人, 广东金融学院讲师, 主要研究方向为计算机和通信技术。



崔树成 (1975-), 男, 吉林长春人, 航天信息股份有限公司北京航天金卡 (金盾) 分公司副总工程师, 主要研究方向为计算机、系统集成和物联网应用。



王文剑 (1977-), 男, 北京人, 航天信息股份有限公司航天金卡 (金盾) 研发中心高级工程师, 主要研究方向为物联网应用和电子技术。