



## 高空通信平台的系统方案探讨

吴波洋

(信息产业部电信科研一所 上海 200032)

### 摘要

高空平台通信系统可与卫星和地面通信系统互补,是实现宽带无线通信的一种重要手段。本文简要介绍了分别采用飞艇和飞机作为载体的两种高空通信平台,并就高空平台通信系统的载体方案、工作频段和系统结构等方面提出了一些具体的设想。文中建议利用反向 C 频段开发我国的平流层通信系统,并就高空平台通信与卫星和地面微波通信在 C 频段的共存问题作了探讨。

关键词 高空通信平台 宽带无线通信 第三代移动通信 反向 C 频段 频率共享

### 1 概述

宽带无线通信的发展受制于有限的频谱资源。L 频段移动通信业务可使用的带宽有限,C 和 Ku 频段卫星通信的轨位资源也已被占满。在带宽资源较为丰富的 Ka 和更高频段,卫星通信在资金和技术上的投入大,LMSD 又因基站高度有限而难以覆盖建筑物后面的阴影区。为此,人们设想在平流层中建立高空通信平台,为地面的固定和移动用户的无线通信载波提供转发和交换等服务。

高空通信平台(HAPS)的定义为,位于海拔 20~50 km 的高空、相对地球处于固定位置的无线通信平台。平流层的高度可使通信平台的服务区覆盖一个大都市。平流层中的气流稳定,风速低,有利于通信平台的位置保持。高空通信平台可用飞艇或飞机作为载体。由于海拔越高,大气密度和气压越低,所需的飞艇容积或机翼面积也越大,加上气象数据表明 20~22 km 高度的平均风速最低,因此,计划中的高空通信平台均位于平流层的底部。飞艇类平台的海拔高度通常为 20~24 km,飞机类平台则为 15~18 km。

与静止卫星通信相比,高空平台通信的时延短、传输损耗小、频谱利用率高;与非静止卫星通信相比,平台通信的地面天线指向较为稳定,系统的一次性投入成本低;与 LMSD 相比,平台通信的服务区大、覆盖条件好。作为一个空中交换中心,高空平台最适于构建一个无线城域网。作为移动通信的基站,高空通信平台可以一次建成无缝隙的大覆盖。必要时,平台上还可

搭载遥感设备,用于地面、大气和空间观测。由于高空通信平台具有许多优点,国外已有公司开展商业运作。

### 2 方案介绍

高空通信平台的商用范例为 Sky Station 公司的以飞艇为载体的 STS (Stratospheric Telecommunications Service) 系统和 Angel Technologies 公司的以飞机为载体的 HALO (High Altitude Long Operation) 系统。除美国外,欧洲、日本、韩国、以色列和中国等国也已开始对高空通信平台进行研究。

#### 2.1 以飞艇为载体的方案

STS 系统以平流层充氦飞艇为通信平台,平台工作高度为 21 km,工作于 48/47 GHz 频段的系统提供固定通信业务。由 2100 个点波束构成的服务区直径约为 150 km,地面天线仰角大于 15°。相邻的 7 个波束工作于不同的频段,使平台的频率复用达 300 次。固定用户的双向数据速率最高可达 OC-3(155 Mbit/s),IP 业务的下行和上行速率分别为 10 Mbit/s 和 2 Mbit/s,移动用户的双向速率为 64~512 kbit/s。工作于 2GHz 频段的系统用于第三代移动通信,每个平台提供 1000 个点波束,用户天线仰角大于 22°的服务区直径约为 100 km,用户可使用 WCDMA 或 cdma2000 标准手机。

STS 飞艇长 157 m,直径 62 m,容积约为 170 000 m<sup>3</sup>,可产生 12.5 t 的浮力。飞艇的载重量约为 5 t,通信设备的重量占其中的五分之一。艇平台的连续工作时间为 2~3 年,可在降回地面充氦和维修后再次投入使用。平台的使用寿命可达 5~10 年。飞艇



的位置保持采用电晕离子推进器 (corona ion engine)。抵消飞艇所在高度的平均风速 (10 m/s) 和最大风速 (40 m/s) 所需的推力分别为 100 N 和 1600 N, 相应的消耗功率分别为 10 kW 和 160 kW。飞艇在白天和夜间分别由太阳能电池和燃料电池提供电能。

与此相比较, 日本的平流层通信平台的工作高度为 20 km。充氦飞艇长 245 m, 自重 32 t, 有效载荷 1 t。飞艇由尾部和两舷的螺旋桨提供位置保持的驱动力。为了抵消 30 m/s 的最大风速, 需要 200 kW 的电力。太阳能电池在白天的峰值发电量为 800 kW, 多余的电能用于给夜间使用的氢氧燃料电池充电。

## 2.2 以飞机为载体的方案

HALO 系统以飞行平台为中心站, 构成一个星状通信网。平台上载有 ATM 交换设备, 可为用户提供基于宽带 Internet 的各种业务。在美国, HALO 系统将工作在 28 GHz 或 38 GHz 的 LMDS 分配频段。为降低成本, 其地面设备的室内单元被设计为可与 LMDS 设备相兼容。在其他国家, 它可工作于由当地无线电管理部门所分配的 3~20 GHz 范围内的指定频段。

HALO 系统以能作长时间航行的飞机为载体。飞机在直径约为 15 km 的环形航线上作周期约 6 min 的转圈飞行。飞行平台的巡航高度通常为 16 km, 20° 仰角的服务区直径约为 70 km。飞机的续航时间可达 15 小时。HALO 系统通常由三个机组轮流工作, 每班工作 8 小时。

有效载荷重约 1 000 kg, 可供耗用的直流功率为 20 kW。直径约 5.4m 的圆形天线阵列被悬挂在机腹下。为 LMDS 频段设计的天线阵列中包含 125 个天线单元。当天线单元所覆盖的服务区的分配带宽为 40MHz 时, 最高传输速率为 OC-1 (51.84Mbit/s)。通过空间分割和频率复用, 可使系统的通信容量达到 10~100 Gbit/s。天线平台的吊挂结构可以修正机身在转圈飞行时的向内倾角, 使天线阵列对地面保持平行。地面天线可以低速跟踪飞行平台的周期性位置变化, 地面设备可在通信过程中进行波束和频率切换, 以适应天线投向地面的波束阵列在转圈飞行中所做的旋转和偏移。为了简化地面设备和压缩成本, 正在设计一种用电控方式旋转波束的方法, 以使投射到地面的波束维持不变。

## 3 系统设计方案探讨

### 3.1 载体方案

作为主要的两种载体, 飞艇与飞机各有所长。飞艇平台的优点在于: 工作高度较高, 服务区大; 艇身宽, 便于设置天线和通信设备; 位置保持稳定, 地面设备相对简单; 以太阳能为动力, 有利于环境保护。飞艇平台的缺点在于: 体积庞大, 不便在地面的停放和维护; 推进力小, 不利于在对流层中的升空和回收。飞机

平台有技术成熟、便于补充燃料和维修以及部署灵活等优点。其缺点为: 地面天线需有跟踪能力, 地面设备需做波束和频段切换, 平流层大气将受到飞机发动机的污染。比较结果表明, 如能掌握太阳能驱动和长时间滞空的平流层飞艇技术, 宜选用飞艇作为通信平台的载体。

人类对平流层大气环境的认识还不足, 在设计和制造平流层飞艇方面也缺乏经验。现有飞艇的飞行高度一般为 2 km, 该高度的大气密度约为 20 km 处的 12 倍。当载重量相同时, 平流层飞艇的体积将远大于低空飞艇。由于地面气压值约为 20 km 高度的气压值的 20 倍, 气囊容积在上升和下降过程中变化悬殊, 所以在飞艇设计中需有相应的对策。飞艇在平流层中的位置保持不需要很大的驱动力, 然而飞艇在对流层中升空和降落时驱动力小则难以抵抗风力的作用。为此, 平流层飞艇的研制工作应分步骤进行。只有在取得低空飞艇和小尺寸平流层飞艇的制造和放飞经验, 并且积累平流层大气数据后, 方能着手研制实用型的飞艇平台。

长期滞空工作的飞艇平台应该利用太阳能供电。由于电池在质量预算 (mass budget) 中占据较大的份额, 对平台耗电量和供电系统总重量的估算是飞艇平台设计中的重要环节。电池效率可能在长达数年的飞艇研制过程中有明显的提高, 为避免浪费飞艇的运载能力, 对此应有合理的预测。国外正在试验利用微波传送电力。若能应用该技术, 从地面向高空平台传送电能, 就能大幅度减少飞艇的重量和体积, 并且降低飞艇的技术难度和生产成本。

### 3.2 工作频段

WRC-97 会议已将 47~48 GHz 频段的 600 MHz 带宽分配给 HAPS 使用。由于该频段的降雨衰耗大, 日本等国在 WRC-2000 会上发起提案, 要求将 28~31 GHz 频段分配给 HAPS 使用, 并希望一国的主管部门可在不影响邻国的条件下自行决定将 3 GHz 以上的地面通信频段分配给 HAPS 使用。结果, 前一个提案使日本等 12 个亚太国家得到 1.15 GHz 的可使用频段, 后一个提案被列入 WRC-03 的议程。此外, WRC-2000 已同意将 HAPS 作为 IMT-2000 的基站使用。

由于降雨高度通常为地面上空的 3~5 km, 高空通信平台的降雨衰耗与静止和非静止卫星系统相同。我国的东南沿海地区在 Ku 频段已有 20~30 dB 的峰值雨衰, Ka 以上频段的降雨衰耗将更为严重。即使预留 10 dB 的雨衰余量, 也不足以避免经常性、甚至长时间的通信中断。此外, 由于 C 与 Ku 频段的轨位和频谱资源已被占满, 在 Ka 和 Q/V 频段已有大批卫星系统的申报资料正在等待国际电联的处理。如果平流层通信的分配频段需要与非静止卫星星座合用, 则因双方都使用小口径地面天线, 干扰协调的工作量和难度都很大。再加上我国在开发民用毫米



波通信设备和元器件方面的技术能力尚不成熟,应该考虑避就简,寻找频率较低的可用频段。

与毫米波频段相比,上行4 GHz和下行6 GHz的反向C频段似乎是更好的选择。C频段的技术和设备条件比较成熟,基本不受降雨衰减的影响,可以实现较高的传输质量。为了避免影响C频段卫星固定业务和地面微波业务的正常运作,应对卫星和地面微波通信与反向C频段的高空平台通信之间的互扰问题做深入的分析研究。

C频段卫星通信的上/下行分别工作在6/4 GHz频段。为了充分利用频谱资源,CCIR曾经研究过在固定卫星业务中使用4/6 GHz反向C频段的可行性。C频段卫星的服务区较大,天线旁瓣可能指向地球表面以外的空间,使相隔较远的两颗卫星之间出现天线旁瓣在赤道平面上相对的情况。如果两颗卫星分别工作于正向和反向的C频段,一颗卫星的下行载波可能会干扰另一颗卫星的相同频段。在分别工作于正、反向C频段的两个地球站之间,也可能发生上行载波干扰其它站下行载波的情况。

据此推断,只要限制工作于反向C频段的平台天线在东、西两个水平方向上的旁瓣增益,就可减轻其下行6 GHz频段对通信卫星的干扰,并且减轻卫星的下行载波对其上行4 GHz频段的干扰。与此相似,限制地面天线在水平方向上的旁瓣增益,可以减轻反向C频段的HAPS地面站与C频段卫星地球站之间的相互干扰。由于在平台通信地面站和卫星通信地球站的天线口面上,上行载波的功率谱密度都远高于下行载波的密度,而地面站与地球站之间的传输损耗因距离有限而相对较小,因此,地面天线之间的相互干扰远大于平台与卫星之间的互扰。在距离较近的地面天线之间,只能采取适当选址和加屏蔽等工程手段,减轻和避免干扰。在上述条件下,高空平台通信系统可以与静止卫星通信系统在C频段共存。

地面微波通信和高空平台通信之间的互扰与它和卫星通信之间的互扰相类似。主要区别在于,高空平台通信的小口径地面天线不利于抑制旁瓣干扰,因而对选址及加屏蔽等方面的要求更高。地面微波和高空平台通信之间的干扰通常属于一国主管部门的内部事物,其牵涉面和协调难度理应小于它与卫星通信之间的干扰协调。

卫星和地面微波通信是受到保护的既存系统,干扰问题的解决应从对新加入系统的限制着手。限制地面天线的低仰角使用可以降低平台和地面天线在水平方向的旁瓣增益,其负面影响为相应减小通信平台的服务区范围。限制平台和地面设备所发载波的功率谱密度可以减轻平台通信系统对其他系统的干扰,其不利因素为相对加重对本系统的外来干扰。在设计新系统时,应注意对天线口径、旁瓣增益和发射功率的限制,争取在不干扰既存系统、本系统又能正常工作的前提下,尽可能有效地

利用频谱和空间资源。在这方面,尚有待于进一步的研究、分析和计算。

高空通信平台之间、平台与卫星之间的通信不受降雨衰减的影响,这些通信链路可使用毫米波或光波。

### 3.3 系统结构

表1列出了平台工作高度为21 km的HAPS系统中,不同的地面天线仰角所对应的服务区半径、空间传输距离、与90°仰角相比的传输损耗增量等参数。由表1中的数据可发现,在天线仰角高于45°的中心区内,自由空间损耗的差值小于3 dB,其21 km的服务区半径足以包含大都市的主要城区。考虑到低仰角地区的传输损耗大,电波易受地面物体遮挡,也不利于干扰协调,服务区宜以30°仰角为界。由于高空平台通信的传输距离仅为静止卫星通信的千分之一,而传输损耗与距离的平方成正比,因此,高空平台通信的自由空间损耗与同频率卫星通信相比,差值在60 dB左右。传输距离、损耗和时延的减小,使得平台通信系统在天线增益、发射功率、网络功能和系统结构等方面有更多的选择余地。

表1 地面天线仰角与有关参数的对照关系

| 地面天线仰角(度)  | 90 | 75  | 60  | 45  | 30  | 15   |
|------------|----|-----|-----|-----|-----|------|
| 服务区半径(km)  |    | 6   | 12  | 21  | 36  | 76   |
| 传输距离(km)   | 21 | 22  | 24  | 30  | 42  | 79   |
| 空间损耗增量(dB) | 0  | 0.3 | 1.2 | 3.0 | 6.0 | 11.5 |

采用多波束覆盖和相邻波束分频段工作的方式,可使频谱资源得到重复利用。因为投射角度的不同,波束宽度相同的点波束在服务区中心和边缘的覆盖面积相差很大。在通信平台的天线设计中,应当采取措施缩小这一差别。如有可能,可将波束较宽、增益较低的天线用于中心区域,而将窄波束、高增益的天线用于服务区外围。飞艇平台有足够的空间安装多馈源大反射面天线或者喇叭阵列,工作于毫米波频段的平台可采用相控阵天线。

交叉极化复用方式可使频谱资源得到更有效的利用。考虑到圆极化天线在建站时不需要调整极化角,在与采用线极化的卫星和地面微波的干扰分析中,圆极化系统还可得到额外的大约3 dB的隔离度,因此,在线、圆两种极化方式中,高空平台通信系统宜选用后者。

在平台通信系统中,点波束的覆盖范围较窄,不同点波束的用户需要通过平台上的交换机建立通信链路。如欲简化平台结构,也可采用所有用户都只与关口站相连,并以关口站为中心构成星状网的方式。小站之间的业务需经关口站的交换,通过双跳建立联系。

高空通信平台可用于第三代移动通信。高空平台通信在某



种程度上相当于视距通信,它在 IMT-2000 系统中的最低天线仰角可为  $10^\circ$ , 服务区半径大于 100 km。由于 2 GHz 频段的无线电波在地面的传输损耗和衰落较为严重, 100 km 的自由空间损耗反而不及蜂窝移动通信在 10 km 距离内的传输损耗。因为高空通信平台的服务区大, 只需 2~3 个平台即可无缝覆盖从上海到南京的广大地域, 所以在移动通信系统更新换代的前期可被用于快速建网并且提供服务。随着业务量的增加与蜂窝基地站的陆续建成, 可将人口密集区的业务转移给地面系统, 以期提高频谱利用效率。

### 3.4 带宽与成本

C 频段通信卫星上的 28 个 36 MHz 转发器的总带宽约为 1 GHz, 每 MHz 带宽的年租金约为 5 万美元。卫星的购置、发射和保险成本约为 1 亿美元。包括轨位租金在内的运营成本大约可估算为每年 400 万美元。若按 11 年工作寿命估算, 每年每 MHz 带宽的平均成本约为 1.3 万美元。

假设高空通信平台的总运营成本为 6 000 万美元, 再假设平台的总带宽为 10 GHz, 按 10 年寿命平摊的每年每 MHz 带宽的平均成本约为 600 美元。假设利润率与通信卫星相同, 每 MHz 带宽的年租金应为 2 500 美元, 约为卫星通信的 1/20。

在上述比较中, C 频段通信卫星的服务区包含中国和一些周边国家, 而高空平台仅以密集多波束覆盖方圆数十公里的地区。不过, 无线接入的用户最关心的是高质量低成本的数据传输服务, 一般不会在意所在服务区的大小。考虑到高空平台的成本低、带宽大、设站空间多于卫星轨位, 平台通信还可用高效率的调制和编码方式提高单位带宽的传输速率, 可以认为, 高空平台通信系统在带宽成本以及频谱和空间资源的利用效率方面都优于卫星通信。

## 4 结束语

在高空平台通信系统的设计和开发过程中, 应该充分考虑中国的国情与国力。如果选用充氦飞艇作为平台的载体, 应尽早对平流层飞艇结构、太阳能电池、氢氧燃料电池、低密度大气中的高效率推进器以及飞艇的升空和回收等关键技术开展研究。通信网的系统结构可分两步考虑, 前期可用弯管方式双跳并通过关口站在地面交换, 条件成熟后应采用平台上的 ATM 交换。基于降雨衰减和技术条件等因素, Ka 等毫米波频段并不足取, 反向 C 频段或许是一种可行的选择。不过, 要求 ITU 将反向 C 频段分配给平台通信的操作程序相当复杂, 在干扰协调方面需做大量的分析和研究, 在频率申报过程中还需要有效的国际合作。

高空平台通信系统可以有效地利用频谱和空间资源。除了作为载体的飞艇外, 通信平台所用的技术与通信卫星相近, 我国有条件自行研制。各地的平台通信系统可按业务需求和建设能力, 由点到面逐步铺开。通信平台和地面设备的生产以及平台通信系统的建设可能形成一个产业, 甚至成为通信技术进步的一个新的支点。

## 参考文献

- 1 冯晓敏. 同温层通信及其频谱划分. 中国无线电管理, 1999(12)
- 2 长谷良裕. 成层圏プラットフォーム. 电子情报通信学会志, 2000(9)
- 3 Colella N J, Martin J N, Akyildiz I F. The HALO network. IEEE Communications Magazine, 2000(6)
- 4 恩田昌彦. 飞行船型成层圏プラットフォームの研究开发, 电波航法, 2000(3)

## Discussion on System Scenario for High Altitude Platform Station

Wu Boyang

(Telecommunication Research Institute of Ministry of Information Industry, Shanghai 200032)

**Abstract** Stratospheric HAPS is a key instrumentality for broadband wireless communication, as it could complement and cooperate with satellite and terrestrial communications. The paper briefly introduces two types of HAPS utilizing airship or airplane as its platform, and describes the consideration about platform type, frequency band and system infrastructure of HAPS. The paper suggests that reverse C-band could be used in developing HAPS' Chinese version. The studies at HAPS system sharing C-band with satellite and terrestrial systems are also discussed.

**Key words** HAPS, broadband wireless communication, IMT-2000, reverse C-band, frequency sharing

(收稿日期: 2001-12-27)