



# 基于高空平台的 宽带通信

Broadband Communications via High Altitude Platforms

【英】David Grace

【斯洛文尼亚】Mihael Mohorčič 著

陈树新 吴昊 赵志远 莫成坤 等译



WILEY



国防工业出版社  
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

# 基于高空平台的宽带通信

Broadband Communications via High Altitude Platforms

[英] David Grace [斯洛文尼亚] Mihael Mohorčič 著

陈树新 吴昊 赵志远 莫成坤 等译

国防工业出版社

• 北京 •

## 著作权合同登记 图字：军-2013-199 号

### 图书在版编目 (CIP) 数据

基于高空平台的宽带通信/(英) 格蕾丝 (Grace, D.), (斯洛文) 莫奇思著; 陈树新等译. —北京: 国防工业出版社, 2015.7

书名原文: Broadband communications via high altitude platforms

ISBN 978-7-118-10142-3

I. ①基… II. ①格… ②莫… ③陈… III. ①宽带通信系统  
IV. ①TN914.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 155996 号

Broadband Communications via High Altitude Platforms, by David Grace, Mihael Mohorčič. ISBN 978-7-118-10142-3.

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Ltd.

All rights reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests with National Defense Industry Press and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710×1000 1/16 印张 17¼ 字数 341 千字

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 79.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

# 译者序

近年来,高空平台通信(High-Altitude Platform Communications)因具有极高战略价值而受到广泛关注。在军事应用中,它具有覆盖范围广、通信效果好、抗毁能力强等优点;在商业应用中,它能够提供高速数据传输、应急通信等服务。与此同时,HAP通信对于补充现有通信方式也有着重要意义。为此,美国、日本等国家加快了对高空平台飞行器、通信理论的研究,国际电信联盟(ITU)也制定了相应的标准和建议,来规范、促进HAP通信系统的进一步应用。而我国对HAP通信系统的研究尚处于起步阶段,急需将国外HAP通信系统的前沿理论、应用引入,以满足相关科研人员、工程技术人员的需要。

*Broadband Communications via High-Altitude Platforms* 于2011年出版,从理论、技术、应用三个层面深入研究了高空平台宽带通信系统。该书详细介绍了高空平台宽带通信系统的工作原理、应用场景、经济潜力,系统阐述了高空平台宽带通信的应用环境、信道建模等问题,并对多HAP通信系统的组网、传输协议等进行了详尽的研究。该书深入浅出,紧贴前沿,不仅对此前HAP宽带通信相关内容进行了全面系统的总结,而且对高空平台系统的经济模型、先进通信技术、自由空间光传输、MIMO技术等领域的前沿问题进行了细致的研究,具有极高的参考价值。

本书的作者David Grace教授是最早从事高空平台通信研究的人员之一,其课题组在*IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*、*IEEE Communication Letters*等高档次期刊、会议中发表过多篇学术论文,在本领域具有很高的权威性。同时,该书原著对我们前期开展高空平台通信关键技术研究起到了至关重要的作用。因此,我们希望本书的中文译著出版后,能够使读者系统地了解无线通信系统,满足从事HAP通信系统研究人员的需求。

本书的第1章~第4章由空军工程大学陈树新教授翻译,前言和第5章由硕士研究生莫成坤翻译,第6章~第8章由博士研究生吴昊翻译,第9章和第10章由博士研究生赵志远翻译。全书由吴昊进行了合译,并由陈树新进行了审阅和修改。

同时，博士研究生陈坤，硕士研究生霍辰杰、张艺航、史密等也参与了部分翻译和校对工作。

在本书的翻译过程中，我们得到了吴德伟教授、赵修斌教授的关心和支持，在此表示感谢，同时国防工业出版社牛旭东老师的指导与督促是本书顺利完成的关键，在此表示衷心的感谢。

同时还要感谢空军工程大学“军用导航国家级实验教学示范中心”，以及空军工程大学科研部机关和研究中心对本书翻译的关心和支持。

由于译者水平有限，书中难免存在错误或不妥之处，恳请广大读者批评指正。

E-mail: chenshuxin68@sina.com

译 者

2015 年 6 月

# 前 言

装备了执行任务所需负载的空中平台，在过去十年中得到了全球性的关注，这些平台的主要形式有载人飞机、无人机、气球或飞艇等。根据负载的类型，空中平台可用于执行多种任务，包括远程监控与监视、定位与导航、为固定或移动用户提供宽带无线接入等。特别受到关注的是，可以在平流层底层保持位置稳定的平台，通常被称为“高空平台”(HAP)。这类平台融合了地面无线和卫星通信系统的一些优点，同时避免了许多弊端。HAP 不仅非常适用于短期大规模项目和灾害救援中 ad-hoc 网络的建设，而且适用于城市环境中新型服务与应用的拓展，以及偏远与人口稀少地区的基础接入服务。然而，为了使 HAP 成为无线技术发展中一个可接受的补充方案，必须把基于 HAP 的通信系统有效地整合到未来异构无线接入网络的基础建设中。

目前还没有单独介绍 HAP 的书籍，而 HAP 只是部分涵盖于地面无线和卫星通信的书籍中，其中一个主要原因是 HAP 与地面无线和卫星通信系统之间的相似性和共性。本书的作者很早就参与了 HAP 的相关研究，发现将新人引入该研究领域是一个重要问题，这也是编写本书最初的想法。事实上，相对于地面无线与卫星通信，基于 HAP 通信方法的发展状况和它的特性，需要一本专门的书籍来系统阐述 HAP 的相关问题与解决方案。本书的目的是为研究团队提供参考，并提供当前研究活动的最新数据动态。这些资料是从长期从事 HAP 研究活动的个人和长远贡献者们那里得到的，他们中大部分参与执行了欧洲 HeliNet、CAPANINA、COST Action 297 项目。

本书在结构上分为三个部分，提供了 HAP 通信技术的总体情况和行业概况，介绍了近期成果中最有发展潜力的研究活动，并且描述了 HAP 未来发展的路线图。本书在写作过程中有意进行侧重，重点关注了 HAP 通信相对于地面无线及卫星通信而言所需要融合的现有或者正在发展中的新概念与程序方面的主题。最值得注意的主题包括复合 HAP 网络，先进通信技术和资源管理技术，自由空间光学和复合 HAP 的网络含义。为了向读者展示不同的 HAP 应用和方案的实际技术化经济潜力，本书重点强调了 HAP 的应用和详细商业模型，这些在面向技术研究团队的书籍中往往被忽略或不恰当地覆盖掉了。

书中所涉及的素材绝大多数是该领域的作者、贡献者和其他研究人员的长期研究结果，他们中的很多人是全球公认的顶尖专家。组织这些素材时，我们争取尽量充分地参考其他公开可用的信息来源，如期刊、会议论文、技术报告和各国

际机构的建议，这些信息可更加详细地处理给出的主题。

我们希望本书能够简化进入该研究领域的第一步，动员新的研究人员和博士生参与进来，促进基于 HAP 的通信系统在欠发达地区的推进，并最终成功实现与未来的异构无线接入基础设施的融合。

虽然本书由我们编写，但需要特别感谢名单中的那些出色贡献者和在许多项目中其他没有提供姓名的各位贡献者；感谢他们的贡献、指导、宝贵意见和长期的研讨。希望他们在未来涉及 HAP 的工作中也能从本书得到帮助。

最后，感谢 Polona Anzur 女士，她在图片和插图处理时付出了相当大的精力，同样感谢 John Wiley & Sons 编辑团队，尤其是 Tiina Ruonamaa 和 Sarah Tilley，他们在本书准备工作中给予了很大的耐心、热情和支持。

David Grace 和 Mihael Mohorčič  
于英国约克郡和斯洛文尼亚的卢布尔雅那  
2010 年 7 月

# 目 录

## 第一部分 基础知识, 技术和经济学

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 概述                        | 1  |
| 1.1 引言                          | 1  |
| 1.2 历史                          | 4  |
| 1.3 HAP 环境中的无线通信                | 6  |
| 1.3.1 HAP 与地面和卫星系统的性能比较         | 7  |
| 1.3.2 环境监管和限制                   | 9  |
| 1.4 HAP 提供的服务及应用程序的候选标准         | 12 |
| 1.4.1 移动蜂窝标准                    | 13 |
| 1.4.2 IEEE 802 无线标准             | 14 |
| 1.4.3 多媒体应用的多点分配服务——MMDS 和 LMDS | 17 |
| 1.4.4 DVB 标准                    | 17 |
| 1.5 过去及现在的 HAP 相关项目、试验和发展计划概述   | 19 |
| 1.5.1 StratXX AG——X 站           | 19 |
| 1.5.2 ERS srl                   | 19 |
| 1.5.3 CAPANINA                  | 20 |
| 1.5.4 USEHAAS                   | 21 |
| 1.5.5 COST 297                  | 22 |
| 1.5.6 日本国家项目                    | 22 |
| 1.5.7 韩国国家项目                    | 25 |
| 1.5.8 美国航空航天局活动                 | 26 |
| 1.5.9 AV Inc                    | 27 |
| 1.5.10 洛克希德·马丁公司、波音公司和全球 Aeros  | 28 |
| 1.5.11 先进技术组 (ATG)              | 28 |
| 1.5.12 欧洲空间局 (ESA) 活动           | 29 |
| 1.5.13 佛兰芒研究所 (VITO) 技术研究       | 29 |
| 1.5.14 QinetiQ 有限公司             | 30 |
| 1.5.15 空间数据公司                   | 30 |

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| 1.5.16 HeliNet .....                         | 30        |
| 1.5.17 Lindstrand 科技有限公司 (英国) / 斯图加特大学 ..... | 31        |
| 1.5.18 SkyStation .....                      | 31        |
| 1.5.19 天使科技——HALO .....                      | 31        |
| 参考文献 .....                                   | 31        |
| <b>第 2 章 航空学和热力学</b> .....                   | <b>37</b> |
| 2.1 应用环境和相关挑战 .....                          | 37        |
| 2.1.1 大气层 .....                              | 37        |
| 2.2 用于 HAP 的机载装置类型 .....                     | 40        |
| 2.2.1 静压空中平台 .....                           | 41        |
| 2.2.2 气动空中平台 .....                           | 42        |
| 2.3 可替代动力子系统 .....                           | 44        |
| 2.3.1 HAP 上的常规能源 .....                       | 44        |
| 2.3.2 HAP 上的可再生能源 .....                      | 45        |
| 2.3.3 远距离输入 HAP 的能量 .....                    | 46        |
| 2.4 飞行/高度控制 .....                            | 46        |
| 2.4.1 HAP 轨道控制 .....                         | 47        |
| 2.4.2 HAP 移动模型 .....                         | 47        |
| 2.5 HAP 飞机和飞艇的典型特征 .....                     | 51        |
| 参考文献 .....                                   | 53        |
| <b>第 3 章 应用场景和参考架构</b> .....                 | <b>55</b> |
| 3.1 应用场景 .....                               | 55        |
| 3.1.1 HAP 的用户方案 .....                        | 56        |
| 3.1.2 HAP 网络方案 .....                         | 57        |
| 3.2 对天线的要求以及相关技术难题 .....                     | 59        |
| 3.2.1 介绍 .....                               | 59        |
| 3.2.2 毫米波宽带服务传输所用天线的类型 .....                 | 59        |
| 3.2.3 天线模型实例 .....                           | 61        |
| 3.3 基于 HAP 通信系统的系统和网络架构 .....                | 63        |
| 3.3.1 概述 .....                               | 63        |
| 3.3.2 HAP 架构 .....                           | 66        |
| 3.3.3 宽带通信链路 .....                           | 70        |
| 参考文献 .....                                   | 85        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第 4 章 应用及商业模型               | 86  |
| 4.1 概述                      | 86  |
| 4.2 应用和服务                   | 87  |
| 4.2.1 短期                    | 89  |
| 4.2.2 中期                    | 90  |
| 4.2.3 长期                    | 90  |
| 4.3 业务模式介绍                  | 91  |
| 4.3.1 运行场景                  | 91  |
| 4.3.2 商业模型假设                | 93  |
| 4.4 服务提供商中心模型               | 95  |
| 4.4.1 带宽利用和竞争比              | 95  |
| 4.4.2 列车 WLAN               | 96  |
| 4.4.3 地面基站/无线接入点的回程通信       | 99  |
| 4.4.4 宽带互联网                 | 102 |
| 4.4.5 广播/多播                 | 104 |
| 4.4.6 事件服务和救灾               | 106 |
| 4.4.7 第三代 (3G) 移动电话         | 112 |
| 4.5 HAP 运营商中心模型             | 115 |
| 4.5.1 财务模型假设                | 115 |
| 4.5.2 太阳能动力的无人驾驶飞艇          | 116 |
| 4.5.3 燃料动力载人飞机              | 119 |
| 4.5.4 燃料动力无人驾驶飞机            | 121 |
| 4.5.5 太阳能动力无人驾驶飞机           | 123 |
| 4.6 风险评估                    | 125 |
| 4.6.1 技术评估                  | 125 |
| 4.6.2 市场评估                  | 127 |
| 参考文献                        | 128 |
| 第 5 章 HAP 和基于 HAP 应用的未来发展   | 129 |
| 5.1 航空发展趋势                  | 129 |
| 5.2 不同应用类型的 HAP 路线图         | 131 |
| 5.2.1 应用实例 1: 列车 WLAN 服务    | 131 |
| 5.2.2 应用实例 2: 地面基站/接入点的回程通信 | 132 |
| 5.2.3 应用实例 3: 宽带互联网         | 132 |
| 5.2.4 应用实例 4: 广播/多播         | 132 |
| 5.2.5 应用实例 5: 3G 移动通信       | 132 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 5.3 电信任务 .....                            | 133 |
| 5.3.1 电信应用载荷 .....                        | 135 |
| 参考文献 .....                                | 137 |
| <br><b>第二部分 基于高空平台 (HAP) 的宽带无线通信</b>      |     |
| <br>第6章 HAP 系统的应用环境 .....                 | 138 |
| 6.1 应用环境以及与之相关的限制因素 .....                 | 138 |
| 6.2 传输信道建模 .....                          | 143 |
| 6.3 HAP 无线频段传播信道建模 .....                  | 147 |
| 6.3.1 水蒸气和大气气体的吸收 .....                   | 148 |
| 6.3.2 闪烁 .....                            | 149 |
| 6.3.3 雨衰 .....                            | 151 |
| 6.3.4 雨衰和闪烁 .....                         | 155 |
| 6.3.5 水汽效应对交叉极化的影响 .....                  | 156 |
| 6.3.6 周围环境的影响 .....                       | 157 |
| 6.4 结论 .....                              | 160 |
| 参考文献 .....                                | 161 |
| <br>第7章 HAP 通信系统中的 FSO (自由空间光通信) 技术 ..... | 164 |
| 7.1 FSO 技术在 HAP 网络中的应用 .....              | 164 |
| 7.1.1 大气影响 .....                          | 166 |
| 7.1.2 HAP 自由空间光通信链路配置 .....               | 169 |
| 7.2 HAP 网络 FSO 链路的物理层方面 .....             | 172 |
| 7.3 光传送网络的自由空间光系统 .....                   | 175 |
| 参考文献 .....                                | 178 |
| <br>第8章 高空平台通信系统可利用的先进通信技术 .....          | 179 |
| 8.1 现代无线系统设计的相关概念 .....                   | 179 |
| 8.1.1 智能天线 .....                          | 179 |
| 8.1.2 认知无线电和动态频谱管理 .....                  | 180 |
| 8.1.3 跨层设计和优化 .....                       | 181 |
| 8.2 分集技术 .....                            | 182 |
| 8.2.1 宽带高空平台通信中的分集技术 .....                | 184 |
| 8.3 多输入多输出系统 .....                        | 187 |
| 8.3.1 空间复用 .....                          | 187 |
| 8.3.2 空时编码 .....                          | 189 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 8.3.3 高空平台宽带通信中 MIMO 系统          | 191 |
| 8.4 自适应编码调制方案                    | 193 |
| 8.4.1 高空平台宽带通信中的 ACM             | 196 |
| 8.5 先进的无线资源管理技术                  | 201 |
| 8.5.1 引言                         | 201 |
| 8.5.2 场景                         | 202 |
| 8.5.3 信道分配策略                     | 202 |
| 8.5.4 性能                         | 203 |
| 8.5.5 无连接中断 (NCD) 算法             | 204 |
| 8.5.6 无下行链路阈值检测的无连接中断算法 (NCD-ND) | 206 |
| 8.5.7 无阈值检测 (NT)                 | 207 |
| 8.5.8 讨论                         | 208 |
| 参考文献                             | 209 |

## 第三部分 多 HAP 技术

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第 9 章 多个 HAP 组成的网络         | 213 |
| 9.1 为什么要组建 HAP 星座?         | 213 |
| 9.1.1 多 HAP 系统的模型          | 214 |
| 9.2 多 HAP 星座计划             | 215 |
| 9.2.1 配备定向 HAP 天线的多 HAP 方案 | 215 |
| 9.3 多 HAP 系统中用户的天线指向误差     | 228 |
| 9.3.1 描述用户天线指向误差的方法        | 229 |
| 9.3.2 指向误差造成的影响            | 232 |
| 9.4 多 HAP 系统的二环星座设计        | 236 |
| 9.4.1 二环星座的概述              | 236 |
| 9.5 二环星座设计的约束条件            | 238 |
| 9.5.1 星座设计策略               | 243 |
| 参考文献                       | 251 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第 10 章 多个 HAP 星座的网络联系  | 253 |
| 10.1 网络协议              | 253 |
| 10.1.1 IP 基础           | 253 |
| 10.1.2 移动 IP 协议        | 254 |
| 10.1.3 MIP 的分层体系       | 255 |
| 10.2 基于 HAP 通信系统的移动性管理 | 256 |
| 10.2.1 接入级的可移动性        | 256 |

|        |                   |     |
|--------|-------------------|-----|
| 10.2.2 | 微观移动性 .....       | 257 |
| 10.2.3 | 宏观移动性 .....       | 258 |
| 10.2.4 | 移动用户的类型 .....     | 258 |
| 10.2.5 | 网络移动性 .....       | 258 |
| 10.3   | 移动性以及回程减荷技术 ..... | 263 |
| 10.3.1 | 本地代理的设置 .....     | 263 |
| 10.3.2 | 多连接支持 .....       | 265 |
| 10.3.3 | MN 移动的可预测性 .....  | 268 |
|        | 参考文献 .....        | 269 |

# 第一部分 基础知识，技术和经济学

## 第1章 概 述

### 1.1 引 言

随着对下一代多媒体应用能力需求的不断增长，服务供应商们正在寻找提供无线通信服务的新方法。在发达国家，我们今天已经熟悉了城市周边随处可见的移动通信中继塔，但其部署和持续服务的花费昂贵。这种分区拼接式覆盖实现的蜂窝通信，是一种提供大容量密集服务的有效方法，我们用“蜂窝”这个术语来描述通过频分复用提供大容量密集的服务。这一概念目前已经被许多技术所采用，不但包括众所周知的 2G 和 3G 移动通信系统，而且像 WiMAX 和 WiFi 这类后来的岛屿覆盖式（热点）的新技术，也是通过频分复用来实现的。

卫星通信是一种更适用于乡村或欠发达地区的通信。如今的卫星技术日趋精密，能够使用极少的地面基础设施来提供点波束覆盖，但却无法达到与地面设施同等的大容量性能。

第三种提供通信以及其他服务的可行性方案是采用高空平台（HAP）。HAP 是运行在平流层中的飞艇或飞机，距离地面  $17\sim 22\text{ km}^{[1,2]}$ 。这类平台具有快速延伸通信距离的能力，并且可以为大量用户提供服务，而需要的通信设施比地面网络要少得多<sup>[3]</sup>。因此，HAP 与地面网络接近，同时能够保持广域覆盖的特点，意味着 HAP 兼具了地面网络和卫星通信的优点。本书后面的章节会对这些优点进行更详细的探索。

采用 HAP 的主要目的是利用一个理想的空中固定点，为一个广域覆盖范围提供半永久性的高数据速率和大容量通信服务。实际上，由于航空学上的限制，所有 HAP 的应用会受到相应影响。我们发现对下列关于 HAP 的重要统计数据的研究是很有用的，这些因素可能会极大地影响到通信系统设计与系统的性能。

- (1) 负载能力、质量与容量；
- (2) 位置保持与姿态控制；

(3) 持久性。

如图 1.1 所示, HAP 可划分为四类:

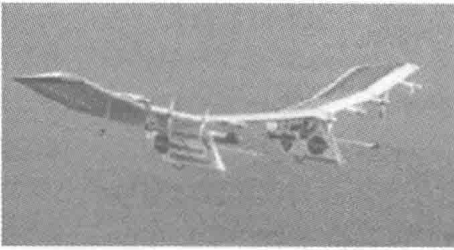
- (1) 载人机, 如 Grob G520T Egrett<sup>[4,5]</sup>。
- (2) 无人机(燃料动力), 如 AV Global Observer<sup>[6]</sup>。
- (3) 无人机(太阳能), 如 AV/NASA Pathfinder Plus<sup>[7]</sup>。
- (4) 无人飞艇(太阳能), 如 Lockheed Martin HAA<sup>[8,9]</sup>。



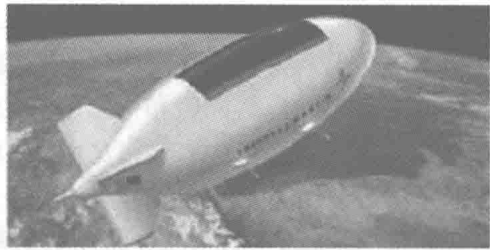
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1.1 高空平台主要类型的举例

(a) 载人机, Grob Aircraft AG 生产; (b) 无人机(燃料动力), AeroVironment Inc 生产, [www.avinc.com](http://www.avinc.com);

(c) 无人机(太阳能), NASA 生产 - <http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html>;

(d) 无人飞艇(太阳能), Lockheed Martin 生产。

尽管第二类和第三类 HAP 已经进行过实验性测试, 但迄今为止只有第一类 HAP 可以用于商业用途。第四类太阳能驱动的无人飞艇, 仍然有待实现。

鉴于其位置长期固定的需求和负载能力, 太阳能驱动的无人飞艇是最适于一般通信要求的 HAP。尽管这类平台的前景是最广阔的, 但新型材料与设计有待进一步发展, 并且飞艇控制技术也需要重新审视。从短期和中期看来, 现存的或其他处于发展阶段的 HAP, 如载人机或无人机是有运用可能的。这些 HAP 性能受到很多限制, 但仍可满足有限的任务需求。通过细致的系统设计来减弱其中一些限制的影响是可行的, 这将在后面进行讨论。同样, 针对 HAP 与认知更广泛的无人驾驶飞行器(UAV)的交叉点, 是值得进行研究的。UAV 一般用于低空飞行(Global Hawk 的可能性除外<sup>[10]</sup>), 关于 UAV 技术的更多信息参见文献[11]。

考虑到不同 HAP 飞行器的成熟情况,相关组织正在追求一种渐进的发展方式,以此来建立信心和发展技术,而更重要的是为制造商创造更多的收入。后面我们会在 1.5 节描述一些正在进行的这类计划。这样可以创造出一个投资——信心的循环。关于载荷的设计,可以采用模块化的方式来描述载荷的规格参数,使它们(理想地)适用于所有平台类型,增强需求与规格的通用性,从而使非专业人员更容易理解这项技术<sup>[12]</sup>。我们希望将一个或更多的平台模型逐渐展开,每个平台提供一个或多个负载模块服务(电信或其他),为一个公共覆盖区域提供服务。通过平台连成网络,实现终端用户透明信息传输业务。

为了协助 HAP 的最终部署,国际电信联盟(ITU)将 48GHz 频段的频谱分配给全球范围内使用<sup>[13]</sup>, 31/28GHz 频段分配给指定的国家使用<sup>[14]</sup>,并将 3G 频段的频谱分配给 HAP 使用。目前所面对的主要工作就是将来自 HAP 的信息传送给最终的 3G 网络,并由 3G 网络进行调度和管理,例如文献[16-18]所述,或者利用微波频段的通信进行调度和管理。频谱的共享研究已经完成,如文献[19]所述,不久所有这些频段都可以被其他服务所使用。

建立比卫星通信与地面通信这两种体系更好的通信系统,需要高效的频率复用来保证这样的部署方式可以提供较高的频谱利用效率。我们将会在随后的章节中探索具体的蜂窝技术和复用方案的细节,但是地面上蜂窝传送的基础是在 HAP 上使用的点波束天线。与地面通信和卫星通信不同,HAP 的位置保持技术相对薄弱。这就需要 HAP 和可能的用户终端设备的周密设计,使天线可以持续对准正确方向,以保持通信连接。一种应对这种移动的可选方法就是将用户从一个蜂窝传递到另一个,但是不像地面通信的传递方式,这里说的是蜂窝的移动,而非用户的移动。

HAP 相较地面系统一个很大的优势就是蜂窝可以定期地停留在一个区域上空,所以覆盖范围本质上不受地理及地形因素的影响,且因为源自同一个 HAP,这种集中控制机制可以提高资源的利用率。

本书的主要目的是研究基于地面通信标准,如何使用 HAP 提供 60km 广域覆盖范围的宽带通信服务。鉴于各种频段已经被 HAP 的收、发设备所接受,根据 WiMAX 宽带标准和扩展微波频段的使用,例如 31/28GHz,可以轻松完成上述大部分的工作。尽管如此,许多技术和规范可以应用的更广泛,甚至可以应用在更低频率的宽带通信(2~5GHz)中,比如用 HAP 提供更传统的 3G 移动通信服务。本书根据每个载荷舱传输速率 120 Mbit/s 的设定,完成大部分设计和实现的分析,这个数据是由链路开销的基本限制约束得到(如天线尺寸和传输功率的限制等)的。这比目前绝大多数陆地 WiMAX 系统要高得多,将会支持每个区域的基础数据传输速率,但本书在这里的目标是利用常规的技术,因此,将来可以继续加以验证和分析。

## 1.2 历史

像许多新基础科技发展的开始那样，我们很难准确定位 HAP 的发明者或它第一次出版的时间。HAP 的起源可以追溯到 1783 年 Mongolfier 兄弟将第一个热气球升空，但直到 19 世纪 60 年代早期才能够找到直接参考，这类航空器可以提供一种半持久状态来传递信息。现实中的例子就是一个叫做“回波”（Echo）的气球，将来自克劳福德山的贝尔实验室设备的无线电信号反射给远距离电话用户。差不多在同一时期，日本通信研究实验室发表了一篇关于利用飞艇提供通信的研究报告。据我们所知，在随后几年中便出现了其他一些参考文献。我们发现的另一篇公开的参考文献是 1992 年的一篇社论<sup>[20]</sup>，再一次提出了类似的观点。

HAP 真正引起人们的兴趣是在 1997 年和 1998 年，SkyStation International 建造了一个长达 200 m，可以在 20 km 高空飞行数年的太阳能动力飞艇，从而提出了 HAP 的概念。他们当时的初期目标是提供 3G 和宽带通信。如图 1.2 所示，飞艇的覆盖半径设计约为 300 km，由相控阵天线系统产生 700 个蜂窝小区。他们拥有包括美国前国务卿 Alexander Haig 和首席技术官 Y.C. Lee 在内的多个可靠赞助者。这项计划得到了认真的对待，并且国际电信联盟-无线电通信部（ITU-R）内部的大部分初始工作由 SkyStation 负责，计划根据他们提出的 ITU-R F.1500 号建议来完成。1997 年国际无线电通信大会（WRC）上，他们成功得到了供 HAP 使用的 47/48GHz 频段，随后 WRC 又划分出了更多频率用于 HAP。

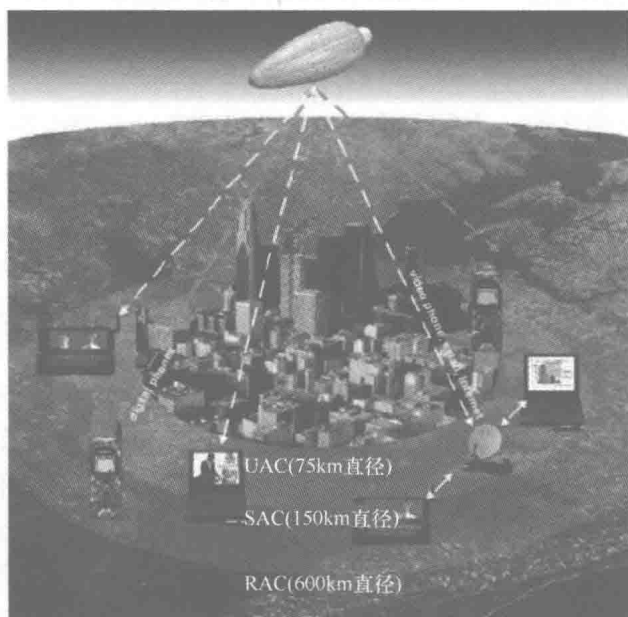


图 1.2 最早由 SkyStation 提出的 HAP 宽带和 3G 通信概念，由 SkyStation 生产