

角分集天线参数设计技术研究

高自新¹, 徐志平²

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081;
2. 中国人民解放军 96275 部队, 河南 洛阳 471003)

摘要 角分集相对于传统的空间分集和频率分集在空间体积和频谱利用率(接收角分集)等方面有着明显的优势。从工程实用角度出发,分析了不同散射通信站型条件下天线口径、偏焦距离、工作频率和通信距离等参数对角分集相关系数的影响,并进行了相应的计算和仿真,提出了角分集天线在设计中的主要参数,能够为散射通信工程设计提供参考。

关键词 角分集; 偏焦距离; 相关系数; 天线口径

中图分类号 TN850.9 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2013)04-0054-03

Research on Parameter of Angle Diversity Antenna in Design

GAO Zi-xin¹, XU Zhi-ping²

(1. The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
2. Unit 96275, PLA, Luoyang He'nan 471003, China)

Abstract The angle diversity has more advantages in space physical volume and frequency chart utilization, etc. comparing with traditional space and frequency diversity. From the point of view of practical engineering, this paper analyzes the influence of such parameters as antenna aperture, distance of departure focus, operating frequency and communication distance on angle diversity correlation coefficient. Through the calculation and simulation, this paper presents the main parameters of angle diversity antenna in design, which can provide a reference for troposcatter communication engineering design.

Key words angle diversity; distance of departure focus; relative coefficient; antenna aperture

0 引言

对流层散射通信信道是一种时变衰落信道,为克服信道衰落对通信质量的影响,散射通信设备普遍采用分集技术。传统的多天线空间分集方式分集效果好,但设备数量多,机动能力较差。单天线设备与之相比有一定的优势。

单天线的分集形式主要包括频率分集、时间分集和角分集等方式。角分集相对于空间分集在空间占用体积、设备数量等方面,相对于带内频率分集在频谱利用率(接收角分集)和抗频域平坦衰落等方面有着明显的优势。本文旨在通过计算和仿真提出角分集天线在设计中的主要参数,以为角分集通信天线工程设计提供参考。

1 角分集的相关系数

设角分集的 2 个波束半功率角相等,2 个波束的水平夹角为 φ , 垂直夹角为 θ 。则角分集的包络的相关系数 $\rho(\varphi, \theta)$ ^[1] 表示为:

$$\rho(\varphi, \theta) = \rho_h(\varphi) \cdot \rho_v(\theta)。 \quad (1)$$

式中, $\rho_h(\varphi)$ 为水平包络相关系数; $\rho_v(\theta)$ 为垂直包络相关系数。

$$\rho_h(\varphi) = \exp\left[-\left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)\right], \varphi_0 = 0.8C \frac{\psi_{2h}^2}{\theta_{20}};$$

$$C = \sqrt{1 + 1.1\left[\left(\frac{\theta_{10}}{\psi_{1h}}\right)^2 + \left(\frac{\theta_{20}}{\psi_{2h}}\right)^2\right]};$$

$\psi_{1/2h}$ 为发射/接收天线的水平半功率角;

$\theta_{1/20}$ 为发射/接收点一边的部分散射角。

同理可以计算出垂直波束包络的相关系数 $\rho_v(\theta)$ 为:

$$\rho_v(\theta) = \exp\left[-\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)\right]。$$

由于对流层散射体的分布特点,在相同角度条件下垂直角分集效果要好于水平角分集。因此在文中重点研究垂直角分集方式。

从以上公式可知,相关系数主要取决于以下参数^[1,2]:①偏焦距离,决定了天线两波束的夹角;②天线口径和工作频率,决定了天线的半功率角;③通信距离,决定了散射链路的部分散射角。

而从工程经验上看,当两通道的相关系数不大

收稿日期:2013-01-17

于 0.6 时,便可以获得较好的分集效果。

2 偏焦馈源的影响

根据角分集天线的设计特点,主要考虑横向偏焦馈源的情况,如图 1 所示。馈源从焦点 F 横向偏焦至 F' 点,偏焦距离为 Δy ,当 Δy 远小于 FM 时,由 F' 向反射面投射的射线经过反射后仍可近似平行于抛物面的轴线。由于馈源偏移后由 F' 点经反射

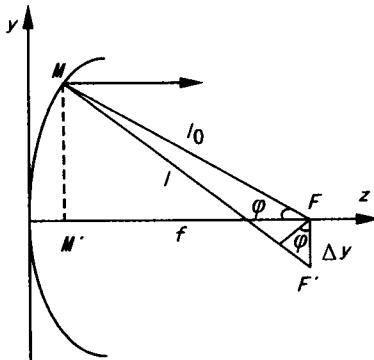


图 1 横向偏焦抛物面示意图

面投射到焦点平面时射线经过的路程不再是常数,因此抛物面口径场不再是同相场。口径面上各点的相位可以由馈源位于 F' 时的相位延迟与馈源在 F 点的相位延迟之差来表示。

路径差^[3-6]:

$$\Delta l = l - l_0 = F'M - FM = \Delta y \cdot \sin\varphi. \quad (2)$$

$$\sin\varphi = \frac{MM'}{MF} = \frac{y}{\sqrt{y^2 + (f - z)^2}}. \quad (3)$$

由抛物面方程: $y^2 = 4fz$, 有

$$\sin\varphi = \frac{y}{f + z}. \quad (4)$$

因为

$$\frac{1}{f + z} = \frac{1}{f} - \frac{z}{f^2} + \frac{z^2}{f^3} - \frac{z^3}{f^4} + \dots, \quad (5)$$

所以有

$$\begin{aligned} \sin\varphi &= y \times \left(\frac{1}{f} - \frac{z}{f^2} + \frac{z^2}{f^3} - \frac{z^3}{f^4} + \dots \right) = \\ &= \frac{y}{f} - \frac{1}{4} \left(\frac{y}{f} \right)^3 + \frac{1}{16} \left(\frac{y}{f} \right)^5 - \dots. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\Delta l = \Delta y \cdot \frac{y}{f} - \frac{\Delta y}{4} \cdot \left(\frac{y}{f} \right)^3 + \frac{\Delta y}{16} \cdot \left(\frac{y}{f} \right)^5 - \dots. \quad (7)$$

当 $\Delta y \ll f$ 时,只取上式的前 2 项,则可得到抛物面口径面上场的相位分布规律为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta l \approx \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta y \cdot \frac{y}{f} - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\Delta y}{4} \cdot \left(\frac{y}{f} \right)^3. \quad (8)$$

由上式可知,馈源的横向偏焦主要引起抛物面口径场线性相位偏移和立方相位偏移,线性相位偏

移对天线辐射场方向图没有影响,只是方向图发生偏移,也就是说与口径场为同相场的天线方向图相比只是最大辐射方向偏移了一个角度,而方向图的形状没有发生变化,立方相位偏移不仅使天线方向图的最大辐射方向发生偏移,而且使方向图变得不再对称,主瓣两边的旁瓣均发生变化,一边的副瓣升高,另一边的副瓣降低,如图 2 所示。

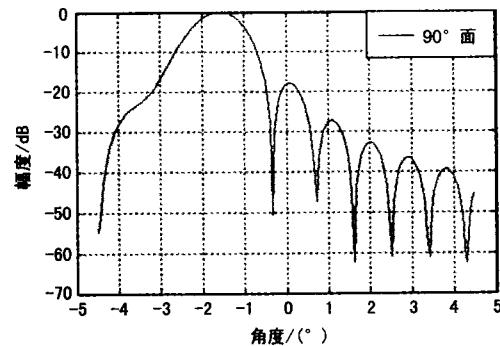


图 2 变焦引起 90°面的方向图变化

天线口径 2.4 m, 频率 8 GHz, 偏移 2 cm。当偏焦波束偏离较大时,一方面引起天线增益损失;另一方面由于波束抬高引起的散射角增大,导致散射的附加损耗增加,图 3 为附加损耗的变化曲线。

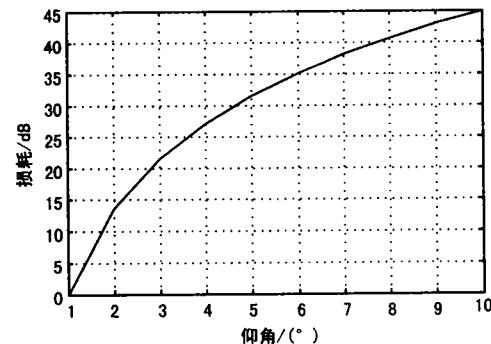


图 3 散射链路损耗与散射角关系

由图 3 可见,散射角每增加一倍,散射损耗增加约 13 dB。因此要尽量减小偏焦波束与主波束的夹角,使之控制在半功率角以内。

3 不同通信站型条件下的相关系数

根据散射通信系统不同站型的设备配置情况,研究单天线角分集天线相关系数与偏焦距离、天线口径、工作频率和通信距离等的关系。

3.1 散射通信大站

散射通信大站是指通信距离大于 100 km,通信容量在兆 b/s 量级,天线口径一般大于 2 m 的散射通信站。

图4和图5分别给出了通信距离为150 km、3 m天线和通信距离为100 km、2.4 m天线在C、X、Ku频段下,其波束夹角、相关系数与天线偏焦距离的关系仿真曲线图。

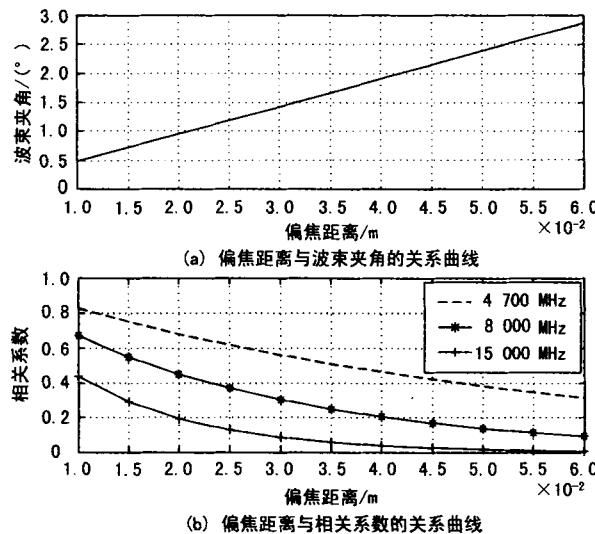


图4 3 m 天线和150 km 条件下的相关系数

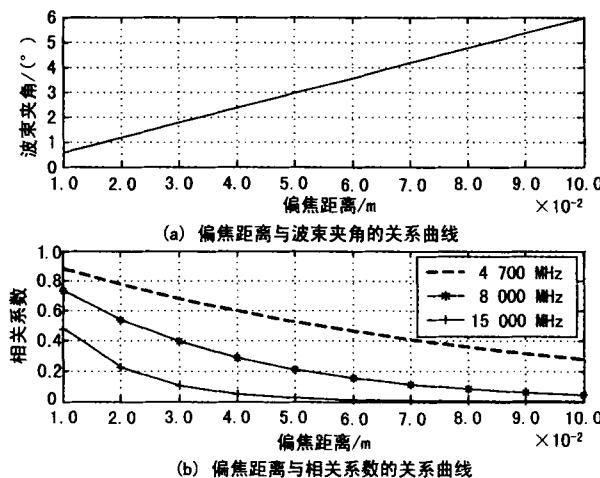


图5 2.4 m 天线和100 km 条件下的相关系数

从图4、图5中可以得出:

①图4中天线口径为3 m,通信距离为150 km,当相关系数为0.6时,C频段的偏焦距离为2.7 cm,波束夹角为1.2°;

②图5中天线口径2.4 m,通信距离为100 km,当相关系数为0.6时,C频段的偏焦距离为5 cm,波束夹角约为3.1°;此时已远大于半功率角(2.4 m天线的半功率角为1.86°)散射链路损耗将显著增加,故天线口径小于2.4 m时,不适宜采用C及C以下频段。

3.2 散射通信小站

散射通信小站是指通信距离小于100 km,天线口径小于2 m的散射通信站。

图6和图7分别给出了通信距离为80 km,1.5 m天线和通信距离为70 km,1.2 m天线在C、X、Ku频段下,其波束夹角和相关系数与天线偏焦距离的关系仿真曲线图。

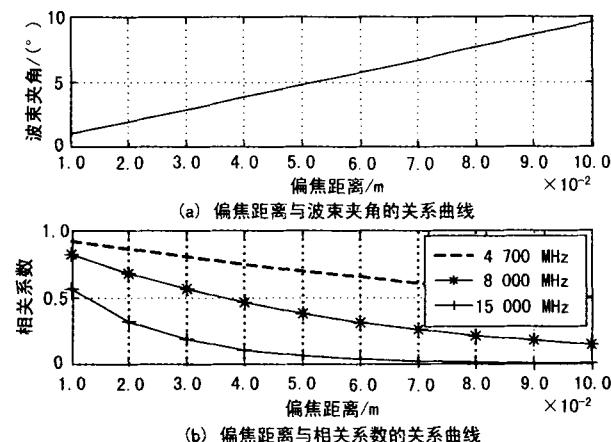


图6 1.5 m 天线和80 km 条件下的相关系数

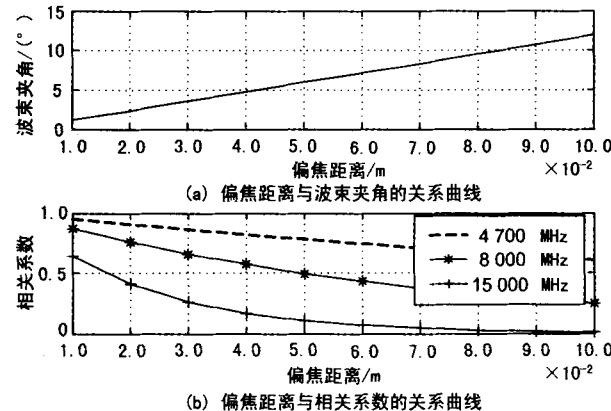


图7 1.2 m 天线和70 km 条件下的相关系数

从图6、图7中可以得出:

①对于散射通信小站,由于天线口径较小、通信距离较近,角分集天线采用C频段已不适宜;

②图6中天线口径为1.5 m天线,通信距离为80 km,当相关系数为0.6时,X频段的偏焦距离为2 cm,对应的波束夹角为2°(此时天线的半功率角为1.75°);

③图7中天线口径为1.2 m,通信距离为70 km,当相关系数为0.6时,X频段的偏焦距离为2 cm,波束夹角约为2.2°(此时天线的半功率角为2.18°),此时偏焦引起的附加损耗将在实际链路中有明显增加。

从以上分析可知,当天线口径在1.5 m以上时,可以采用X及以上频段;而天线口径小于1.5 m时,需要采用Ku频段。

(下转第64页)

3 结束语

所述的遥感数据服务系统需求估算方法是一种技术参数结合工程经验参数的服务设备需求计算方法,经适当地扩展可具备一定的通用性。在工程经验丰富的前提下,计算公式中涉及的经验参数更加准确,数据服务能力需求估算模型可准确估算数据库服务器能力需求,应用服务能力需求估算模型可用于确定计算服务器的能力需求,数据存储容量需求可明确系统存储设备的需求,各项结果可为系统配置和选型提供有力的支持。

参考文献

- [1] 张兆霞,朱龙文.基于遥感卫星的系列正射影像图制作[J].影像技术,2004(3):39-42.
 [2] 旷达,沈艳,牛铮,等.卫星反演降水产品误差

随时空分辨率和雨强的变化特征分析[J].遥感信息,2012,27(4):75-81.

- [3] 刘毅,吕达仁,陈洪滨,等.卫星遥感大气CO₂的技术与方法进展综述[J].遥感技术与应用,2011,26(2):247-254.
 [4] 王忠华.J2EE应用服务器资源优化机制的研究与实现[D].长沙:国防科技大学,2008.
 [5] 许静.高效信息收发软件系统设计分析[J].无线电工程,2011,41(9):7-10.
 [6] 马万权,王士成,刘建坡.大幅面遥感影像分发技术研究[J].无线电工程,2006,36(6):7-10.
 [7] 陈峻.公开情报信息搜集分析系统总体设计[J].无线电通信技术,2008,34(3):38-40.

作者简介

王士成 男,(1976—),高级工程师。主要研究方向:航天地面应用。

(上接第56页)

4 角分集天线设计建议

根据上面的仿真结果,同时考虑到天线加工精度等因素,对于散射通信大站,其角分集天线工作频段可以采用C或X频段,此时,典型的散射通信大站其主要设计参数如表1所示。

表1 散射通信大站角分集天线设计参数

工作频段	C	X
相关系数	0.6	0.6
通信距离/km	150	100
天线口径/m	3	2.4
偏焦距离/cm	2.7	1.5
偏焦波束角/°	1.2	1

根据上面的仿真结果,对于散射通信小站,其角分集天线工作频段应以X或Ku频段为主,且以Ku频段为佳,此时典型的散射通信小站其主要设计参数如表2所示。

表2 散射通信小站角分集天线设计参数

工作频段	X	Ku
相关系数	0.6	0.6
通信距离/km	80	70
天线口径/m	1.5	1.2
偏焦距离/cm	2	1.1
偏焦波束角/°	2	1.2

5 结束语

单天线角分集的分集效果与工作频率、天线口径和通信距离等密切相关,在相同的偏焦距离条件下,工作频率越高、天线口径越大、通信距离越远,则其分集效果越佳。根据散射通信工程能力设计要求,给出了不同站型条件下角分集天线的设计参数,对今后的单天线散射通信工程设计有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 刘圣民,熊飞.对流层散射通信技术[M].北京:国防工业出版社(第1版),1982:124-127.
 [2] 杨可忠.利用多模馈源实现角分集的天线[J].无线通信技术,2000,26(4):1-5.
 [3] 李高升,刘继斌,何建国.抛物面天线馈源偏焦的理论及应用研究[J].雷达与对抗,2004(3):38-41.
 [4] 田谏.偏焦抛物反射面天线辐射特性研究[M].陕西:西北工业大学硕士论文,2005.
 [5] 张旺,王黎莉,闫丰.双反射面天线偏焦问题的解决方法分析[J].无线电工程,2011,41(8):35-37.
 [6] 郭陈江.偏焦偏置抛物面天线的辐射特性[J].雷达科学与技术,2004(4):247-251.

作者简介

高自新 男,(1975—),高级工程师。主要研究方向:散射通信和微波通信。

徐志平 男,(1979—),高级工程师。主要研究方向:电子与通信工程。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>