

# 流星余迹通信链路的分析与设计

王 伟

(中国电子科技集团公司 第 54 研究所, 河北 石家庄 050081)

**摘 要:** 由于流星余迹通信链路的随机性、复杂性和多变性, 不能准确地对其进行定量分析。为了使数据可靠地传输, 链路设计中往往盲目加大发射机功率, 提高天线增益来提高系统的余量。针对此问题, 从工程角度出发, 对一些理论和公式进行了约束和简化, 提出了流星余迹通信链路设计的基本方法, 对工程应用起到了很好的指导作用。

**关键词:** 流星余迹; 通信链路; 传输损耗; 反射面

中图分类号: TN926+.5      文献标识码: A      文章编号: 1003-3114(2007)01-04-2

## Analysis and Design of Meteoric Trail Communication Link

WANG Wei

(The 54th Research Institute of CETC Shijiazhuang Hebei 050081, China)

**Abstract:** Meteoric trail communication link can't be analyzed accurately because of its randomness, complexity and inconstancy. For the purpose of reliable transmission, the system margin is increased blindly through enhancing the transmitter power or the antenna gain in link design. Whereas above, some restricted or predigested formulas are adopted in this paper, a basic method is presented for designing communication link and the availability is obtained in the application.

**Key words:** meteoric trail; communication link; transmission loss; reflection area

### 0 引言

流星余迹通信是利用不断进入大气层的流星在短暂时间内所形成的电离余迹对 VHF 无线电波反射而实现远距离通信的一种超视距无线通信方式。流星余迹通信以其大跨距、抗干扰、低截获和抗毁性等其他通信系统无法比拟的优点, 越来越受到国内通信领域的重视。科技工作者通过流星余迹通信链路, 对一些关键技术进行了研究。

由于流星余迹通信链路的随机性、复杂性和多变性, 无法准确地对其进行定量分析。本文从工程角度出发, 在广泛接受的一些理论的基础上, 对其进行了约束和简化, 得出了一系列公式, 并结合实际链路, 给出了系统设计的方法。该系统设计方法在工程应用中起到了很好的指导作用。

### 1 通信链路参数

流星余迹通信系统的链路参数涉及很多, 下面只对与工程设计密切相关的几种参数作了分析。对于其他参数, 如信息的平均等待时间、数据的平均通

过量等与具体的链路层通信协议有关, 在此不作分析。

#### 1.1 可利用信道数

可利用信道数是指能够用于数据传输的流星余迹数。对于一个每小时  $N$  个可利用信道的链路要求, 链路应设计成一个有  $N$  个可利用信道的统计平均。在某些工作周期期间, 由于日变化和季变化的影响, 将会出现没有足够的信道用于数据传输的现象。因此, 链路的设计必须按一个较高的可利用信道数来设计, 以克服不足。

由于流星的出现是随机的, 可利用信道也是随机的。对于给定的一小时, 为了达到希望的可利用信道数超过 90%, 就需要季变化和日变化为 10:1。由于某些最坏情况, 均匀密度变化是 5.5。因此, 每小时有  $N$  个可利用信道的链路必须在每小时 5.5 $N$  平均可利用信道上进行设计。

#### 1.2 流星余迹高度

可利用流星余迹发生的高度与无线电波的频率有关。用经验公式可表示为:

$$h = 124 - 17 \lg f. \tag{1}$$

式中,  $h$  为可利用余迹发生的高度(km);  $f$  为被余迹散射的无线电波的频率(MHz)。

通过可利用流星余迹发生的高度, 两站之间的

收稿日期: 2006-04-01

作者简介: 王 伟(1971-), 男, 工程师, 通信与信息系统专业。主要研究方向: 流星余迹通信。

距离,可计算前向散射角,余迹反射面面积等。

### 1.3 反射面

反射面是指收发天线在可利用余迹发生的高度上重叠覆盖的区域。在此覆盖区域内,强度足够,方向合适的流星都会产生一个可利用的信道。反射面限定为一个圆,其大小和天线的波束角,两站间的距离以及可利用余迹的高度有关。根据几何关系得出反射面的面积,用公式表示为:

$$S=\pi\left[\left(\frac{D}{2}\right)^2+h^2\right]\sin^2\theta. \quad (2)$$

式中,  $D$  为两站间的距离,  $h$  为余迹发生的高度,  $\theta$  为天线的半功率波束角的一半。

### 1.4 传输损耗

传输损耗包括路径损耗和时间常数损耗。路径损耗指在流星余迹电离的初始时刻传输路径上的损耗;时间常数损耗指由于余迹强度随时间减弱而引起的损耗。

假定天线各向同性,两站点到余迹反射点的距离相等,流星入射的方向角  $\beta$  符合均值  $\cos\beta=2/\pi$  的均匀分布,使用水平极化传输。则欠密类余迹的路径损耗为:

$$L_0(\text{dB})=330.7-20\lg q+30\lg R+30\lg f. \quad (3)$$

式中,  $q$  为可利用余迹的电子线密度( $\text{e}/\text{m}$ );  $R$  为站点到余迹散射点的距离( $\text{km}$ );  $f$  为被余迹散射的无线电波的频率( $\text{MHz}$ )。

流星余迹的强度是时间的函数,呈指数下降。因此在某个希望的持续时间传输时,对传播损耗的影响是不能忽视的。时间常数损耗可用下面公式表示:

$$L_T(\text{dB})=0.12T\cdot f^2\cos^2\phi. \quad (4)$$

式中,  $T$  为可利用余迹的持续时间( $\text{s}$ );  $f$  为被余迹散射的无线电波的频率( $\text{MHz}$ );  $\phi$  为无线电波的前向散射角( $\text{rad}$ )。

### 1.5 天线增益

通常,无线通信链路都利用天线的增益来降低从接收到发射的全部损耗。在流星余迹通信系统中,一般采用八木天线。由于八木天线架离地面较高,地面损耗很小,因而天线效率很高(可达90%以上),所以天线的增益与其方向系数很接近,工程上可看作近似相等。天线的方向性系数可通过下式计算:

$$D=\frac{C}{2\theta_{0.5E}2\theta_{0.5H}}. \quad (5)$$

式中,  $C$  为常数,一般取值范围为15 000~40 000。对于八木天线,视其副瓣的具体大小,可在28 000~32 000之

内选值。 $2\theta_{0.5E}$ 和 $2\theta_{0.5H}$ 为天线的E平面和H平面方向图的波束角,在工程上限定E平面和H平面的波束角近似相等。

## 2 系统设计

以一个900 km的流星余迹传播链路为例,要求设计时满足以下指标:

- 通信距离: 900 km;
- 工作频率: 42 MHz;
- 接收机门限: -107 dBm;
- 链路持续时间: 0.5 s;
- 可利用信道数: 100 /h;
- 天线增益: 13 dB。

对流星余迹传播链路参数进行设计,应按以下设计方法进行:①根据工作频率计算可利用余迹的高度;②根据天线增益计算余迹的反射面面积;③根据可利用信道数计算余迹的电子线密度;④根据电子线密度和链路持续时间计算传输损耗;⑤根据传输损耗计算发射机功率。

### 2.1 余迹高度的计算

系统工作频率为42 MHz,通过式(1)的计算可得出可利用余迹的高度为:

$$h=124-17\lg f=124-17\lg 42=96.4(\text{km}).$$

### 2.2 反射面的计算

要计算反射面的面积,首先要根据式(5)计算出天线的半波束角:

$$\theta=\sqrt{\frac{C}{4D}}=\sqrt{\frac{32000}{80}}=20^\circ.$$

根据通过计算得到的余迹发生的高度和系统要求的两站间的通信距离,流星余迹反射面面积可通过式(2)得到:

$$S=\pi\left[\left(\frac{D}{2}\right)^2+h^2\right]\sin^2\theta=\\ \pi\left[\left(\frac{900}{2}\right)^2+96.4^2\right]\sin^2(\pi/9)=77833(\text{km}^2).$$

### 2.3 可利用信道数的计算

通过用无线电的方法对流星余迹的电离进行探测,得出流星出现的数目和余迹电子线密度之间的关系为:

$$N=\frac{160}{q_0} \quad (\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}). \quad (6)$$

式中,  $N$  为电子线密度超过  $q_0$  的流星余迹在每平方米秒内的年平均流量。

系统要求可以用来通信的信道数为每小时100个。考虑到日变化和季变化的影响,将会出现  
(下转第22页)

图6为BER为 $10^{-5}$ ,固定速率为400ksymbol/s 16QAM调制下固定码率系统(码率固定为0.577)与码率自适应系统在信息传输速率上的比较。本系统根据信道中的接收信噪比,来确定用何种码率的Turbo乘积码。在信道较好时,信息传输速率明显高于固定码率系统;信道恶化时,本系统也能在可接受的误码率( $10^{-5}$ )下传输信息,而固定码率系统此时传输信息误码率较高。

3 结束语

本文基于多维Turbo乘积码,利用其灵活的构造,根据码率与性能的对应关系,设计了一种新型的码率自适应系统。在无线通信系统中,对于无线信道,根据信道估计得到接收信噪比,由此来控制码率的选择。该系统与固定码率系统相比,在信道较好时可得到更高的频谱利用率。

参考文献

[1] VISHWANATH SRIRAM, GOLDSMITH ANFREA. Adaptive Turbo-Coded Modulation for Flat-Fading Channels[J]. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 2003, 51(6):

964—972.

[2] MARTINS JOAO, ALEXANDRE GIULIETTI, STRUM MARRIUS. PERFORMANCE COMPARISON OF CONVOLUTIONAL AND BLOCK TURBO CODES FOR WLAN APPLICATIONS[C]. Fourth IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems, Aruba, April 17—19, 2002; T032—1 T032—5.

[3] NICKL H, HAGENAUER J, BURKERT F. Approaching Shannon's Capacity Limit by 0.27 dB Using Simple Hamming Codes[J]. Communications Letters, 1997, 9(5): 130—132.

[4] AITSAB OMAR, RAMESH PYNDIAH. PERFORMANCE OF REED-SOLOMON BLOCK TURBO CODE[C]. IEEE Global Telecommunications Conference, 1996, 1: 121—125.

[5] BO YIN, SOLEYMANI M R. Design and Implementation of Three-dimensional Block Turbo Code[J]. IEEE Electrical and Computer Engineering, 2003, 3: 1625—1628.

[6] TOMAS JANVARS, FARKAS PETER. On Decoding of Multidimensional Single Parity Turbo Product Codes[C]. IEEE Mobile Future and Symposium on Trends in Communications Oct. 2003; 25—28.

[7] RAMESH MAHENDRA PYNDIAH. Near-Optimum Decoding of Product Codes, Block Turbo Codes[J]. IEEE Trans. On Comm., 1998, 46(8): 1003—1010.

(上接第5页)

没有足够的信道用于数据传输的现象。因此,链路设计可利用流星余迹数应为 $5.5N$ 。那么对应可利用流星余迹数的最低电子线密度为:

$$q_0 = \frac{160 \times 77833 \times 10^6 \times 3600}{5.5 \times 100} = 0.82 \times 10^{14}.$$

2.4 传输损耗的计算

由式(3)计算整个链路的路径损耗为:

$$L_0(\text{dB}) = 330.7 - 20\lg(0.82 \times 10^{14}) + 30\lg 460 + 30\lg 42 = 181 \text{ dB}$$

已知链路持续时间,则时间常数损耗为:

$$L_T = 0.12 T^\circ f^2 \cos^2 \phi = 0.12 \times 0.5 \times 42^2 \times 0.06 = 6.4 \text{ dB}$$

则整个链路的传输损耗为: $L = 181 + 6.4 = 181.4 \text{ dB}$ 。

2.5 发射功率的计算

根据整个链路的传输损耗、天线增益和接收机门限可以得出发射机的功率:

$$P_T = -107 + 187.4 - 13 \times 2 = 53.6 \text{ dBm}.$$

2.6 试验数据

利用900km流星余迹通信链路进行试验,在春季和夏季的试验数据统计中,春季每小时可利用信道数的日平均量为112.4,最大为159,最小为94;夏季每小时可利用信道数的日平均量为148.7,最大为188,最小为130。所得到的数据有明显的季变化和日变化,由于采用了冗余设计,试验统计数据达到了链路的设计要求,符合可利用信道数指标。

3 结束语

流星余迹通信以其诸多优点日益受到重视,逐渐成为研究的热点。本文通过对有关理论的分析,提出了适合工程应用的流星余迹通信系统的设计方法,具有很好的应用价值。

参考文献

[1] FREEMAN, ROGER L. Telecommunications transmission handbook[M]. New York: John Wiley & sons, 1998.

[2] GIOVER I. A. Meteor burst propagation[J]. Electronics & Communication Engineering Journal, 1991(8): 185—192.