

# 流星余迹通信信道季节变化模型与仿真

张雅彬, 金燕波, 林乐科, 张永利

(中国电波传播研究所, 山东 青岛 266107)

**摘要:** 流星余迹通信不同于传统的通信, 它是低速率通信, 具有突发、不连续、不定时的特性。因此, 流星余迹通信的复杂性要求有必要对其通信信道进行建模。根据流星轨道分布的特点, 推导出轨道—辐射的转换, 得到流星分布和通信链路的关系, 建立了流星余迹通信信道季节变化预测模型, 并将预测模型应用于流星余迹通信链路。预测的结果和中纬度雷达观测结果比较一致, 为建立流星余迹通信系统提供了技术支持。

**关键词:** 流星余迹; 黄道; 流星余迹通信信道; 可用流星率

中图分类号: TN926

文献标识码: A

文章编号: 1003-3114(2009)04-01-3

## Seasonal Variation Model and Simulation of Meteor Trail Communication Channel

ZHANG Ya-bin, JIN Yan-bo, LIN Le-ke, ZHANG Yong-li

(China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao Shandong 266107, China)

**Abstract:** Meteor trail communication is different from traditional communications. It is a low data rate communication with characteristics of burst, discontinuity and unfixed time. It is necessary to construct prediction model of meteor trail communication channel due to its complexities. According to meteor orbit distributions, the transformation from orbit to radiant is derived, and the relationship between meteor ecliptic distribution and communication link is obtained. The seasonal variation prediction model of meteor trail communication channel is constructed. The model is applied in meteor trail communication links. The results predicted by the model have good agreement with results observed by mid-latitude radar. The model given herein can be helpful to construct meteor trail communication system.

**Key words:** meteor trail; ecliptic; meteor trail communication channel; usable meteor rate

### 0 引言

流星余迹通信是利用流星电离余迹对 VHF 无线电波的反射和散射作用进行通信。它是一种突发性通信, 具有隐蔽性、抗干扰能力、低截获概率及抗毁性, 当高空核爆炸的电磁效应使其他通信手段中断时, 流星余迹通信仍能继续工作, 这些特点使流星余迹通信在应急通信中具有特殊的地位。在军事上具有极大的应用价值, 在可能出现的战争中, 流星余迹通信无疑是一种最终的通信保障。

流星余迹通信不同于传统的通信, 它是低速率通信, 具有突发、不连续、不定时的特性。因此, 流星余迹通信的复杂性要求有必要对其通信信道进行建模。在流星余迹通信链路中, 流星的辐射分布、可用流星率和占空比是影响流星余迹通信信道性能的重要参数。流星辐射在不同季节的分布都各不相同,

课题来源: “十一五”通信装备预先研究项目

收稿日期: 2009-04-27

作者简介: 张雅彬(1979-), 男, 讲师。主要研究方向: 流星余迹通信、短波通信。

因此准确预测流星余迹通信链路在不同季节的流星辐射分布, 从而改变大圆路径上天线的指向, 以提高通信速率显得非常重要。同时, 准确预测流星余迹通信链路上的可用流星率和占空比, 能够准确地预测并建立流星余迹信道模型, 提高流星余迹通信的可靠性和有效性。本文提出了流星辐射分布、可用流星率和占空比的季节变化预测模型, 并对特定时间的信道模型进行了计算和仿真, 预测和仿真结果与国外的结论一致, 验证了模型的准确性, 为建立流星余迹通信系统提供了技术支持。

### 1 流星余迹通信信道季节变化模型

#### 1.1 轨道—辐射转换

根据雷达观测, 流星集中分布在黄道平面上<sup>[1]</sup>, 因此需要建立流星轨道分布到地心辐射分布的转换。穿透轨道分布特定面积和相应的辐射分布的面积流星是相同的, 通过发现这 2 个面积的关系, 就可建立轨道分布(日心黄道分布)和地心黄道分布的转换关系, 这个转换关系称为轨道—辐射转换。

通过确定由  $a(\lambda - \Delta\lambda/2, \beta - \Delta\beta/2)$ ,  $b(\lambda - \Delta\lambda/2, \beta + \Delta\beta/2)$  和  $c(\lambda + \Delta\lambda/2, \beta - \Delta\beta/2)$  定义的日心空间的射线和与这些射线相对应的心空间射线  $a_1, b_1, c_1$  的夹角, 那么就可以确定轨道—辐射的转换关系, 图 1 描述了这个几何关系。在  $A_h$  的流星轨道密度假定为常数, 这个假定需要很小的  $\Delta\lambda, \Delta\beta$  值; 选择  $\Delta\lambda, \Delta\beta$  为 0.017 5 弧度 (约  $1^\circ$ )。

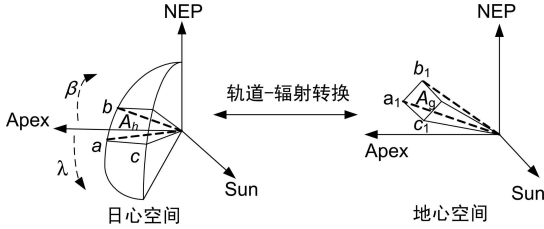


图 1 从日心空间到地心空间转换的几何关系

那么日心空间和其对应的地心空间的面积比为:

$$\frac{A_h}{A_g} = \frac{\Delta\beta\Delta\lambda\cos(\beta)}{\hat{q}_{a_1b_1}\hat{q}_{a_1c_1}} \tag{1}$$

$\hat{q}_{a_1b_1}$  为余迹在点  $a_1$  和  $b_1$  的夹角,  $\hat{q}_{a_1c_1}$  为在点  $a_1$  和  $c_1$  的夹角。由于  $\Delta\lambda$  和  $\Delta\beta$  很小, 辐射分布  $n(x, y, z, \alpha)$  每个微分立体角的流星数约为:

$$n(x, y, z, \alpha) = \frac{A_h}{A_g} N_h(\lambda, \beta) \tag{2}$$

式中,  $N_h(\lambda, \beta)$  为 Rudie<sup>[2]</sup> 根据 Davies<sup>[3]</sup> 的雷达观测结果得到的流星轨道分布模拟形式。

1.2 地心黄道分布—流星余迹通信链路关系

图 2 为流星余迹通信链路坐标原点和黄道坐标系之间的几何关系图。 $x_1, y_1, z_1$  轴正向分别为地球运动的反方向 (antapex, apex 为地球绕太阳运动的方向上地球最前面的那个点)、地球指向太阳的反方向 (antihelion, helion 为地球指向太阳的方向)、北黄道极轴。角度  $\zeta$  为  $90^\circ$  减去流星余迹通信链路坐标系原点所在的纬度, 北黄道极轴 (NEP) 和北天球极轴 (NCP) 的夹角为  $23.5^\circ$ 。

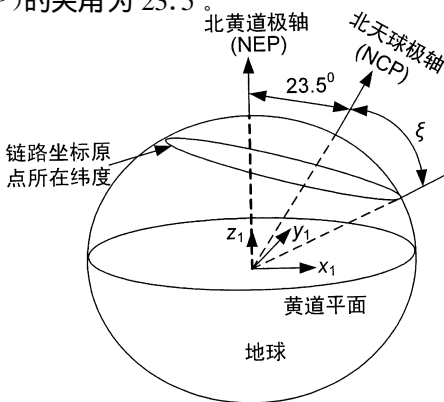


图 2 黄道坐标系统和链路坐标系之间的几何关系

所以, 黄道坐标系统和通信链路坐标系通过链路坐标原点 ( $x_t, y_t, z_t$ ) 联系起来, 下坐标  $t$  表示这一点是时间和地理坐标纬度的函数, 注意到这一点是在地球表面的下面, 其深度和收发天线两点的距离有关。

根据图 2,  $90^\circ - \zeta$  纬度所形成的圆的圆心坐标 ( $x_c, y_c, z_c$ ) 为:

$$\begin{aligned} x_c &= -r\sin(23.5^\circ)\cos(\zeta)\cos(\hat{q}), \\ y_c &= -r\sin(23.5^\circ)\cos(\zeta)\sin(\hat{q}), \\ z_c &= -r\cos(23.5^\circ)\cos(\zeta). \end{aligned} \tag{3}$$

式中,  $r$  为地球半径,  $r = 6\,730\text{ km}$ ;  $\hat{q}$  从  $x_1$  负轴沿逆时针方向旋转到北天球极轴 (NCP) 在  $x_1y_1$  平面映射的夹角。

所以, 流星通信链路上流星辐射分布为<sup>[2][4]</sup>:

$$n(x, y) = \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} n(x, y, z, \alpha) f(x, y, z, \alpha) dz d\alpha dx dy, \tag{4}$$

式中,  $f(x, y, z, \alpha)$  为发射功率、天线增益、最小流星探测质量、可探测流星电子线密度和流星通信链路上各个参数的函数。  $\hat{q} = 0$  对应着秋分点的时刻, 通过改变  $\hat{q}$  的角度, 可得到不同月份的流星辐射分布模型。

发射天线发射的信号经流星余迹散射后到达接收天线, 若接收信号超过接收信号电平 (RSL) 门限, 那么这个流星余迹为可用流星余迹。流星到达率在合适的轨迹和足够的质量下超过接收门限电平被称为可用流星率<sup>[5]</sup>:

$$N = \int_X \int_Y n(x, y) dx dy. \tag{5}$$

若流星余迹是可用的, 大于规定门限的接收信号电平 (RSL) 的持续时间决定了占空比 (DC) 的值<sup>[6]</sup>, 大于接收门限电平的信号的平均持续时间  $T(x, y, z)$  由 Eshleman<sup>[7]</sup> 给出:

$$D = \int_X \int_Y n(x, y) T(x, y, z) dx dy. \tag{6}$$

2 季节变化模型的计算与仿真

运用式 (4), 结合链路特征, 可计算出不同季节的流星辐射分布。对于实际的流星余迹通信链路, 由于涉及到天线各参数、黄道坐标系到链路坐标的转换、流星的各个物理参数等, 若运用一般计算机直接计算会超出其运算能力。在运算过程中, 需采用数值积分或矩量法。本文运用了牛顿—科茨公式, 采用插值型数值积分的方法。本文对一流星余迹通信链路季节变化的流星辐射分布进行了预测, 图 3 为这一通信链路的流星辐射分布的季节变化的理论预测图, 由于篇幅原因, 只给出了典型 4 个月的

辐射分布图。图3中横轴 $X$ 为流星通信链路,为东西方向,  $(-600, 0)$ 和 $(600, 0)$ 分别对应接收天线位置和发射天线位置,  $X$ 轴的单位为 $\text{km}$ ;纵轴 $Y$ 为垂直通信链路的方向,为南北方向,单位为 $\text{km}$ ;坐标原点为通信链路的中点;图3中长方柱表示 $n(x, y)$ 的值,即通信链路上空的流星辐射相对分布值,无量纲。图3表示1月、3月、8月、12月早上6点的流星辐射分布。

根据雷达观测<sup>[8]</sup>,在每年后半年流星雨活动和偶发流星都大量增加。使沿地球轨道达到的流星在6月到9月出现最大值,而在1月到3月出现最小值。由图3知流星辐射分布在3月较少,达到最小值;在8月流星辐射分布较广,达到最大值;从图3中可反映出季节对流星辐射分布的影响。

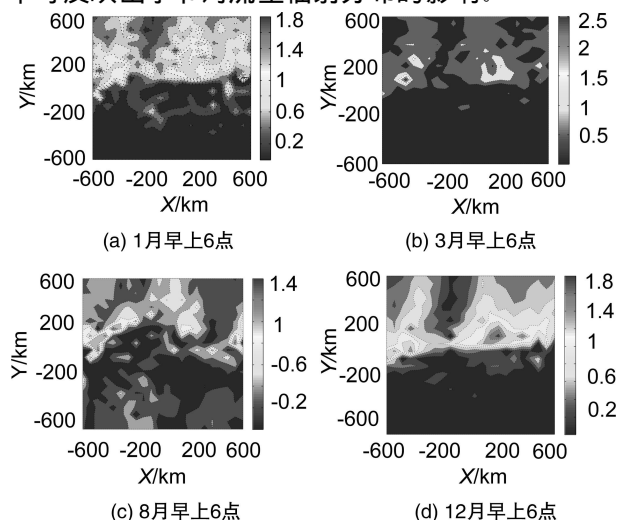


图3 流星辐射分布的季节变化

流星通信链路的可用流星率和流星辐射分布有着直接的关系,流星辐射分布的值越大,在流星链路中可用流星数就越多。若流星余迹和以收发天线为焦点的椭圆相切,且余迹的电子线密度超过一定的门限值,这个门限值由余迹的散射效率和链路的功率预算来决定,那么发射信号经流星余迹反射后,能够到达接收

端;若接收信号电平大于接收门限,那么信号能够被接收到。图4和图5分别为流星通信链路MR、DC的季节变化预测图,图中横轴为月,

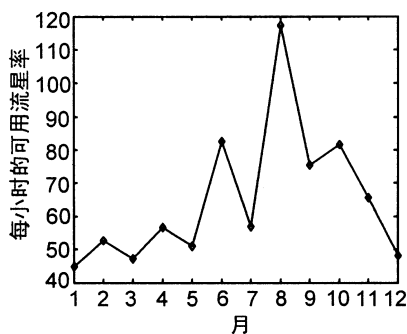


图4 MR的月变化

纵轴分别为每月平均每小时的可用流星数和每月的平均占空比。在图4中,可用流星数在1月到3月最小,而在6月到9月最大,在8月达到最大值,这和流星辐射

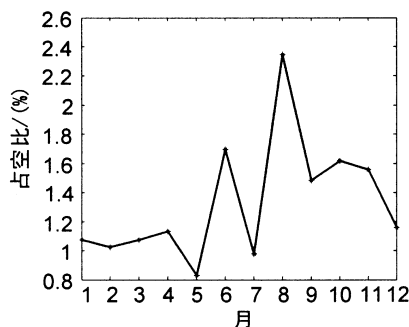


图5 DC的月变化

分布季节变化有很好的对应。在图5中DC的变化和图4一致,在8月DC有最大值,这说明8月份的可用流星率不但多,余迹的持续时间也长;但是DC在5月有最小值,这和余迹持续时间短有关。

### 3 结束语

由于季节变化的观测数据需要运用流星雷达和流星通信链路进行至少一年的观测,目前还缺少季节变化的观测数据。本文提出了流星通信信道的季节变化预测模型,并应用于流星通信链路。根据国外在中纬度地区的雷达观测结果和预测得出的结论<sup>[8]</sup>,和本文的预测结果比较一致,说明本文预测模型的准确性。运用本文这种方法,改变收发天线的经纬度,可预测其他链路的流星通信信道的季节变化模型,从而建立我国不同地区在不同季节的流星通信信道模型。

### 参考文献

- [1] HAWKINS G S. A radio survey of sporadic meteor radiants [J]. Mon. Not. R. Astron. Soc. 1956, 116: 92-104.
- [2] RUDIE N J. The relative distribution of observable meteor trails in forward-scatter meteor communications [D]. Bozeman, Montana; Montana State University, 1967: 88-89.
- [3] DAVIES J G. Radio observation of meteors [J]. Advances in Electronics and Electron Physics. Marton (ed.), New York: Academic, 1957: 95-127.
- [4] MAWRY R S, BROADHURST A D. Modeling the effect of meteor radiant distributions on the detection rate of meteor signals over forward-scatter links [J]. Radio Sci. 1993, 28 (3): 428-440.
- [5] DESOURDIS R I. Meteor burst computer model validation using high-latitude measurements [J]. MILCOM, 1991: 0458-0462.
- [6] WEITZEN J A. Communication via meteor burst at short ranges [J]. IEEE Trans. Commun. 1987, Com-35: 1217-1222.
- [7] ESHLEMAN V R. Theory of reflection from electron-ion clouds [J]. IRE PGAP, Jan 1955: 32-39.
- [8] SCHILLING D L. Meteor Burst Communications Theory and Practice [M]. America: A Wiley-Interscience Publication, 1993: 90-98.