

激光测距系统的接收概率 (上)

黄 勇

(海军装备论证研究中心, 北京)

摘要: 本文基于对目标的跟踪在随机干扰作用下会发生丢失, 定量地分析了系统的跟踪特性、本身的性能参数、目标特性和气象条件等对激光测距系统的接收概率的影响。

Receiving probability of laser range finder (Part 1)

Huang Yong

(Naval Research Centre)

Abstract, Based on the fact that the tracked target will lost by random disturbance, this article quantitatively analyzes variety of effects on the receiving probability of laser range finder, such as tracking characteristics and parameters of the laser range finder, target characteristics, weather condition.

激光测距系统的探测概率是一项反映其性能的综合指标, 它与系统的跟踪特性、本身的性能参数、目标特性和气象条件等有关, 文献[1]对此做了定性分析。本文从对目标的跟踪在随机干扰作用下会发生丢失来定量地进行分析。

一、有 关 物 理 量

1. 激光测距系统的接收概率

激光测距系统的探测概率是指激光测距系统对目标进行多次测距时, 测得符合规定精度的距离的次数与总的测量次数之比, 通常由接收概率和检测概率组成。前者是指接收机获得目标回波功率大于或等于整机最小可探测功率的概率, 后者则指接收机在接收到大于或等于整机最小可探测功率的回波条件下给出符合规定精度的距离的概率。

2. 激光测距系统的阈值角

通常的测距方程不包含能量分布情况, 对分析测距系统的接收概率来说有必要按光束的能量分布情况来考虑。对于激光发射束来说, 对角度的分布可以近似成高斯分布, 其发射能量(或功率)分布可写为

$$E_r(\theta) = ae^{-\theta^2/b^2} \quad (1)$$

式中, θ 为偏离激光束中心的角度, b 为形状参数, a 为系数。

对脉冲激光来说,发射光束束散角(半角) θ ,处能量为光束中心($\theta=0$)能量的 $1/e$,则有

$$b = \theta, \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式得

$$E_i(\theta) = a e^{-\theta^2/\theta_i^2} \quad (3)$$

对(3)式整个空间积分应等于发射能量 E_{0i} ,由此求得

$$a = \frac{E_{0i}}{\pi\theta_i^2 R^2} \quad (4)$$

将(4)式代入(3)式得

$$E_i(\theta) = \frac{E_{0i}}{\pi\theta_i^2 R^2} e^{-\theta^2/\theta_i^2} \quad (5)$$

假设目标离发射机的距离为 R ,目标面积为 A_t ,则由目标反射出去的能量(或功率)为

$$E_i' = T_i \int_{A_t} E_i(\theta) \rho ds \quad (6)$$

式中, T_i 为发射光学系统透过率, ρ 为目标反射系数。

当目标为漫反射体时,目标以 2π 立体角反射激光,则接收机所能接收到的能量(或功率)为

$$E_r = \frac{T_i T_r A_r}{2\pi R^2} \int_{A_t} E_i(\theta) \rho ds \quad (7)$$

式中, A_r 为接收面积, T_r 为接收光学系统透过率。考虑到大气所造成的双程衰减,则(7)式变为

$$E_r = \frac{T_i T_r A_r T^2}{2\pi R^2} \int_{A_t} E_i(\theta) \rho ds \quad (8)$$

式中, T 为单程大气透过率。

将(5)式代入(8)式得

$$E_r = \frac{E_{0i} T_i T_r A_r T^2}{2\pi^2 \theta_i^2 R^4} \int_{A_t} e^{-\theta^2/\theta_i^2} \rho ds \quad (9)$$

若目标中心相对测距系统的方向与激光束中心方向的夹角为 β ,则(9)式中的 E_r 必定是 $\beta, R, \theta_i, T_i, T_r, E_{0i}, A_r, \rho, T$ 的函数,即

$$E_r = E_r(\beta, R, \theta_i, \dots) \quad (10)$$

当接收系统的接收能量(或功率)阈值 E_T 确定后,对不同的目标、不同的目标距离、不同的气象条件和测距系统的不同性能参数, β 有不同的阈值角 β_T ,即

$$E_T = E_r(\beta_T, R, \theta_i, \dots) \quad (11)$$

则 β_T 定义为激光测距系统的阈值角,也就是说当目标中心位于阈值角内时,接收目标反射回的激光能量等于或超过接收阈值。

显然,从(9)式~(11)式可得出如下两点:

(1) 当目标中心位于激光束中心,即 $\beta=0$ 时,接收能量最大。

(2) β_T 是 $R, \theta_i, T_i, T_r, E_{0i}, E_T, A_r, \rho, T$ 的函数,且在一定情况下,它可以大

到超过束散角(半角) θ_1 。

二、目标丢失的平均次数

设一目标在跟踪系统的视场 $\pm\theta_A$ 之内(图1), 跟踪误差 $\Delta\theta$ 为系统误差 $\Delta\theta_s(t)$ 和随机误差 $\Delta\theta_n(t)$ 之和, 即

$$\Delta\theta(t) = \Delta\theta_s(t) + \Delta\theta_n(t) \quad (12)$$

若目标在视场之内, 则应满足下列不等式

$$-\theta_A < \Delta\theta_s(t) + \Delta\theta_n(t) < \theta_A \quad (13)$$

即

$$-\theta_1(t) < \Delta\theta_n(t) < \theta_2(t) \quad (14)$$

式中,

$$\theta_1(t) = \theta_A + \Delta\theta_s(t) \quad (15)$$

$$\theta_2(t) = \theta_A - \Delta\theta_s(t) \quad (16)$$

显然, 对于X方向, 当目标处于视场边缘 θ_A 处, 并且随机误差变化率 $\Delta\theta_n'(t)$ 大于或等于 $\theta_2(t)$ 的变化率 $\theta_2'(t)$ 时, 目标将从视场右边缘逸出; 反之, 当目标处于左边缘 $-\theta_A$ 处,

$\Delta\theta_n'(t)$ 小于或等于 $-\theta_1'(t)$ 时, 目标也将逸出, 故目标丢失条件为

$$\begin{cases} -\theta_1(t) = \Delta\theta_n(t) \\ -\theta_1'(t) \geq \Delta\theta_n'(t) \end{cases} \quad (17a)$$

和

$$\begin{cases} \theta_2(t) = \Delta\theta_n(t) \\ \theta_2'(t) \leq \Delta\theta_n'(t) \end{cases} \quad (17b)$$

通常, $\Delta\theta_n(t)$ 为平稳随机过程, 则在 t_1 至 t_2 期间内, 跟踪系统丢失目标次数的平均值(见文献[2])为

$$N_X = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_0} \right)^{1/2} \int_{t_1}^{t_2} \left[e^{-a_1^2/2\varphi_0} F\left(\frac{-a_1'}{\sqrt{-2\varphi_2}}\right) + e^{-a_2^2/2\varphi_0} F\left(\frac{-a_2'}{\sqrt{-2\varphi_2}}\right) \right] dt \quad (18)$$

式中, φ_0 为随机误差的均方根值, φ_2 为随机误差相关函数的二阶导数的初值,

$$a_1 = \theta_1(t) \quad (19)$$

$$a_2 = \theta_2(t) \quad (20)$$

$$F(x) = \int_0^\infty Z e^{-(Z-x)^2} dZ \quad (21)$$

为应用(18)式, 现做如下两点简化:

(1) 一般跟踪系统的传递函数虽然比较复杂, 但其闭环频率响应曲线形状与二阶系统大致相同。典型的二阶跟踪系统(图2)的闭环频率特性(见文献[3])为

$$\varphi(j\omega) = \frac{\omega_n^2}{(j\omega)^2 + 2\eta\omega_n(j\omega) + \omega_n^2} \quad (22)$$

式中, η 为阻尼比, ω_n 为无阻尼自然频率。

据此, 可推导出随机误差相关函数及其导数的表达式

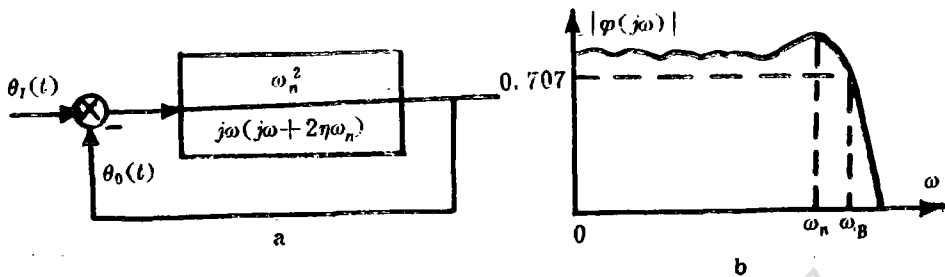


图2 二阶系统及其频率特性

$$\varphi_0 = \sigma^2 \tag{23}$$

$$\varphi_2 = -\sigma^2 \omega_n^2 \tag{24}$$

(2) 当系统误差是变量时, (21) 式积分只能作近似求解。现假定系统误差 $\Delta\theta_s(t)$ 值不变, 即 $\Delta\theta_s(t) = \Delta\theta_s = \text{常量}$, 则

$$a_1' = a_2' = 0 \tag{25}$$

$$F\left(\frac{-a_1'}{\sqrt{-2\varphi_2}}\right) = F(0) = \int_0^\infty Z e^{-Z^2} dZ = \frac{1}{2} \tag{26}$$

$$F\left(\frac{-a_2'}{\sqrt{-2\varphi_2}}\right) = \frac{1}{2} \tag{27}$$

将 (23) 式~ (27) 式代入 (18) 式得

$$N_X = \frac{\omega_n(t_2 - t_1)}{2\pi} \left[e^{-(\theta_A + \Delta\theta_s)^2 / 2\sigma^2} + e^{-(\theta_A - \Delta\theta_s)^2 / 2\sigma^2} \right] \tag{28}$$

(28) 式给出了 $(t_2 - t_1)$ 时间间隔内, 当系统误差固定不变时, 跟踪系统视场 $\pm\theta_A$ 内 (指 X 或 Y 一个坐标方向) 目标丢失次数的平均值。

(未完待续)

· 简 讯 ·

高功率二极管激光器

Ensign Bickiord Aerospace公司公布一种输出功率达3W的新型高亮度二极管激光器。EDAC147E是一种大面积单量子阱器件, 其发射孔径为350 μ m, 它适合于那些需要高输出功率和波长稳定的光泵浦系统, 从激光发射面到蓝宝石窗口距离为1mm, 并可允许所需光学系统紧耦合。EDAC147E可用波长为780~860nm, 其典型的半最大值的全带宽(FWHM)束散为8° × 40°, 而光谱带宽小于2nm。

译自 L & O, 1992, 11(1): 22 邹福清 译 邹声荣 校