

## 激光测距系统的接收概率 (下)

黄 勇

(海军装备论证研究中心, 北京, 100073)

### Receiving probability of laser range finder (Part 2)

Huang Yong

(Naval Research Centre)

### 三、激光测距系统的接收概率

#### 1. 不考虑调整误差情况下

假设激光测距系统的发射光轴、接收光轴和系统跟踪轴彼此间不存在调整误差或调整误差可忽略, 那么只要目标处于激光测距阈值角 $\beta_T$ 之内, 接收目标反射回的激光能量就不小于接收阈值。因此, 通过分析阈值角 $\beta_T$ 内目标丢失平均次数就可得到激光测距系统的接收概率。

将(28)式中的 $\theta_A$ 换成 $\beta_T$ 得

$$N_x = \frac{\omega_n(t_2 - t_1)}{2\pi} \left[ e^{-(\beta_T + \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} + e^{-(\beta_T - \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} \right] \quad (29)$$

上式为激光回波在一个坐标方向(X或Y)丢失次数的平均值。若激光发射频率为 $f$ 次/s, 则在 $(t_2 - t_1)$ 时间内发射总次数为 $(t_2 - t_1)f$ , 回波丢失概率为

$$P_{0x} = \frac{N_x}{(t_2 - t_1)f} = \frac{\omega_n}{2\pi f} \left[ e^{-(\beta_T + \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} + e^{-(\beta_T - \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} \right] \quad (30)$$

接收概率

$$\begin{aligned} P_{rx} &= 1 - P_{0x} \\ &= 1 - \frac{\omega_n}{2\pi f} \left[ e^{-(\beta_T + \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} + e^{-(\beta_T - \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} \right] \end{aligned} \quad (31)$$

上述各式均是对一个坐标方向而言, 由于跟踪系统的X与Y两个方向是独立工作的, 目标在任何一个方向逸出 $\beta_T$ 都会导致目标丢失, 因而总的接收概率为

$$P_r = P_{rx} \cdot P_{ry} \quad (32)$$

通常, X与Y两个方向的系统参数相同, 则

$$P_{rx} = P_{ry} \quad (33)$$

将(31)式和(33)式代入(32)式得

$$P_r = \left\{ 1 - \frac{\omega_n}{2\pi f} \left[ e^{-(\beta_T + \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} + e^{-(\beta_T - \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} \right] \right\}^2 \quad (34)$$

## 2. 考虑调整误差情况下

如图3所示, 当发射光轴 $o$ 和跟踪轴 $o'$ 的偏差 $\theta_0$ 不可忽略时, 设

$$\theta_i = \beta_T - \theta_0 + (i-1)\Delta\theta \quad (35a)$$

$$\theta_n = \beta_T + \theta_0 \quad (35b)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

由(34)式可得 $\theta_i$ 内目标丢失概率

$$P_{0,i} = 1 - \left\{ 1 - \frac{\omega_n}{2\pi f} \left[ e^{-(\theta_i + \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} + e^{-(\theta_i - \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} \right] \right\}^2 \quad (36)$$

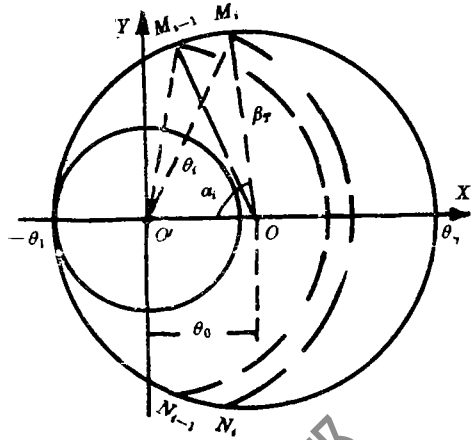


图3 存在调整偏差时, 接收概率的分析

则目标通过弧段 $M_{i-1}M_i$ 和 $N_{i-1}N_i$ 丢失的概率

$$\Delta P_{0,i} = \frac{2(\alpha_i - \alpha_{i-1}) \cdot \beta_T}{\pi(\theta_i + \theta_{i-1})} \cdot P_{0,i} \quad (37)$$

式中,

$$\alpha_i = \cos^{-1} \left[ (\theta_0^2 + \beta_T^2 - \theta_i^2) / (2\theta_0\beta_T) \right] \quad (38)$$

$\beta_T$ 内目标丢失的概率

$$P_0 = \sum_{i=2}^n \Delta P_{0,i} \quad (39)$$

总的接收概率

$$P_r = 1 - P_0 = 1 - \frac{2\beta_T}{\pi} \sum_{i=2}^n \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{\theta_i + \theta_{i-1}} \cdot \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{\omega_n}{2\pi f} \left( e^{-(\theta_i + \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} + e^{-(\theta_i - \Delta\theta_s)^2/2\sigma^2} \right) \right] \right\}^2 \quad (40)$$

从前面的分析计算可以看出,  $\Delta\theta$ 所取的角间隔值决定计算的近似程度,  $\Delta\theta$ 值越小(即 $n$ 越大), 近似程度越高。通常, 近似程度可以根据要求做得足够高。

#### 四、结果分析

1. 几点说明 使用(34)式和(40)式应注意以下几点:

(1) 假定 $\Delta\theta_s$ 是恒定的, 但在实际的跟踪系统中,  $\Delta\theta_s(t)$ 是变化的, 因为 $\Delta\theta_s(t)$ 主要是动态滞后误差, 它将随目标相对跟踪系统的角速度、角加速度的变化而变化, 此时要准确计算丢失概率是很麻烦的。如果 $\Delta\theta_s(t)$ 是在一平均值 $\bar{\Delta\theta_s}$ 附近波动, 则可以用平均值 $\bar{\Delta\theta_s}$ 代替 $\Delta\theta_s$ 即可。如果 $\Delta\theta_s(t)$ 超过 $\bar{\Delta\theta_s}$ 值的持续时间太长而且值又很大, 则可以最大系统误差 $\Delta\theta_{max}$ 作保守估计, 估计出的接收概率比实际低一些。

(2)  $\omega_n$ 是跟踪系统无阻尼自然频率, 在设计阶段往往不估计此值, 而只估计系统开环

截止频率 $\omega_c$ 或系统闭环带宽 $\omega_B$ ,一般随动系统中 $\eta$ 值约为0.4~0.8(见文献[3]),此时,

$$\omega_B \approx 1.5\omega_c \tag{41}$$

$$\omega_B \approx (1 \sim 1.5)\omega_c \tag{42}$$

(3) 前面的分析计算仅适用于 $\beta_T \geq \theta_0 + \Delta\theta_s$ 。实际应用中,通常是满足此条件的。

2. 结果分析

(9)式~(11)式和(34)式或(40)式描述了激光测距系统的接收概率 $P_r$ 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的关系。

(1) 系统的跟踪误差( $\Delta\theta_s, \sigma$ )和测距阈值角 $\beta_T$ 对 $P_r$ 的影响。当 $f \approx \omega_c$ 时,根据(34)式,可得到不同 $\beta_T/\Delta\theta_s, \Delta\theta_s/\sigma$ 时的 $P_r$ 值,其结果见表1。

表1 不同 $\beta_T/\Delta\theta_s, \Delta\theta_s/\sigma$ 时的 $P_r$ 值( $f \approx \omega_c$ )

$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$	$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$	$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$
1	0.1	0.469	2	0.1	0.475	3	0.1	0.486
1	0.3	0.501	2	0.3	0.550	3	0.3	0.623
1	0.5	0.554	2	0.5	0.653	3	0.5	0.778
1	1	0.671	2	1	0.813	3	1	0.957
1	2	0.707	2	2	0.957	3	2	1
1	3	0.707	2	3	0.996	3	3	1
1	5	0.707	2	5	1	3	5	1
$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$	$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$	$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$
4	0.1	0.500	5	0.1	0.519	6	0.1	0.540
4	0.3	0.709	5	0.3	0.794	6	0.3	0.866
4	0.5	0.886	5	0.5	0.954	6	0.5	0.985
4	1	0.996	5	1	1	6	1	1
4	2	1	5	2	1	6	2	1
4	3	1	5	3	1	6	3	1
4	5	1	5	5	1	6	5	1
$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$	$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$	$\beta_T/\Delta\theta_s$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$P_r$
7	0.1	0.565	8	0.1	0.592	9	0.1	0.621
7	0.3	0.921	8	0.3	0.957	9	0.3	0.979
7	0.5	0.996	8	0.5	0.999	9	0.5	1
7	1	1	8	1	1	9	1	1
7	2	1	8	2	1	9	2	1
7	3	1	8	3	1	9	3	1
7	5	1	8	5	1	9	5	1

从表1可见,在相同 $\beta_T/\Delta\theta_s$ 下,当系统误差 $\Delta\theta_s$ 与随机误差均方根值 $\sigma$ 之比超过2时, $P_r$ 相差不超过0.05,说明随机误差影响较小。但在一定的 $\beta_T$ 下, $\Delta\theta_s$ 越大( $\beta_T/\Delta\theta_s$ 越小), $P_r$ 越低。因此,在分配系统误差与随机误差时,应取 $\Delta\theta_s/\sigma \geq 2$ ,但不宜过大。

$\beta_T$ 越大以及跟踪误差越小,则 $P_r$ 越高。由表1可见,当 $f \approx \omega_n$ ,  $\Delta\theta_s/\sigma = 2$ 时,只要 $\beta_T \geq 2\Delta\theta_s$ ,则 $P_r$ 就可达0.95以上。

(2) 系统的闭环带宽 $\omega_B$ 和激光发射频率 $f$ 对 $P_r$ 的影响。前面已提到, $\omega_B \approx (1 \sim 1.5)\omega_n$ 。从(34)式或(40)式看,似乎 $P_r$ 与 $\omega_B$ 成反变关系。但实际上, $P_r$ 与 $\omega_B$ 的关系是比较复杂的。因为, $\omega_B$ 对其 $\Delta\theta_s$ 和 $\sigma$ 是有影响的: $\omega_B$ 变宽,一方面会使 $\sigma$ 及其变化率加大,另一方面又可减小动态滞后引起的系统误差。因此,进行跟踪系统设计时,减小 $\Delta\theta_s$ 与减小 $\sigma$ 之间是有矛盾的,应根据目标运动特性及对滞后误差的要求来确定 $\omega_B$ 。当目标运动参数变化较大时,最好应用变 $\omega_B$ ,近距离时目标对仪器有较高的角速度和角加速度,信号比较大,因而采用较宽的 $\omega_B$ 有利,以减小动态滞后误差。远距离目标的角速度、加速度较小,干扰比较大。这时应取较窄的 $\omega_B$ ,以抑制随机干扰。

从(34)式或(40)式可见, $P_r$ 与 $f$ 成正变关系,即提高 $f$ ,可提高 $P_r$ 。但 $f$ 的提高往往受到器件的性能、作用距离甚至供电等多种因素的限制。

(3) 调整偏差 $\theta_0$ 对 $P_r$ 的影响。当 $f \approx \omega_n$ 时,根据(40)式,可得到不同 $\Delta\theta_s/\sigma$ ,  $\beta_T/\sigma$ 和 $\theta_0/\sigma$ 时的 $P_r$ 值,其结果见表2。可见,当发射光轴和跟踪轴偏差 $\theta_0 \leq \sigma$ 时,其对 $P_r$ 的影响很小。

表2 不同 $\Delta\theta_s/\sigma$ ,  $\beta_T/\sigma$ 和 $\theta_0/\sigma$ 时的 $P_r$ 值( $f \approx \omega_n$ )

$\Delta\theta_s/\sigma$	$\beta_T/\sigma$	$\theta_0/\sigma$	$P_r$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$\beta_T/\sigma$	$\theta_0/\sigma$	$P_r$
2	5	0	0.996	2	4	0	0.957
2	5	1	0.989	2	4	1	0.930
2	5	2	0.952	2	4	2	0.850
2	5	3	0.885	2	4	3	
$\Delta\theta_s/\sigma$	$\beta_T/\sigma$	$\theta_0/\sigma$	$P_r$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$\beta_T/\sigma$	$\theta_0/\sigma$	$P_r$
2	3	0	0.816	1	4	0	0.996
2	3	1	0.811	1	4	1	0.988
2	3	2		1	4	2	0.948
2	3	3		1	4	3	0.855
$\Delta\theta_s/\sigma$	$\beta_T/\sigma$	$\theta_0/\sigma$	$P_r$	$\Delta\theta_s/\sigma$	$\beta_T/\sigma$	$\theta_0/\sigma$	$P_r$
1	3	0	0.957	1	2	0	0.813
1	3	1	0.925	1	2	1	0.785
1	3	2	0.836	1	2	2	
1	3	3		1	2	3	

# 美国化学激光武器的研究现状及前景(上)

林聪榕

(国防科技大学情报研究室, 长沙, 410073)

**摘要:** 本文重点介绍了美国SDI计划中天基化学激光武器的研究现状、存在的主要问题及发展前景。

## Research status and prospect of chemical laser weapon in The United States (Part 1)

Lin Congrong

(Information Research Centre of National University of Defence Technology)

**Abstract:** Research status, key issues and prospect of space-based chemical laser weapon in SDI in The United States are introduced.

### 一、引言

化学激光器是通过放热化学反应产生激活介质的粒子数反转并在振荡腔中获得激光的装置。自从1965年第一台化学激光器问世以来,化学激光器的发展堪称突飞猛进。今天,它已成为所有激光振荡器中输出功率和输出能量最高的激光器件。由于其效率高,比功率、比能量大,放大性能好,故化学激光器已发展成高能激光器中的佼佼者,引起人们的极大关注。它在激光武器,尤其是在高能激光武器方面有着十分广阔的应用前景。正因为如此,美苏等

(4) 目标特性、目标距离、系统本身的性能参数和气象条件对 $P_r$ 的影响。上述因素对 $P_r$ 的影响不直接反映在 $P_r$ 的表达式中,而是通过 $\beta_T$ 来反映的。因此,需将(9)~(11)式和(34)式或(40)式联合起来才能定量分析其对 $P_r$ 的影响。这里因篇幅所限,就不给出详细地分析了。

(续完)

### 参 考 文 献

- [1] 梅振兴, 舰船光学, 1985; (5): 1~7
- [2] 兰宁 J H, 白亭 R H 著, 涂其列译, 自动控制中的随机过程, 北京: 科学出版社, 1963
- [3] 林代业, 胡寿松, 田林合编, 自动控制原理, 北京: 国防工业出版社, 1990

\* \* \*

作者简介: 黄勇, 男, 1964年10月出生。硕士。现从事军用光电设备的论证与研究工作。  
胡长庆, 男, 1938年7月出生。高级工程师。现从事军用光电设备的论证与研究工作。

收稿日期: 1992年6月4日。 收到修改稿日期: 1992年8月24日。