

关于激光制导测角的角度量化问题

三机部612所 张宗鑑

一、引言

弹上激光测角装置是半主动激光制导系统的核心部件之一,其功能是接收目标反射的激光辐射,以检测目标相对导引头光轴的角度信息。作为测角基准的导引头光轴,可以和导弹的弹体轴重合,也可以稳定在其它方向,以实现不同的制导规律。

角度信息的处理方案可以是线性的,也可以是量化的。在激光制导和激光雷达中广泛采用的和差法,就是一种常用的线性方案,它可以在一定范围内得到线性的二维角度输出。但是,在接收能量动态范围很大,且测量的角度范围也比较大时,用和差法实现精确的线性测角是比较困难的。其实,很多制导和控制问题,并不要求精确的角度信息,在这种情况下,采用量化测角方案可能更经济,更合理。

本文首先在仙农信息论的基础上讨论制导测角中的信息关系,导出了量化参数与制导参数之间的关系式。然后以一个简单的方案为例,来论述量化测角的工程实现问题。

二、最小必须量化数与制导参数的关系

设半主动激光制导系统中的激光照射器为不编码的脉冲激光器,其重复频率为 f_r 。因此,弹上测角系统是一个在时间上离散的采样系统,采样频率也是 f_r 。又设系统在要求的测角范围内的二维量化总数为 N ,则系统每接收一个角度量化信息所得到的平均信息量 Q 满足下面不等式:

$$Q \leq Q_m = \log_2 N \quad (1)$$

式中, Q_m 表示在 N 个角度量化矢量等概率条件下接收一个角度信息所得到的信息量。

设系统传递的信息率为 h ,则有:

$$h \leq f_r \log_2 N \quad (2)$$

(2)式表明,量化数 N 和激光的脉冲重复率 f_r 越高,则系统能传递的信息率也越高。但是, f_r 的提高,只能在一定限度内提高信息率,而不能超过由于系统带宽所限定的信息率 h_m :

$$h \leq h_m \leq 2F \log_2 N \quad (3)$$

式中, F 为制导系统的带宽。

如果激光重复频率 f_r 刚好满足仙农采样定理的条件:

$$f_r = 2F \quad (4)$$

收稿日期:1982年3月30日。

则 h_m 与 h 相等。(3)式是量化测角系统所传递的信息率的上限估值公式。

下面讨论制导对信息的要求。设无制导情况下，导弹对目标的散布为高斯分布，其均方根值为 σ_0 ；制导后对目标的散布也是高斯分布，其均方根值为 σ_1 ，则制导前和制导后目标的信息函数 H_0, H_1 分别为：[1]

$$H_0 = \log_2(2\pi e \sigma_0^2) \quad (5)$$

$$H_1 = \log_2(2\pi e \sigma_1^2) \quad (6)$$

系统必须满足的信息条件是：

$$q = \int_0^{t_f} h dt \geq H_0 - H_1 \quad (7)$$

式中， t_f 是制导飞行时间； q 是制导飞行中系统传递的总信息量； h 是系统的信息传递率。由(3)式和(7)式即得：

$$2Ft_f \log_2 N \geq 2 \log_2 \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1} \right) \quad (8)$$

再经整理得：

$$N \geq \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1} \right)^{t_f F} = \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1} \right)^{2\pi \left(\frac{T}{t_f} \right)} = N_{min} \quad (9)$$

式中， N_{min} 是必须的最小量化数， T 为制导系统的等效一阶时间常数。它与系统带宽的关系是：

$$T = \frac{1}{2\pi F} \quad (10)$$

表1列出了几组不同的制导参数下的 N_{min} 值。

由表中数值看出，在一般制导条件下，所要求的量化数是很低的。当然，在实际工程设计中， N 的选择应高于表1中由信息条件所确定的临界值 N_{min} 。

由(9)式还可导出：

$$\sigma_{1min} \geq \sigma_0 N^{-\left(\frac{t_f}{2\pi T} \right)} \quad (11)$$

式中， σ_{1min} 表示系统可能得到的制导精度下限。

设 $\sigma_0 = 500$ 米，表2列出了几组不同参数下的 σ_{1min} 值。

表1 几组制导参数下要求的最小量化数

| $\frac{\sigma_0}{\sigma_1}$ | T/t_f | 0.2 | 0.15 | 0.12 | 0.1 | 0.08 | 0.05 |
|-----------------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|------|
| 100 | | 326.04 | 76.73 | 32.21 | 18.06 | 10.12 | 4.25 |
| 40 | | 103.08 | 32.35 | 16.14 | 10.15 | 6.39 | 3.18 |
| 20 | | 43.14 | 16.83 | 9.57 | 6.57 | 4.51 | 2.56 |

表2 几组参数下可能得到的制导精度下限

| N | T/t_f | 0.1 | 0.08 | 0.06 | 0.04 |
|-----|---------|--------|--------|-------|-------|
| 5 | | 38.59米 | 20.34米 | 6.99米 | 0.83米 |
| 9 | | 15.14米 | 6.31米 | 1.47米 | 0.08米 |

三、关于激光制导中测角量化的实现问题

系统地讨论二维量化的实现方案是一个比较复杂的问题。下面仅以一种简单的方案为例来对这个问题加以论述。这个方案简称四元有无定位方案。

这个量化测角系统由光学系统，四象限探测器及信号处理电路组成。探测器置于光学系统焦平面附近，目标反射的激光辐射经光学系统聚焦后成象在探测器平面上，象点位置与目标相对导引头光轴的角度一一对应。信号处理电路由四路相互独立的探测电路组成，每一路的输出都是 0, 1 型的二元信号。系统根据四路输出信号的逻辑组合来确定角度向量量化值。

这个系统的量化数 $N=9$ ，见图 1 所示。图中 I, II, III, IV 为四象限探测器的四个探测元； $A_0, A_1, A_2, \dots, A_8$ 为角度量化向量，其中 $A_0 = 0$ 。

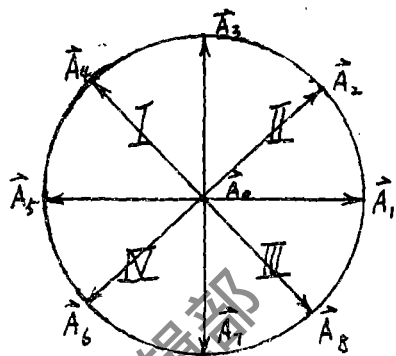


图 1 四元系统量化示意图

为了表示系统的逻辑关系，引入以下逻辑变量： $C_I, C_{II}, C_{III}, C_{IV}$ ； $A_0, A_1, A_2, \dots, A_8$ 。其中 $C_I, C_{II}, C_{III}, C_{IV}$ ，表示相应探测元的输出变量； $A_0, A_1, A_2, \dots, A_8$ 的定义是：当系统输出的量化向量为 A_i 时，则 $A_i = 1$ ，否则为 0。

引入上述变量后，系统输出的逻辑关系可以用下式表示：

$$\begin{aligned}
 A_1 &= C_{II} \cdot C_{III} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{IV} \\
 A_3 &= C_I \cdot C_{II} \cdot \bar{C}_{III} \cdot \bar{C}_{IV} \\
 A_5 &= C_I \cdot C_{IV} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{III} \\
 A_7 &= C_{II} \cdot C_{IV} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_I \\
 A_2 &= C_{II} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{III} \cdot \bar{C}_{IV} \vee C_I \cdot C_{II} \cdot C_{III} \cdot \bar{C}_{IV} \\
 A_4 &= C_I \cdot \bar{C}_{II} \cdot \bar{C}_{III} \cdot \bar{C}_{IV} \vee C_I \cdot C_{II} \cdot C_{IV} \cdot \bar{C}_{III} \\
 A_6 &= C_{IV} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{III} \cdot \bar{C}_{II} \vee C_I \cdot C_{II} \cdot C_{IV} \cdot \bar{C}_I \\
 A_8 &= C_{II} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{IV} \vee C_I \cdot C_{II} \cdot C_{IV} \cdot \bar{C}_I \\
 A_0 &= C_I \cdot C_{II} \cdot C_{III} \cdot C_{IV} \vee \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{II} \cdot \bar{C}_{III} \cdot C_{IV} \vee C_I \cdot C_{II} \cdot \bar{C}_I \\
 &\quad \cdot \bar{C}_{IV} \vee C_I \cdot C_{IV} \cdot \bar{C}_I \cdot \bar{C}_{III}
 \end{aligned} \tag{12}$$

以上我们讨论的是四元探测器的情况，在一般多元探测器的情况下，可以用类似的方法来研究，但这时系统可能的二维量化值，定位逻辑关系，以及输出逻辑表达式等都要复杂得多。

四元或多元有无定位方案的优点是实现比较简单，缺点是抗干扰性差，特别是由于通道之间的耦合，使得在输入激光能量大到一定程度后，系统的正常工作即遭到破坏。为此，需要在探测电路中引入自适应门限，或采用比幅量化方案来解决。

四、结 语

在量化测角制导系统中，最小必须的量化数与要求的制导精度，制导时间，以及系统带宽等因素有关，在通常的制导条件下，要求的量化数是比较低的。 (下转第79页)

10^{-4} 瓦/赫兹 $^{1/2}$ ；窄带滤光片； $\Delta f = 10$ 埃。

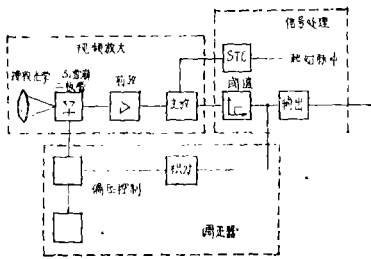


图5 接收机原理方框图

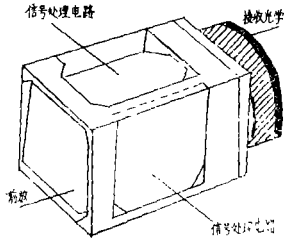


图6 激光接收机布置图

五、体会与建议

(1) LEM系列激光测距机采用标准化组件设计，可以快速组合满足各种不同使用要求。这是激光应用技术先进成熟的标志。

(2) LEM系列激光测距机突破野战环境使用这一关，突出了两个设计思想：a)加强工艺技术研究 and 应用设计，保证其性能稳定可靠；b)为使测距机小型化和实用化，在保证作用距离的条件下，选择的是降低发射功率提高接收系统灵敏度的道路。激光器输出仅几兆瓦，水平和效率是不高的。这样牺牲器件水平，减少电源消耗，保证了风冷散热，激光器输出性能的稳定和电源的小型化。可谓有得有失。

(3) 在测距机的设计中，研制和选用新工艺、新元器件是十分重要的，它决定激光应用

技术的水平。LEM测距机外形并不美观华丽，但使人感到实用（如各种用途的外壳）。机内设计考虑周到细致，工艺严格，如加厚的双层底板抗变形能力强，密封防潮，折叠光路和接收机的立体布置等。

(4) 运用性能好，操作方便，且自动显示故障。又有专门的检测装置，这样激光测距机作为一种武器装备完成了齐装配套。

(5) 激光测距机的小型化、实用化是针对性很强的工作，与具体的使用要求相对应。因此，小型化要从实际情况出发，不能从定义出发。这样才不致简单谈减轻重量和缩小体积。小型化的实现应以明确的总体设计思想和构成测距机的每一组件的高效能为方向。其次，激光测距机是光-机-电的综合体，它的小型化要建立在三者共同努力的基础上，LEM系列中的许多组件是专利或专门研制的。第三，目前我们也要把注意力放在解决好野战环境条件下的各种工艺技术上，使激光技术的成果尽快付诸应用。

(上接第58页)

虽然系统地讨论二维角度量化方案是一个比较复杂的问题，但是由于要求的量化数较低，因此，其实现方案可以是非常简单的，这就使得这种系统在激光制导中有着广阔的应用前景。

本文承612所黄彬所长审阅修改，在全国第一届激光工程应用会议讨论中，209所的陈亦庆同志和北京工业学院的周仁忠同志等也提了很多建设性意见，作者一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Fred P. Adler, Information Theory and Missile Guidance, Guided Missile Engineering, 1959.