

舰载红外警戒系统中的距离估算*

姜宏滨

(华中光电技术研究所, 湖北, 武汉, 430071)

U674.703.7
TN215

摘要 从舰载红外警戒系统完成威胁程度排序的角度, 针对飞行物体(如来袭的飞机和导弹)用红外辐射强度变化和运动学相结合的方法, 推导出简单的距离估算公式。

关键词 红外警戒系统, 距离估算, 威胁程度排序。

舰载

引言

红外警戒系统以被动方式工作, 没有距离测量值, 给威胁程度排序带来很大困难, 因此, 红外警戒系统的多目标测距成为关注的关键技术之一, 当前已有不少人从不同角度研究红外警戒系统的测距方法^[1-7], 但均未达到实用的程度。

本文试图将目标的红外辐射强度变化和运动学相结合, 推导出简单的距离估算公式。

1 公式推导

推导公式总的出发点是满足舰载红外警戒系统对来袭目标进行威胁程度排序的需要, 具体的考虑有以下两点:

(1) 不用目标数据库, 计算参数全部采用已知的和现场实测的数据。

(2) 由于舰载红外警戒系统所探测到的目标当中, 只有那些来袭的空中目标-导弹和飞机属于威胁目标, 所以只需估算来袭的空中目标的距离, 在算法上, 按飞机和导弹两种情况进行处理:

1.1 来袭飞机

飞机向舰艇袭击时, 主要是发射导弹或投放炸弹, 为获得最佳打击效果, 飞机向舰艇匀速水平直线飞行, 为避开舰上的炮火打击, 一般在高、中空飞行, 根据来袭飞机的飞行特点, 来袭飞机的方位角基本不变, 但其高低角有明显的变化, 根据这些特点, 可以推导出飞机的距离估算公式。

入射到红外探测器上的目标光谱辐射功率为 P_s :

$$P_s = \frac{J_s \tau_s A_s K}{R^2} = \frac{J_s e^{-\alpha R} A_s K}{R^2}, \quad (1)$$

或

$$P_s R^2 = J_s A_s K e^{-\alpha R}, \quad (2)$$

$$J_s = \frac{P_s R^2}{A_s K e^{-\alpha R}}; \quad (3)$$

* 国防科技预研基金(编号 43.7.2.1)资助项目
稿件收到日期 1998-11-17, 修改稿收到日期 1999-06-15

式中, J_1 为目标的红外光谱辐射强度, τ_0 为大气透过率, α 为大气衰减系数, A_0 为光学系统接收面积, K 为光学系统透过率, R 为目标距离.

将式(2)两边微分得:

$$\Delta P_1 R^2 - 2P_1 R \Delta R = -\alpha J_1 A_0 K e^{-\alpha R} \Delta R, \quad (4)$$

将式(3)代入式(4)并整理得:

$$\frac{\Delta P_1}{P_1} = -\left(\frac{2}{R} + \alpha\right) \Delta R, \quad (5)$$

利用目标运动可导出式(5)中的 R 和 ΔR 关系式.

飞机向舰艇匀速直线水平运动的示意图如图 1 所示. 图 1 中, W 为舰艇位置, A 和 B 分别为目标在 t_1 和 t_2 时刻的位置, ϵ_1 和 ϵ_2 分别为 t_1 和 t_2 时刻的目标高低角, $\overline{BC} \perp \overline{WA}$, V_1 和 h 分别为目标的航速和目标与红外探测头的高度差.

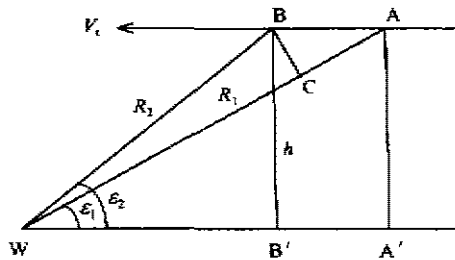


图 1 来袭飞机运动几何图

Fig. 1 Geometry for an attacking airplane

t_1 时刻, 目标距离 $R = \overline{WA}$, t_2 时刻, 目标距离 $R_2 = \overline{WB}$. 则在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间差内的目标距离差为:

$$\Delta R = R_2 - R_1. \quad (6)$$

由于目标距离舰艇 5km 以内已无需向近程武器系统发送目标指示, 威胁判断也已无意义, 所以实际上 $R_2 > 5\text{km}$, 且 $\epsilon_2 - \epsilon_1$ 是小量, 所以

以 $\overline{WC} \approx \overline{WB} = R_2$, $\overline{CA} \approx R_1 - R_2 = -\Delta R$.

由图 1 可见, $\overline{BA} \parallel \overline{WA'}$, 所以 $\angle WAB = \epsilon_1$, 而 $\overline{BC} = R_2 \text{tg}(\epsilon_2 - \epsilon_1)$, 得:

$$-\Delta R = \overline{CA} = \overline{BC} \text{ctg} \angle WAB = R_2 \text{tg}(\epsilon_2 - \epsilon_1) \text{ctg} \epsilon_1.$$

$$\text{令} \quad S = \text{tg}(\epsilon_2 - \epsilon_1) \text{ctg} \epsilon_1. \quad (7)$$

$$\text{式(7)可改写为:} \quad -\Delta R = SR_2. \quad (8)$$

式(5)中的 R 可取 R_1, R_2 的中间值, 即

$$R = (R_1 + R_2)/2. \quad (9)$$

由式(5)、(6)、(7)、(8)、(9)得:

$$R_2 = \frac{\frac{\Delta P_1}{P_1} \cdot (2 + S) - 4S}{\alpha(2 + S)S}; \quad (10)$$

红外警戒系统前处理单元所采集的目标灰度 C 与 P_s 的关系可写成:

$$C = aGP_s, \quad (11)$$

式(11)中, a 为固定的系数, G 为增益. 在 t_1, t_2 时刻的目标灰度 C_1 和 C_2 分别为:

$$C_1 = aG_1P_s, \quad (12)$$

$$C_2 = aG_2P_s; \quad (13)$$

则式(10)中的 ΔP_s 、 P_s 分别为:

$$\Delta P_s = P_{s2} - P_{s1} = \frac{C_2}{aG_2} - \frac{C_1}{aG_1},$$

$$P_s = (P_{s1} + P_{s2})/2 = \frac{1}{2} \left(\frac{C_1}{aG_1} + \frac{C_2}{aG_2} \right); \quad (14)$$

则

$$\frac{\Delta P_s}{P_s} = \frac{\frac{C_2}{aG_2} - \frac{C_1}{aG_1}}{\frac{1}{2} \left(\frac{C_1}{aG_1} + \frac{C_2}{aG_2} \right)} = \frac{2(C_2G_1 - C_1G_2)}{C_1G_2 + C_2G_1}. \quad (14)$$

在增益不变,即 $G_1=G_2$ 的情况下,式(14)可简化为:

$$\frac{\Delta P_s}{P_s} = \frac{2(C_2 - C_1)}{C_1 + C_2}. \quad (15)$$

式(10)中的 α 可根据现场的气象参数进行计算或查表得到,并输入到后处理器.

(7)中的 ϵ_1 、 ϵ_2 和式(14)中的 C_1 、 C_2 、 G_1 、 G_2 由前处理器传送给后处理器.后处理器按式(7)算出 S ,按式(14)或式(15)算出 $\Delta P_s/P_s$,代入式(10)算出 t_2 时刻,即为现时刻的目标距离 R_2 .

取 t_2 与 t_1 时刻的时间间隔 Δt 为红外警戒系统的扫描周期,如红外探测头水平扫描速度为 $1r/s$,则扫描周期为 $1s$, Δt 便取 $1s$.

算出前后时刻的距离便很容易求出目标的距离变化率.

1.2 来袭导弹

反舰导弹自 $12 \sim 15km$ 开始进入自导段,不管从飞机上投放还是从舰艇上发射,都是直接向被打击的舰艇飞行^[9],其方位角与高低角基本保持不变,这样上面对来袭飞机的距离估算方法便不适用于来袭导弹的情况,但在其公式推导中与高低角无关的一些算式仍然有用.

由式(5)和式(8)、(9)得:

$$R_2 = \frac{- (4 - \Delta P_s/P_s - \alpha \Delta R) \Delta R}{2(\Delta P_s/P_s + \alpha \Delta R)}. \quad (16)$$

反舰导弹的飞行速度为 V_s ,红外警戒系统的扫描周期为 T ,则式(16)中的 ΔR 可以用 $-V_s T$ 替代(负号的出现是因 $R_2 < R_1$),从而变为:

$$R_2 = \frac{(4 - \Delta P_s/P_s + V_s \alpha T) V_s T}{2(\Delta P_s/P_s - V_s \alpha T)}. \quad (17)$$

式(17)中的 α 可根据现场的气象参数进行计算或查表得到,并输入到后处理器 $\Delta P_s/P_s$ 按式(14)或式(15)计算,式(14)中的 C_1 、 C_2 、 G_1 、 G_2 由前处理器送给后处理器.

反舰导弹的速度不等,最慢的有 $187m/s$,最快的有 $850m/s$ ^[10].但最常用的导弹速度为 $272m/s \sim 323m/s$.各类型舰艇上和飞机上配置的导弹型号及其导弹的飞行速度可在资料上查得.在宣战情况下,从情报渠道得知敌方的兵力布置,从而可查得导弹的速度.在遭遇战的情况下,弄不清导弹的型号,可参照最常用的导弹速度取 $V_s = 300m/s$.

后处理器按式(14)算出 $\Delta P/P_1$, 并和 V_1, α, T 一起代入式(17)便可估算出 t_2 时刻, 即现时刻的目标距离 R_2 , 所取的目标速度即目标的距离变化率。

实际使用距离估算公式时, 可先按来袭导弹的情况用式(17)进行距离计算, 当目标的高低角明显增加时, 可转换到按来袭飞机的情况用式(10)进行距离计算。

2 公式的应用

上面公式推导中, 忽略了舰艇的运动, 因为在进行目标距离实时估算的短时间内, 舰艇的运动对目标的高低角影响不大, 从而对距离估算结果影响也不大, 例如, 飞机以飞行高度为 1000m, 航速为 300m/s, 从正横方向向舰艇飞行, 若 t_1 时刻飞机距离 $R_1=5000\text{m}$, 则由立体几何可以算出经 $\Delta t=1\text{s}$ 后的 t_2 时刻的飞机高低角: 当我舰不动时 $\epsilon_2=11.99551^\circ$, 舰艇以航速 32 节 = 16.471111m/s 航行时 $\epsilon_2=11.995441^\circ$, 这两种情况的 ϵ_2 仅差 $0.000069^\circ=0.2484''$, 所以, 不管舰艇运不运动, 以上距离估算方法都是有效的。

由于经过前处理后可以得到目标的 $\epsilon_1, \epsilon_2, C_1, C_2, G_1, G_2$, 估算距离的求解又很简单, 因此, 上述算法可用于舰载红外警戒系统的多目标距离、距离变化率估算, 估算结果可做为目标威胁程度排序的主要依据。

本文所推导的距离估算公式适用于最常出现的目标攻击情况, 不适用于目标在角度上做较大机动的特殊情况。

REFERENCES

- 1 Jong A.IRST and its perspective, *SPIE*, 1995, **2552**:206~212
- 2 Redly J P, Younkins L T, Taylor R J. Infrared passive ranging using sea background for accurate sensor registration, *SPIE*, 1995, **2469**:318~329
- 3 Cooke R, Nowakowski J. Range velocity and temperature estimation of targets tracked through atmospheric channel, *SPIE*, 1995, **1692**:404~415
- 4 Dalma A K, Trivedi M. Target ranging using passive sensing approaches, *SPIE*, 1995, **2469**:363~370
- 5 Randall P. Kinematic ranging for IRSTs, *SPIE*, 1993, **1950**:96~104
- 6 Accetta S. Infrared search and track systems, *IR/ED HANDBOOK*, 1993, **5**:336~341 (蒋鸿旺译, IRST 被动定位和测距, *舰船光学*), 1997, **149**(增1):12~16
- 7 Gregoris D J. Passive ranging technique for IRST, *United States*, Patent Number: 5282913, 1991, (黄勇译, 红外搜索与跟踪系统的被动测距技术, *舰船光学*), 1995, **140**(4):23~31
- 8 Hudson R D. *Infrared System Engineering*, New York: John Wiley and Sons, INC., 1969, (红外系统原理翻译组译, 红外系统原理, 北京:国防工业出版社), 1975:244
- 9 FENG Bao-Gen, WANG Ze-He. Survey and idea about ship close antimissile, *Marine Optics* (冯包根、王泽和、舰用近程反导研究概况及设想, *舰船光学*), 1993, **130**(2):2~10
- 10 LIANG Shou-Pan, ZHUANG Feng-Gan, CHEN Hua-Jin, et al. *Missiles in the World*, Beijing: Military Science Press (梁守磐、庄逢甘、陈怀谨等, 世界导弹大全, 北京:军事科学出版社), 1987, 633~850

RANGE ESTIMATION IN SHIPBORNE IRST SYSTEMS*

JIANG Hong-Bin

(Huazhong Institute of Electronics, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The simple formulas for range estimation of the attacking aircraft and missiles were derived from the angle of accomplishing threat degree ordering by means of combination of IR radiation variation and kinematics.

Key words IRST systems, range estimation, threat degree ordering.

* The project supported by the Preliminary Research Foundation of Science and Technology in National Defense
Received 1998-11-17, revised 1999-06-15