

引用格式:殷洁,荣鹏辉,张迪.基于反辐射导引头信息的近炸引信目标识别研究[J].电光与控制,2018,25(2):88-91. YIN J, RONG P H, ZHANG D. Proximity fuse target identification based on anti-radiation seeker information[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(2):88-91.

基于反辐射导引头信息的近炸引信目标识别研究

殷洁, 荣鹏辉, 张迪
(空军勤务学院航空弹药系, 江苏 徐州 221000)

摘要:为提高反辐射导弹近炸引信目标识别能力,提出了一种融合导引头信息与激光近炸引信信息的目标识别方法。在分析导引头与引信信息的一致性与冲突基础上,应用D-S证据理论综合利用导引头与引信信息判定导弹从目标上方掠过或落于目标前方;对于导弹掠过目标的情况,采用Dempster规则融合导引头与激光近炸引信测得的目标信息,以正确识别出目标雷达。研究结果表明,基于D-S理论的制导与引信信息融合方法,可以有效地判别弹目交会情况并以较高的概率识别出目标。

关键词:反辐射导弹;近炸引信;目标识别;D-S证据理论

中图分类号: TJ434 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2018.02.018

Proximity Fuse Target Identification Based on Anti-radiation Seeker Information

YIN Jie, RONG Peng-hui, ZHANG Di

(Department of Aerial Ammunition, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

Abstract: In order to improve the proximity fuse target identification capacity of Anti-radiation Missile (ARM), a method of target identification based on the fusion of seeker information and laser proximity fuse information was proposed. An analysis was made to the consistency and conflict between the seeker information and the fuse information. Then, with Dempster-Shafer (D-S) evidence theory, the seeker information was used together with the proximity fuse information to distinguish whether ARM would pass by above or contact the ground in front of the radar target. In the case of ARM passing by above the target, Dempster rules were used to fuse the information from the passive seeker and the laser proximity fuse, thus to identify the real radar target. The research results show that: the D-S theory based information fusion method can discriminate efficaciously the missile-target intersection, and has high target recognition probability.

Key words: anti-radiation missile; proximity fuse; target identification; Dempster-Shafer evidence theory

0 引言

反辐射导弹(ARM)是一种以雷达或其他电磁辐射源为攻击目标的电子战硬杀伤武器。为有效地攻击和摧毁目标,现役ARM大多配有“激光近炸+触发”的复合式引信。但ARM攻击的典型目标雷达不是孤立存在的,其附近一般配有电源车、指挥控制车、天线车等辅助车辆,并且这些辅助车辆的几何尺寸与雷达车大体相当^[1]。在弹目交会过程中,激光引信很可能将这些辅助车辆误识别为目标而提前动作,导致引战配合失调。因此,综合利用被动雷达导引头和激光近

炸引信获取的目标信息,将是准确识别目标的有效途径^[2]。本文采用D-S(Dempster-Shafer)证据理论,融合ARM导引头提供的脱靶方位角信息与激光引信提供的脱靶距离、脱靶方位信息,实现对目标雷达的准确识别。

1 导引头与引信信息的一致性与冲突

如图1所示:建立速度坐标系 $Oxyz$, O 为导引头天线中心; Ox 为导弹速度方向,沿速度方向为正; Oy 位于导弹纵向对称面内与 Ox 垂直,向上为正; Oz 轴垂直于平面 Oxy ,方向由右手定则确定。沿速度方向平移坐标系 Oyz 使点 O 至点 Q_1 ,使得此时目标天线馈源点 P_1 恰好位于平移后的坐标系内;再将该坐标系沿 Q_1P_1 平移,得到靶平面坐标系 $P_1y_1z_1$ 。在靶平面 $P_1y_1z_1$ 内, M_1 为 P_1y_1 负半轴上的一点,定义 Q_1P_1 与 P_1M_1 的夹

收稿日期:2017-03-14

作者简介:殷洁(1995—),男,江苏无锡人,学士,助教,研究方向为机载弹药保障与安全。

角 λ 为脱靶方位角,逆时针为正, $\lambda \in (-\pi, \pi]$ 。

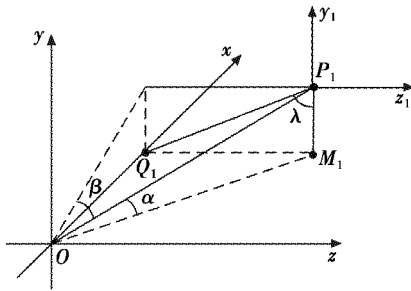


图1 脱靶方位角计算示意图

Fig. 1 Calculation of azimuth miss

ARM 被动雷达导引头通过比相测向法或比幅测向法,获得目标雷达信号的来波方向(与弹目连线方向相同)在速度坐标系 $Oxyz$ 中的俯仰角 α 和偏航角 β ^[3]。由图1可知

$$\tan \lambda = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \quad (1)$$

式(1)说明可以根据 ARM 导引头的信息得到脱靶方位角。

激光引信采用多路共面窄波束脉冲激光测距的探测方式^[4],如图2所示,激光引信探测的前倾角为 θ ,弹道倾角为 ω 。根据 ARM 弹道与地面交点位于目标的前方或后方,弹目交会过程可以分为两大类。如果弹道与地面的交点位于目标后方,导弹将从目标上方穿过,引信可以实现对目标几何外形的掠视识别,并计算出脱靶距离 ρ 及脱靶方位角的取值范围 $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ 。如果在平坦开阔地上只有敌方雷达车,则引信掠视识别出目标时,引信提供的脱靶方位角范围与导引头提供的脱靶方位角应满足 $\lambda \in [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$,并且引信测得的脱靶距离应满足导弹的制导精度。

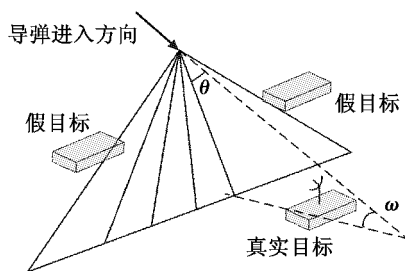


图2 ARM 从目标上方掠过示意图

Fig. 2 Sketch of ARM passing above the target

然而,ARM 攻击的典型雷达阵地,除雷达车外还包括控制车、电源车及天线车等辅助车辆,这些车辆几何尺寸大体相当,且一般集中在一个矩形区域内。这些辅助车辆对于激光引信识别出目标雷达而言,是潜在的干扰源。

如图3所示,当 ARM 弹道与地面的交点位于目标前方时,激光引信无法获取有关真实目标的信息,导引

头提供的脱靶方位角 $\lambda \in (-\pi, -0.5\pi) \cup (0.5\pi, \pi)$,而激光引信仅在脱靶方位角为 $\lambda \in (-0.5\pi, 0.5\pi)$ 时才能探测到目标,两者提供的信息将发生冲突。

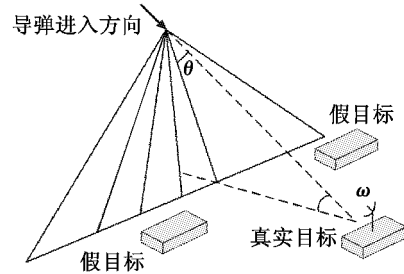


图3 ARM 落点位于目标前方示意图

Fig. 3 ARM contacting the ground in front of the target

结合 ARM 弹道与地面交点位于目标后方和前方的不同特点,应采用适当的判别准则,以准确识别出目标。对于 ARM 能够从目标上方掠过的情况,应综合利用导引头和引信提供的信息识别出真实目标,进而确定最佳起爆位置;对于 ARM 弹道与地面交点位于目标前方的情况,应利用导引头与引信提供信息的冲突判别出此类情况,避免近炸引信提前动作。

若将被动雷达导引头和激光引信测得的目标方位及脱靶距离信息加以融合,将有助于提高 ARM 对目标雷达的识别概率。D-S 证据理论因能够处理无先验信息条件下不确定问题,而广泛应用于多传感器目标识别的信息融合^[5-11]。

2 冲突信息处理及目标判别

证据理论中,将研究对象所有的取值集合定义为识别框架: $\Theta = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 两两互斥、有限的元素 a_i 称为基元; 2^Θ 为 Θ 中所有子集构成的集合,称为幂集^[12]。

定义1 Θ 为一个识别框架, A 为识别框架 Θ 的任一子集,映射 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$, 满足: $m(\emptyset) = 0, m(A) \geq 0, \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1$, 则称 $m(A)$ 为事件 A 的基本概率赋值。

定义2 若 $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ 是 Θ 上的基本概率赋值,取函数 $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0, 1], Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), (\forall A \subseteq \Theta)$, 则称 $Bel(\cdot)$ 为 Θ 上的信任函数。若 $A \subseteq \Theta$ 且 $m(A) \neq 0$, 则称 A 为信任函数 $Bel(\cdot)$ 的焦元。

定义3 设 m_1, m_2 分别为识别框架 Θ 的两组基本概率赋值,对于子集 A 将两组证据源组合起来的 Dempster 规则为

$$m(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i) m_2(B_j)}{1 - K} & \forall A \subseteq \Theta, A \neq \emptyset \\ 0 & A = \emptyset \end{cases} \quad (2)$$

式中, $K = \sum_{A_i \cap B_j \neq \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j)$ 称为合取冲突, $K \in [0, 1]$ 是衡量冲突的量, K 越大冲突越大。

Dempster 规则在证据冲突较小时, 表现出良好的适应性; 而在证据冲突较大时, 可能会导致与实际常理相悖的结果^[12-13]。当证据间出现高度冲突时, 主要有以下 3 种处理方法: 1) 完全丢弃冲突信息; 2) 从冲突中发现新事物; 3) 分析并消除冲突信息^[14]。现在的问题是证据间的冲突小到何种程度, Dempster 规则才能适用; 对于 Dempster 规则不适用的高冲突证据情况, 这里采用文献[15]提出的证据冲突衡量方法。设识别框架 Θ 下的两组证据为 E_1, E_2 , 相应的基本概率分配函数为 m_1, m_2 , 焦点分别为 A_i, B_j , 分别定义 E_1, E_2 的一致量 $H(E_1, E_2)$ 和冲突量 $C(E_1, E_2)$ 为

$$\begin{cases} H(E_1, E_2) = \sum_{A_i=B_j} m_1(A_i)m_2(B_j) \\ C(E_1, E_2) = \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $H(E_1, E_2)$ 和 $C(E_1, E_2)$ 分别描述证据间对应焦点的信任度分配的一致程度和冲突程度。

当 $H(E_1, E_2) \geq \beta C(E_1, E_2)$ 时, 认为证据 E_1, E_2 是一致的; 当 $H(E_1, E_2) < \beta C(E_1, E_2)$ 时, 认为证据 E_1, E_2 是冲突的, 其中 β 为待定常数。显然, 当 β 比较小时, 出现弃真错误的概率较小, 但出现存伪错误的概率较大; 当 β 比较大时, 出现存伪错误的概率较小, 但出现弃真错误的概率较大。

当证据 E_1, E_2 一致时, 由 Dempster 规则得到组合的基本概率赋值, 然后根据 $m(A)$ 经过一定的判别流程进行目标识别。设 $\exists A_1, A_2 \subset \Theta$ 且满足: $m(A_1) = \max\{m(A_i), A_i \subset \Theta\}$, $m(A_2) = \max\{m(A_i), A_i \subset \Theta \text{ 且 } A_i \neq A_1\}$ 。若有

$$\begin{cases} m(A_1) - m(A_2) > \varepsilon_1 \\ m(\Theta) < \varepsilon_2 \\ m(A_1) > m(\Theta) \end{cases} \quad (4)$$

则判定 A_1 为目标, 其中, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 为预先设定的门限。显然, ε_1 过大易犯弃真错误, ε_1 过小易犯存伪错误; ε_2 过大易犯存伪错误, ε_2 过小易犯弃真错误。

3 导引头与引信信息融合

在弹道末段激光引信识别出目标及与目标尺寸相当的地物干扰, 并利用交会参数计算出导弹相对于目标或与目标外形相近地物的脱靶量 ρ 。当制导系统误差为零时, 导弹脱靶量 ρ 服从瑞利分布, 其概率密度函数为

$$f(\rho) = \frac{\rho}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

式中, $\sigma = 0.8493d_{\text{CEP}}, d_{\text{CEP}}$ 表示圆概率偏差。

设激光引信识别出“疑似目标”的集合为 $\Theta = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 与 a_i 对应的脱靶量为 ρ_i 。为讨论方便, 设 $\rho_1 \leq \rho_2 \leq \dots \leq \rho_n$, 若 a_i 为真实目标, 则 ρ_i 取较小值的概率较大。令

$$\begin{cases} P_i = \int_{\rho_i}^{\infty} f(\rho) d\rho & i = 1, 2, \dots, n \\ P_{\Theta} = \int_0^{\rho_1} f(\rho) d\rho \end{cases} \quad (6)$$

用 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$ 及 P_{Θ} 的归一化值, 作为从脱靶量角度对“ a_i 为真实目标”的支持程度, 即取基本概率赋值

$$\begin{cases} m_1(\{a_i\}) = \frac{P_i}{\sum_{j=1}^n P_j + P_{\Theta}} \\ m_1(\Theta) = \frac{P_{\Theta}}{\sum_{j=1}^n P_j + P_{\Theta}} \end{cases} \quad (7)$$

当导引头提供的脱靶方位角 λ 落入引信确定的脱靶方位区间 $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ 时, 命题“ a_i 为真实目标”可能为真; 当 $\lambda \notin [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$ 时, 命题“ a_i 为真实目标”为假。用参数 $\alpha_i = 0, 1$ 表示 a_i 是否可能为真实目标, 即

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & \lambda_i \in [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}] \\ 0 & \lambda_i \notin [\lambda_{\min}, \lambda_{\max}] \end{cases} \quad (8)$$

当激光引信以概率 P_i 正确识别“与目标几何尺寸相当的物体”时, 用 a_i 归一化值作为导弹从脱靶方位角的角度对命题“ a_i 为真实目标”的支持程度, 即

$$\begin{cases} m_2(\{a_i\}) = \frac{P_i \alpha_i}{\sum_{j=1}^n \alpha_j} \\ m_2(\Theta) = 1 - P_i + P_i \prod_{1 \leq i \leq n} (1 - \alpha_i) \end{cases} \quad (9)$$

令 E_1, E_2 分别为 ARM 导引头和激光引信提供的证据, $H(E_1, E_2) \geq \beta C(E_1, E_2)$ 对应 ARM 弹道从目标上方穿过的情况, 采用 Dempster 合成规则, 通过判别准则(4)在识别框架 $\Theta = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 内识别出目标; 而 $H(E_1, E_2) < \beta C(E_1, E_2)$ 对应 ARM 弹道与地面交点落于目标前方的情况, 目标不在识别框架 $\Theta = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 内, 相当于“从冲突中发现新事物”。

4 仿真计算及分析

设 ARM 采用 10 路窄波束激光线阵推扫引信, 光路间夹角为 20° , 引信探测视场前倾角 $\theta = 45^\circ$, 正确识别目标的概率 $P_i = 0.95$, 导弹的圆概率偏差 $d_{\text{CEP}} = 5 \text{ m}$, 弹道倾角 $\omega = 30^\circ$; 雷达车、电源车、指挥车、天线车在地面坐标系中的坐标分别为 $(0, 0), (-7, 9), (8, -8), (9, 8)$ 。在判断脱靶量信息与脱靶方位角信息是否一致, 即 ARM 是否从目标上方掠过, 取 $0.5 \leq \beta \leq 3$, 采用 Monte-

Carlo 方法得到判别结果犯弃真错误和存伪错误的概率如图 4 所示。

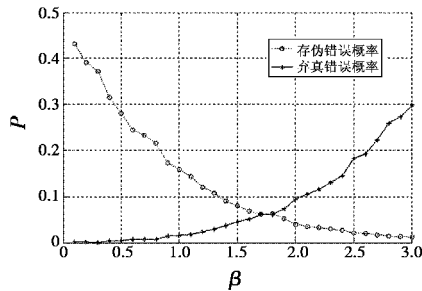


图 4 弃真、存伪错误概率的变化规律

Fig. 4 Probabilities of discarding truth and holding falsity

由图 4 可知,犯弃真错误的概率是参数 β 的增函数,犯存伪错误的概率是参数 β 的减函数。取 $1.5 \leq \beta \leq 2$,可以保证弃真错误和存伪错误均在 0.1 以下。

当确认脱靶量信息与脱靶方位角信息一致时,采用式(4)判别准则,判别参数取 $0.01 \leq \varepsilon_1 \leq 0.3$, $0.01 \leq \varepsilon_2 \leq 0.3$,得到正确识别目标雷达概率的 Monte-Carlo 仿真结果如图 5 所示。从图中可以看出, $\varepsilon_1 \leq 0.05$, $\varepsilon_2 \geq 0.1$ 时,式(4)判别准则正确识别目标的概率可达 0.9 以上。同时注意到 ε_1 的减小、 ε_2 的增大,将会导致出现存伪错误概率的增大,因此这里取判别准则式(4)的门限值为 $\varepsilon_1 = 0.05$, $\varepsilon_2 = 0.1$ 。

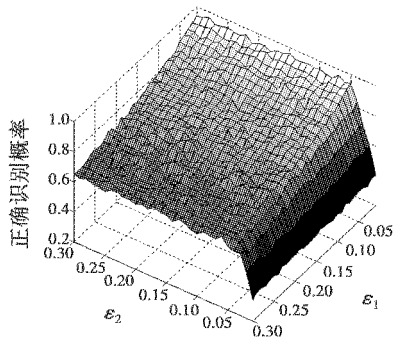


图 5 正确识别出目标雷达的概率

Fig. 5 Probabilities of recognizing the target radar correctly

5 结束语

通过研究 ARM 的弹目特性,采用 D-S 证据理论融合被动雷达导引头与激光近炸引信测得的目标信息,以解决在弹目遭遇段准确识别出目标雷达的问题。利用导引头信息与激光引信信息的冲突性,识别出 ARM 落点位于目标前方的情况;利用两者的一致性,识别出 ARM 从目标上方掠过情况。在后一种情况下,采用 Dempster 规则融合导引头与引信提供的信息,以正确识别出目标雷达。研究表明,基于 D-S 理论的制导与引信信息融合方法,可以有效地判别弹目交会情况并以较高的概率识别出目标。

参考文献

- [1] 张真,马登武,诸德放,等. 爆破式反辐射导弹攻击雷达阵地的引战配合研究[J]. 弹箭与制导学报,2013, 33(4):99-101.
- [2] 涂建平,彭应宁,袁正. 引信对制导系统提供的目标信息综合利用研究[J]. 探测与控制学报,2001, 23(3): 55-59.
- [3] ZHUANG Z H, TU J P, WANG H B. Prediction of time to go during missile-target encounter[J]. Journal of Astronautics, 2002, 23(5):32-38.
- [4] 诸德放,张真,王文强. 空地反辐射导弹激光近炸引信目标识别方法[J]. 弹箭与制导学报,2015, 35(3):75-78.
- [5] BASIR O, YUAN X. Engine fault diagnosis based on multi-sensor information fusion using Dempster-Shafer evidence theory[J]. Information Fusion, 2007, 8(4):379-386.
- [6] MINOR C P, HAMMOND M H, ROSE-PEHRSSON S L. Data fusion analysis for range test validation system[R]. Navy Technology Center for Safety and Survivability Chemistry Division, 2010.
- [7] PATERAKI M, BALTZAKIS H, TRAHANIAS P. Using Dempster's rule of combination to robustly estimate pointed targets[C]//International Conference on Robotics and Automation, 2012:1218-1225.
- [8] FOLEY B G. A Dempster-Shafer method for multi-sensor fusion[D]. Ohio: Air Force Institute of Technology, 2012.
- [9] 雷蕾,王晓丹. 结合 SVM 与 DS 证据理论的信息融合分类方法[J]. 计算机工程与应用,2013, 49(11):114-117.
- [10] 汪永伟,赵荣彩,常德显,等. 一种基于改进证据理论的推理决策方法[J]. 计算机科学,2014, 41(12):24-29.
- [11] 许鹏飞,潘东波,杨阳,等. 基于 D-S 证据理论的不对称表决系统可靠性研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2014, 36(12):193-200.
- [12] LEFEVER E, COLOT O, VANNOORENBERGHE P. Belief functions combination and conflict management[J]. Information Fusion, 2002, 3(2):149-162.
- [13] HAENNI R. Are alternatives to Dempster's rule of combination real alternatives? Comments on "about the belief function combination and the conflict management problem" [D]. Los Angeles: University of California, 2001.
- [14] 李文立,郭凯红. D-S 证据理论合成规则及冲突问题[J]. 系统工程理论与实践,2010, 30(8):1422-1432.
- [15] 杨风暴. 证据冲突的衡量方法[J]. 华北工学院学报, 2005, 26(1):58-60.