

应用 D-S 证据理论的雷达工作模式特征层融合识别

王 星¹, 王志鹏¹, 芮鹏程¹, 周东青¹, 杜文红¹, 王 超²

(1.空军工程大学航空航天工程学院,西安 710038;2.95959 部队,北京,100072)

摘要 日趋复杂的战场电磁环境对雷达工作模式识别提出了更高的要求,针对传统单平台工作模式识别方法的局限性,提出了一种在多平台协同背景下基于 Dempster-Shafer(D-S)证据理论的雷达工作模式特征层融合识别算法。该算法运用隶属度函数获得基本信任赋值,根据 Dempster 合成规则,首先对多平台侦收的同一参数数据进行多平台参数内融合,然后进行参数间融合获得合成信任度,最后依据工作模式判定规则识别雷达工作模式。通过仿真实验,多平台融合识别算法的识别率较单平台识别方法平均提高了 27%,实验结果说明融合识别方法有效地提高了识别性能。

关键词 雷达工作模式识别;信息融合;D-S 证据理论;特征层

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2016.04.007

中图分类号 TN911.7 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2016)04-0035-06

A Feature-Level Fusion Recognition Algorithm of Radar Operation Mode Based on D-S Evidence Theory

WANG Xing, WANG Zhipeng, GUO Pengcheng, ZHOU Dongqing, DU Wenhong, WANG Chao
(1.Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;
2.Unit 95959, Beijing 100072, China)

Abstract: Aimed at the problems that the electromagnetic environments are becoming more complex day by day, and the radar operation mode recognition is of the limitations, a feature-level fusion recognition algorithm of radar operation mode based on D-S evidence theory is presented to overcome the limitations of recognition method on single-platform under condition of the background of multi-platforms cooperative combat. Firstly, the BPAF (Basic Probability Assignment Function) is gotten with the member function. Then, according to the Dempster fusion rule, the fusion among platforms and the fusion among parameters are carried out successively. Finally, the radar operation mode is recognized by fusion results and decision rule of radar mode. Through the simulation experiments, the recognition rate of multi-platform is averagely increased by 27%. The result shows that the method can improve the performance of recognition effectively.

Key words: radar operation mode recognition; information fusion; D-S evidence theory; feature-level

收稿日期:2015-12-04

基金项目:航空科学基金(20152096019;20145596025)

作者简介:王 星(1965—),男,辽宁大连人,教授,博士生导师,主要从事电子对抗理论与技术研究.E-mail:18165380023@163.com

引用格式:王星,王志鹏,芮鹏程,等.应用 D-S 证据理论的雷达工作模式特征层融合识别[J].空军工程大学学报:自然科学版,2016,17(4):35-40. WANG Xing, WANG Zhipeng, GUO Pengcheng, et al. A Feature-Level Fusion Recognition Algorithm of Radar Operation Mode Based on D-S Evidence Theory[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2016, 17(4): 35-40.

随着雷达技术的快速发展,雷达体制和信号调制样式呈现出多样化的趋势,这对电子侦察(Electronic Support Measures, ESM)中雷达工作模式识别提出了更高要求。由于单个电子对抗平台在空间位置、截获性能、处理能力等方面存在限制,单平台识别方法获取的目标雷达信息具有较大不确定性和不完全性。而多平台协同识别方法通过对多源信息进行融合,不同信息间互补,去除冗余信息,推断产生新的信息,可以形成一个关于目标雷达的全面描述,大幅提高对雷达工作模式识别的准确度。因此,多平台协同识别方法已成为雷达工作模式识别的一个重要发展趋势。

根据雷达工作模式识别的信息处理过程,多平台协同融合识别方法可分为数据层融合、特征层融合和决策层融合^[1]。文献[2]和[3]利用神经网络对辐射源进行融合识别,文献[4]利用多模糊度函数及克拉美罗界对雷达辐射源进行融合识别,文献[5]利用多尺度小波熵对目标进行融合识别,文献[6]利用进化决策优化算法对雷达辐射源进行决策层融合识别,文献[7~11]利用 D-S 证据理论对目标进行融合识别。决策层融合直接对单传感器独立决策结果进行融合,这种方式对通信量和中心平台数据处理能力要求较小,研究成果也较多,但由于融合的对象直接是目标身份,识别准确度不高。数据层融合对脉冲数据进行融合,虽然这种方式能保留较多底层信息,但通信量太大,不具备实时性。文献[12]利用稀疏表示的方法对脉冲数据进行压缩,一定程度降低了对通信量的要求,但相对另外 2 种方式,通信数据量仍然较大。因此本文考虑在特征层对多平台侦收的信息进行融合,这种融合方法比数据层融合对通信量要求小,同时也较决策层融合保留的信息更

全面。

文献[13]利用 D-S 证据理论确定分集接收中转接节点的最佳接收方案,文献[14]和[15]利用 D-S 证据理论进行图像融合,文献[16]和文献[17]利用 D-S 证据理论进行信任评估。但 D-S 证据理论在实际应用过程中,存在几个难点:第一是对证据有严格要求,较难获取;第二是随合成次数增加,计算量成指数式增长。

1 D-S 特征层融合识别算法

1.1 算法框架

基于 D-S 证据理论的特征层融合识别算法见图 1。其中 u_1, u_2, \dots, u_n 为待判别雷达工作模式,构成识别框架 Θ 。基于接收机侦收的雷达特征参数数据,利用隶属度函数对识别框架中的不同雷达工作模式进行基本信任赋值, $m_{ij}(u_n)$ 为平台 i 侦收的参数 j 分配给雷达工作模式 u_n 的 BPAF。

$$m_j(u_n) = \begin{cases} \frac{\sum_{\cap u_n = \Theta 1 \leq i \leq n} \prod m_{ij}(u_n)}{1 - K} & \Theta \neq \emptyset \\ 0 & \Theta = \emptyset \end{cases} \quad (1)$$

$$K = \sum_{\cap u_n = \emptyset 1 \leq i \leq n} \prod m_{ij}(u_n) \quad (2)$$

将各平台同一参数的 BPAF 整合成一个证据组,运用 D-S 证据理论,根据式(1)、(2),对每个参数的证据组进行多平台参数内融合。融合得到新的合成 BPAF,称为参数内融合后验 BPAF,即 $m_j(u_n)$ 。所有参数内融合后验 BPAF 组成新的证据组,再次运用 D-S 证据理论,进行参数间的数据融合, $m(u_n)$ 为参数间融合后验 BPAF,最后根据判定规则进行模式判别。

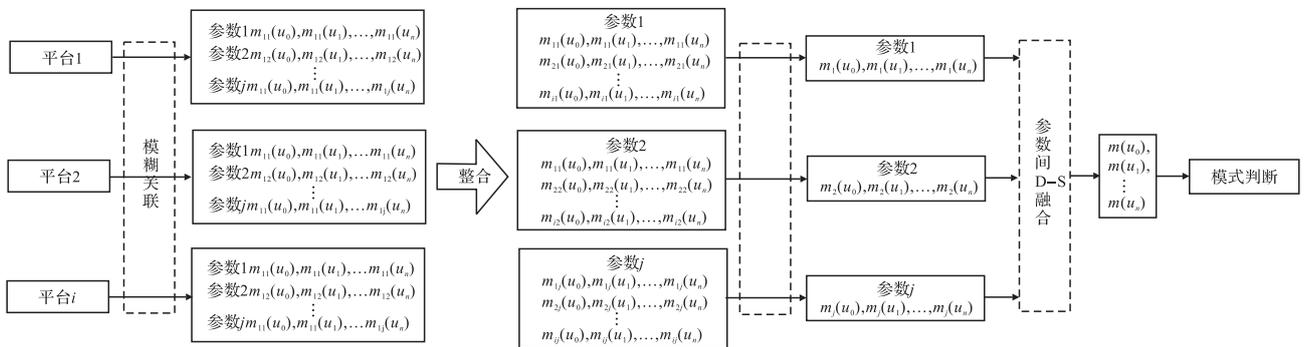


图 1 特征层信息融合框图

Fig.1 Thesketch of feature-level fusion

1.2 基本信任函数赋值

确定 BPAF 是 D-S 融合的关键步骤。本文对接收机侦收的参数进行参数内和参数间 D-S 融合,参数内融合后验 BPAF 作为参数间融合 BPAF 的

初始值。参数内融合的 BPAF 赋值过程如下:

本文在文献[18]决定 BPAF 方法的基础上,考虑待判别雷达工作模式的参数特征,根据式(3)确定参数内融合时的 BPAF。

$$m_{ij}(u_n) = C_{ij}(u_n) / \left\{ \sum_{n=1}^{N_m} C_{ij}(u_n) + N(1 - R_{ij})(1 - W_i \alpha_{ij} \beta_{ij}) \right\} \quad (3)$$

$$\alpha_{ij} = \max_n \{ C_{ij}(u_n) \}, n = 1, 2, \dots, N_m \quad (4)$$

$$\beta_{ij} = [N_m W_i / \sum_{n=1}^{N_m} C_{ij}(u_n) - 1] / (N_m - 1) \quad (5)$$

$$R_{ij} = (W_i \alpha_{ij} \beta_{ij}) / \left(\sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^N W_i \alpha_{ij} \beta_{ij} \right) \quad (6)$$

式(3)~(6)参数含义如下: $C_{ij}(u_n)$ 为平台 i 中参数 j 与工作模式 u_n 的相关系数; N_m 为识别框架中待判别工作模式数目; N 为雷达工作模式识别的特征参数数目; N_c 为协同识别的平台数目; R_{ij} 为参数 j 对于平台 i 的可靠性系数; W_i 为平台 i 的环境加权系数; α_{ij} 为平台 i 中参数 j 的最大相关系数; β_{ij} 为平台 i 中参数 j 的相关分配值。

$\mu_{ij}(n)$ 的表达式为:

$$\mu_{ij}(n) = \begin{cases} 0 & x_j < x_{0j}(n) - t_j(n) \\ [t_j(n) - x_{0j}(n) + x_{ij}] / [t_j(n) - e_j(n)] & x_{0j}(n) - t_j(n) < x_j < x_{0j}(n) - e_j(n) \\ 1 & x_{0j}(n) - e_j(n) < x_j < x_{0j}(n) + e_j(n) \\ [t_j(n) - x_{ij} + x_{0j}(n)] / [t_j(n) - e_j(n)] & x_{0j}(n) + e_j(n) < x_j < x_{0j}(n) + t_j(n) \\ 0 & x_j > x_{0j}(n) + t_j(n) \end{cases} \quad (8)$$

式中: $x_{0j}(n)$ 为工作模式 n 中参数 j 的正常值; $t_j(n)$ 为工作模式 n 中参数 j 的极限偏差; $e_j(n)$ 为工作模式 n 中参数 j 的正常变化范围; x_{ij} 为平台 i 测定的参数 j 的实际值。

1.3 工作模式判定规则

辐射源不同的工作模式对我机的威胁程度不一样,威胁等级的判定直接影响电子战系统对目标的干扰决策和干扰资源分配。本文采用基于给定规则的方法,依据参数间融合后验 BPAF,对雷达工作模式类型决策。其判定原则有:

- 1)判定的工作模式类型 u_{n0} 必须具有最大值, $m(u_{n0}) = m_{\max}(u_n)$;
- 2)不确定工作模式的 BPAF 必须小于某门限,文中设定的门限值为 $\lim, m(\theta) < \lim$;
- 3)判定雷达模式类型 u_{n0} 的 BPAF 与其他工作模式 BPAF 之差必须大于 $\text{dis}, m(u_{n0}) - m(u_n) > \text{dis}$;
- 4)判定雷达模式类型 u_{n0} 的 BPAF 必须大于不确定的 BPAF,即 $m(u_{n0}) > m(\theta)$ 。

1.4 基于 D-S 证据理论的特征层融合识别算法

Step 1 确定基本参数及 BPAF 赋值。确定用

在确定 BPAF 过程中,对于一个确定系统, N, N_m, N_c 是确定的,而 W_i 由统计和经验决定,只有 $C_{ij}(u_n)$ 需要测量。本文利用模糊集理论中的隶属度函数 $\mu_{ij}(n)$ 评估参数与识别框架中雷达工作模式的关联程度,即令 $\mu_{ij}(n) = C_{ij}(u_n)$ 。

考虑不同工作模式中特征参数的特性,构建隶属度函数 $\mu_{ij}(n)$,表示平台 i 的参数 j 隶属于工作模式 n 的程度,其分布见图 2。

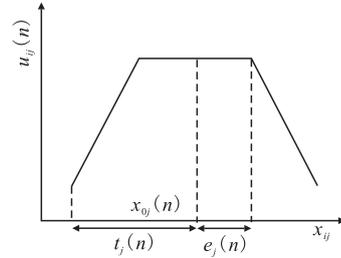


图 2 隶属度函数 $\mu_{ij}(n)$ 的分布模型

Fig.2 The distribution model of member function $\mu_{ij}(n)$

于识别的平台数目和参数。考虑用于雷达模式识别的参数特性,确定各个参数的隶属度函数。根据多平台接收机侦收的参数数据,通过模糊关联,得出各个参数对不同雷达工作模式的相关系数。经式(3)~(8)计算,得到多平台各个参数在不同雷达模式下 BPAF 值。

Step 2 多平台参数内融合。根据 Dempster 规则对两接收机侦收的某个参数的 BPAF 进行融合,融合结果与下一接收机侦收的该参数 BPAF 融合,循环直至不同平台的该参数 BPAF 全部融合完成,融合结果为参数内融合后验 BPAF,并作为参数间融合的初始 BPAF 输入。

Step 3 参数间数据融合。基于参数内融合的结果,进行多个参数间的循环融合,直至所有参数都参与融合,得到参数间融合后验 BPAF 值。

Step 4 判别雷达工作模式。基于参数间融合后验 BPAF,根据工作模式判定规则,对多参数融合的结果进行判定。若待判定雷达工作模式的后验 BPAF 达到判定规则的预设阈值,则将该模式作为识别结果输出。若所有待判定雷达工作模式都无法满足预设阈值,则无法识别。

2 仿真验证

以3架飞机ESM作分布传感器,选取脉冲重复频率(PRF)、脉宽(PW)、占空比和脉冲压缩比常用特征参数作为识别证据,选用距离门选通高重频模式 u_1 、非合作目标识别模式 u_2 、有源跟踪模式 u_3 和火炮测距模式 u_4 的雷达工作模式作为仿真识别对象,对应波形参数如表1^[19]。

表1 典型雷达工作模式波形参数

Tab.1 Parameters of typical radar operation modes

模式	PRF/kHz	PW/ μ s	占空比/%	脉冲压缩比
u_1	100~300	1~3	10~30	1~13
u_2	2~20	1~200	0.1~10	1~16 384
u_3	8~300	0.1~20	0.1~25	1~256
u_4	10~20	0.1~0.5	0.1~1	1~5

利用模拟器模拟雷达辐射源,按表1参数产生上述4种雷达工作模式的对应波形,ESM1、ESM2、ESM3的3个分布式传感器测量的辐射源参数数据

表3 接收机侦收参数确定的BPAF

Tab.3 The BPAF confirmed by sample

ESM	雷达参数	BPAF				
		$M(u_1)$	$M(u_2)$	$M(u_3)$	$M(u_4)$	$M(\theta)$
ESM1	PRF	0.008 7	0.234 6	0.020 5	0.139 8	0.596 4
	PW	0.059 9	0.166 3	0.094 7	0.097 0	0.582 1
	占空比	0.053 2	0.147 1	0.184 0	0.043 7	0.571 9
	脉冲压缩比	0.027 3	0.331 6	0.032 5	0.029 5	0.579 0
ESM2	PRF	0.008 6	0.216 2	0.023 4	0.161 5	0.590 3
	PW	0.062 5	0.134 5	0.101 2	0.108 9	0.592 9
	占空比	0.045 8	0.184 1	0.152 6	0.029 0	0.588 4
	脉冲压缩比	0.050 9	0.215 4	0.041 2	0.036 8	0.579 0
ESM3	PRF	0.009 9	0.175 7	0.027 5	0.192 2	0.594 7
	PW	0.055 0	0.227 5	0.078 3	0.075 3	0.564 0
	占空比	0.042 6	0.223 8	0.136 2	0.021 9	0.575 5
	脉冲压缩比	0.021 0	0.362 5	0.024 0	0.021 8	0.570 8

基于表3的数据,根据式(1)、(2),得到参数内融合后验BPAF及参数间融合后验BPAF,根据判定准则,对雷达工作模式类型进行识别。表4给出了参数内融合后验BPAF、参数间融合后验BPAF以及判定结果。从表4的结果可得,经过参数内融合,无法识别雷达工作模式,而根据参数间融合后验BPAF可识别出雷达工作模式为非合作目标识别模式 u_2 。

在相同数据的基础上,依据Dempster规则,进行了单平台的参数间融合,并以相同的判定规则对雷达工作模式进行识别。表5给出了单平台融合后验BPAF和多平台融合后验BPAF,以及识别结果。

作为实验样本。

在模糊融合时,各传感器的可靠性系数用权函数 $W_i = (w_1, w_2, w_3)$ 表示,本例中取 $w_1 = w_2 = w_3 = 1/3$ 。在工作模式判定规则中,不确定工作模式的BPAF门限值 $\lim = 0.2$,判定雷达模式的BPAF与其他工作模式BPAF之差 $\text{dis} = 0.1$ 。

2.1 雷达工作模式识别实验

利用模拟器生成非合作目标识别模式 u_2 的波形,3个传感器测量的参数数据见表2。

表2 传感器的测量样本

Tab.2 Sample measured by sensors

ESM	PRF/kHz	PW/ μ s	占空比/%	脉冲压缩比
ESM1	5	121	6	4 095
ESM2	7	95	4	1 800
ESM3	10	154	3	7 790

构造参数的隶属度函数,根据隶属度函数,获得每个参数的BPAF。表3给出了3个传感器侦收的各个参数,经过模糊关联后的BPAF,其中 $m(\theta)$ 表示不确定工作模式的BPAF。

根据ESM1、ESM3侦收数据和多平台融合结果可识别出雷达工作模式为非合作目标识别模式 u_2 ,但ESM2平台无法识别出雷达工作模式。

从仿真结果来看,通过信息融合,不确定性 $m(\theta)$ 大幅减小,说明雷达工作模式判定结果的不确定性降低。从表4可以明显看出,多平台参数内融合后验BPAF与参数间融合后验BPAF相比,非合作目标识别模式 u_2 的BPAF增加,而其他模式的BPAF减小,并且根据单参数融合结果无法判别雷达工作模式,而经过参数间融合可以作出判别,说明经过参数间融合后识别准确度增加。在表5的结果中,ESM2平台无法独立正确识别雷达工作模式,而

多平台融合识别,可有效降低不确定性 $m(\theta)$,提高 模式识别能力。

表 4 参数内融合识别结果及参数间融合识别结果

Tab.4 Therecognition result within platforms and parameters

雷达参数	BPAF					识别结果
	$M(u_1)$	$M(u_2)$	$M(u_3)$	$M(u_4)$	$M(\theta)$	
PRF	0.012 5	0.394 3	0.033 7	0.290 6	0.269 0	不定
PW	0.092 2	0.330 9	0.150 0	0.154 2	0.272 7	不定
占空比	0.070 0	0.341 2	0.279 4	0.045 5	0.263 9	不定
脉冲压缩比	0.043 5	0.618 3	0.043 4	0.039 0	0.255 9	不定
融合	0.021 3	0.828 0	0.063 4	0.067 4	0.019 8	u_2

表 5 单平台融合识别结果与多平台融合识别结果

Tab.5 Therecognition result of single-platform and multi-platforms

ESM	BPAF					识别结果
	$M(u_1)$	$M(u_2)$	$M(u_3)$	$M(u_4)$	$M(\theta)$	
ESM1	0.054 7	0.495 5	0.132 3	0.122 6	0.194 9	u_2
ESM2	0.066 9	0.425 0	0.139 0	0.148 2	0.221 0	不定
ESM3	0.043 9	0.566 5	0.097 0	0.111 6	0.181 1	u_2
融合	0.021 3	0.828 0	0.063 4	0.067 4	0.019 8	u_2

2.2 识别率对比实验

为进一步验证 D-S 证据理论在雷达工作模式融合识别中的优越性,在其他条件相同的情况下,利用模拟器模拟雷达的 4 种待判别工作模式,各产生 1 000 组样本波形,识别方法与上述识别实验相同,计算出正确识别概率,实验结果见表 6。

表 6 的结果表明,对于任何雷达工作模式,多平台融合识别算法都具有较高正确识别率,分别较 ESM1、ESM2 和 ESM3 平均提高 25.82%,28.26%,28.63%。

表 6 不同雷达工作模式下的正确识别率

Tab.6 Therecognition rate of different radar operation mode

ESM	u_1	u_2	u_3	u_4	平均
ESM1	59.82	54.64	62.08	94.48	67.75
ESM2	57.39	54.86	61.24	87.74	65.31
ESM3	56.38	55.56	62.27	85.56	64.94
融合	98.19	84.32	91.76	100	93.57

单参数融合识别与参数间融合识别的结果比较,以及单平台融合识别单参数和多平台融合识别的结果比较,说明基于 D-S 证据理论的特征层融合识别降低了系统的不确定性,并且有效地提高了雷达工作模式的识别能力,使识别的准确率得到提高。

3 结语

本文将模糊集理论引入 D-S 证据推理,并将其用于雷达工作模式的特征层融合识别中,提出了一种利用隶属函数构建 BPAF 的方法,并通过参数内和参数间 D-S 融合减小了数据不确定性。仿真实

验结果表明,融合识别较好解决了单平台雷达模式识别的不确定性问题,有效提高了雷达工作模式识别的准确率。另外,本文的仿真实验虽然只对 4 种雷达工作模式进行了识别,但对其他的雷达工作模式,如果能准确侦收测量目标雷达的各种参数,就能识别出雷达工作模式。

参考文献(References):

[1] 王星,周东青,周一鹏,等. 组网电子对抗的协同作战模式研究[J]. 电子对抗,2014(4): 1-5.
WANG Xing,ZHOU Dongqing,ZHOU Yipeng,et al. Research on Cooperative Combat Modes of Networked Electronic Countermeasure [J]. Electronic Warfare,2014(4):1-5. (in Chinese)

[2] DOU Lihua,ZHANG Miao. Sensor Registration Based on Neutral Network in Data Fusion[J]. Journal of Beijing Institute of Technology,2004,13: 31-35.

[3] TAN Yuanquan. Data Fusion of Radar and IFF for Aircraft Identification[J]. IEEE Journal of Systems Engineering and Electronics,2012,5: 715-722.

[4] LEI Pengzheng,HUANG Xiaotao. Multistatic Radar Analysis Based on Ambiguity Function and Cramér-Rao Lower Bounds[J]. Journal of Central South University,2014,21: 3092-3097.

[5] LI Yibing. Radar Emitter Signal Recognition Based on Multi-scale Wavelet Entropy and Feature Weighting [J]. Journal of Central South University, 2014, 21: 4254-4260.

[6] 方敏,王宝树. 基于进化策略的多传感器雷达辐射源目标识别方法[J]. 控制理论与应用,2004,21(2):165-168.

- FANG Min, WANG Baoshu. Evolutionary Strategies Based Target Identification Approach for Multisensor Radar Radiant Point[J]. Control Theory and Application, 2004, 21(2): 165-168. (in Chinese)
- [7] 符艳军, 孙开锋. 基于证据理论的多传感器目标识别[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(11): 13-16.
FU Yanjun, SUN Kaifeng. Multisensor Target Identification Based on Evidence Theory[J]. Fire Control and Command Control, 2010, 35(11): 13-16. (in Chinese)
- [8] 王红亮, 张美仙, 丁海飞. D-S证据理论在目标识别中的应用[J]. 自动化与仪表, 2011(7): 14-17.
WANG Hongliang, ZHANG Meixian, DING Haifei. Application of the Theory of D-S Evidence in Target Identification [J]. Automation and Instrumentation, 2011(7): 14-17. (in Chinese)
- [9] 康健, 谷云彪, 李一兵. 基于DS证据理论的多传感器信息融合算法[J]. 中国惯性技术学报, 2012, 20(6): 670-673.
KANG Jian, GU Yunbiao, LI Yibing. Multi-sensor Information Fusion Algorithm Based on DS Evidence Theory[J]. A Journal of Chinese Inertial Technology, 2012, 20(6): 670-673. (in Chinese)
- [10] DEMPSTER A. Upper and Lower Probabilities Induced by Multivalued Mapping[J]. Am Math Statist, 1967, 38(2): 325-339.
- [11] SHAFER G. A Mathematical Theory of Evidence [M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1976.
- [12] 马捷, 黄高明, 吉嘉, 等. 基于稀疏表示的雷达辐射源信号级融合识别算法[J]. 控制与决策, 2014, 29(10): 1798-1802.
MA Jie, HUANG Gaoming, JI Jia, et al. Signal-level Fusion Algorithm for Radar Emitter Identification Based on Sparse Representation[J]. Control and Decision, 2014, 29(10): 1798-1802. (in Chinese)
- [13] SUN Yanhua. Full Diversity Reception Based on Dempster-Shafer Theory for Network Coding with Multiple-Antennas Relay[J]. IEEE China Communication, 2015, 12(10): 76-90. (in Chinese)
- [14] 毛海岑, 刘爱东. 利用证据理论的图像融合方法[J]. 红外与激光工程, 2013, 42(6): 1642-1646.
MAO Haicen, LIU Aidong. Image Fusion Method Based on Evidence Theory[J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(6): 1642-1646. (in Chinese)
- [15] 廖家平, 陶靖琦, 赵熙临. 针对证据冲突状态的图像融合技术[J]. 华中科技大学学报, 2012, 40(3): 5-8.
LIAO Jiaping, TAO Jingqi, ZHAO Xilin. Image Fusion Technology for Conflicting Information Condition[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2012, 40(3): 5-8. (in Chinese)
- [16] 张琳, 刘婧文, 王汝传, 等. 基于改进 D-S 证据理论的信任评估模型[J]. 通信学报, 2013, 34(7): 167-173.
ZHANG Lin, LIU Jingwen, WANG Ruchuan, et al. Trust Evaluation Model Based on Improved D-S Evidence Theory[J]. Journal on Communications, 2013, 34(7): 167-173. (in Chinese)
- [17] 刘昕民, 桂卫华, 潘迪宏, 等. 一种基于 D-S 证据理论的 QoS 可信度评估方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2013, 45(3): 96-101.
LIUXinmin, GUI Weihua, PAN Dihong, et al. A Method of QoS Trustworthiness Evaluation Based on D-S Evidence Theory[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013, 45(3): 96-101. (in Chinese)
- [18] 朱大奇, 杨永清, 于盛林. 电子部件故障诊断的 Dempster-Shafer 信息融合算法[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(4): 659-623.
ZHU Daqi, YANG Yongqing, YU Shenglin, et al. Dempster-Shafer Information Fusion Algorithm of Electronic Equipment Fault Diagnosis [J]. Control Theory and Applications, 2004, 21(4): 659-623. (in Chinese)
- [19] MERRILL I Skolnik. 雷达手册 [M]. 3 版. 南京电子技术研究所, 译. 北京: 电子工业出版社, 2010.
MERRILL I Skolnik. Radar Handbook [M]. 3th ed. Translated. Beijing: Electronic Industry Press, 2010. (in Chinese)

(编辑: 姚树峰)