

# 通侦信息智能化融合系统 (IFS/CI<sup>2</sup>)<sup>1</sup>

徐从富 潘云鹤

(浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

**摘 要** 该文简要分析了通信电子战及通侦信息的特点, 介绍了一个通侦信息智能化融合系统, 并着重讨论了该系统的融合模型和关键技术, 最后指出有待解决的几个问题。

**关键词** 信息融合, 通信对抗, 通侦信息

**中图分类号** TN975

## 1 引 言

通信电子战(也称通信对抗)在现代高技术战争中的重要作用和地位, 在海湾战争和科索沃危机中得到了充分证实<sup>[1]</sup>。一般地, 通信对抗主要由通信侦察(简称通侦)、测向、通侦信息融合和干扰实施等步骤组成, 而通侦信息融合<sup>[2,3]</sup>是对通信情报进行关联、分析、综合、推理及判断的处理过程, 其目的是为了及时准确地掌握敌军行动意图、战场态势和威胁程度等情况。目前, 通信对抗中的一个非常重要的研究课题是, 如何在通侦信息融合过程中采用多种不确定性推理融合方法以形成智能化融合系统。近年来国外已经开发出许多先进的陆、海、空电子战信息融合系统, 而且正朝着综合化、通用化、智能化的方向发展。然而从国内外公开发表的文献来看, 雷达信息融合系统很多, 而纯粹的通侦信息融合系统则很少。其主要原因是: 雷达信息较通侦信息明确, 通过对雷达、电子支援措施(ESM)、敌我识别(IFF)、合成孔径雷达(SAR)等信息进行融合, 人们能较容易地确定被侦察对象的位置、属性、身份、态势及威胁等情况。此外, 通侦信息还具有如下特点: (1) 不确定性。例如对侦听到的某个通信频率或频段, 敌军各兵种及各级别都可能使用, 一般很难由个别通信技术参数或通联特征来明确地判定某个目标。(2) 不完整性。由于受战场客观情况的限制, 人们很难获取所有种类的通信(对抗)设备的信息, 即使对于同类信息, 也难以获得比较完整的数据, 而且某些数据还可能存在很大的误差(如电台发射功率等)。(3) 模糊性。很多信息并无确切的数值, 只有模糊的含义, 如手键报的音响特征就随侦听员的听觉灵敏度的不同而不同, 甚至同一个侦听员在不同的时间、环境或情绪下, 对同样的音响特征也可能产生完全不同的感觉。(4) 多变性。敌军在实际作战中采用的通信技术参数和通联特征与平时时期有很大的差异, 且随战场态势的变化而变化。因此, 通侦信息融合是通信电子战中的难点之一。本文主要从融合模型、系统构成和关键技术等方面, 介绍我们设计和开发的通侦信息智能化融合系统(IFS/CI<sup>2</sup>)。

## 2 融合模型及系统构成

### 2.1 融合模型

根据通侦信息融合过程的特点可得如图 1 所示的层次递进融合模型。该模型主要分成一级相关和二级融合两大部分, 其中二级融合又可分为三层: 第一层用以获取通信技术参数、通联特征、友邻通报和人工情报等信息, 这是最基本的初级层次, 其信息的准确性、完整性和及时性对整个融合系统的影响非常大; 第二层根据已有的领域知识、先验知识和推理规则, 对第一

<sup>1</sup> 2000-11-24 收到, 2001-07-05 定稿

国家自然科学基金(No.69973044)、国家部级项目资助

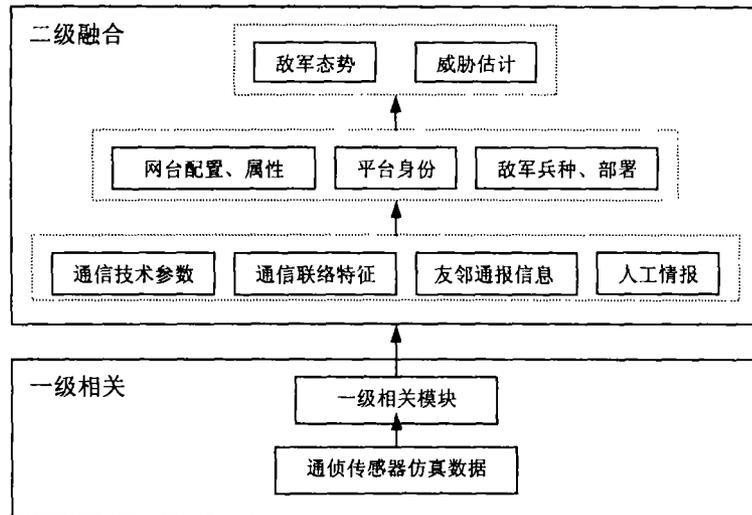


图1 层次递进融合模型

层获取的信息特征进行分析、判断和推理,得到通信网台的属性和配置、平台身份以及敌军兵种和部署等融合结果;第三层是根据第一和第二层的融合结果描绘出敌军通信网台、运载平台和各兵种作战部署示意图,并进一步融合得出敌军态势、威胁等级,以辅助我军指挥官作出正确的作战决策。

## 2.2 系统构成

通侦信息智能化融合系统 (IFS/CI<sup>2</sup>) 的系统构成如图 2 所示。由于军事通信系统的复杂性和多变性,敌军无线电通信网台经常会采用跳频、扩频或跳扩频相结合等通信方式,通信频率、调制方式等技术参数还会随季节、时间、地域或其它情况的变化而变化,而且敌军通信网台经常会发出一些欺骗信号,企图误导我军的判断和决策,这些都给本系统的设计和实现提出了很高的要求。若采用单一的融合算法难以取得理想效果,故在本系统中采用了基于粗糙集理论<sup>[4]</sup>的融合方法、Dempster-Shafer 证据推理法(简称 DS 方法)<sup>[5-7]</sup>、模糊神经网络方法<sup>[8,9]</sup>和基于多层黑板模型的融合方法<sup>[10]</sup>等。在本系统中采用上述融合方法的理由如下:粗糙集理论是一种处理含糊和不精确问题的新型数学工具,其最大优点是无需任何先验知识就能从大量含糊的、不确定的数据中发现有用信息。这在瞬息万变的现代通信电子战中更体现出其独特的优越性。因此在图 1 的一级相关模块中,基于粗糙集理论的推理模块对传感器仿真数据集的属性和属性值进行约简,即对原始数据(如通信频率、电台功率等)进行分类处理,并结合时间、位置等参数实现电台及其技术参数、通联特征的分类和筛选,从而找出关键属性和推理规则(即融合算法),并为其它推理模块提供必要的融合中间结果。

在一级相关的基础上,基于 DS 方法的推理模块和基于模糊神经网络方法的推理模块主要负责网台属性、配置、用途和平台属性、身份等的判定和识别。由于 DS 方法是一种被广泛采用的不确定性推理融合方法,我们用它来判定网台属性和识别敌军身份。模糊神经网络方法不仅能处理模糊信息,而且还具有自学习、自适应、容错性好等优点,它尤其适于对敌军新电台的识别和跟踪。由图 2 可知,在 IFS/CI<sup>2</sup> 中 DS 推理模块与模糊神经网络推理模块是并行的,这是因为它们具有互补性,即 DS 推理模块主要用于处理不确定性信息,而模糊神经网络推理模块则主要用于处理模糊信息。多层黑板模型是一种处理大型复杂问题的有效方法,它比较适于处理较为抽象的高级融合过程。在 IFS/CI<sup>2</sup> 中,基于多层黑板模型的决策模块对敌军网台属性、配置、用途,以及运载平台身份、敌军兵种等融合中间结果进行推理,得到通信对抗战场的态势评估和威胁估计。战场态势可视化模块与通信对抗场景仿真模块、通侦信息融合模块等进行

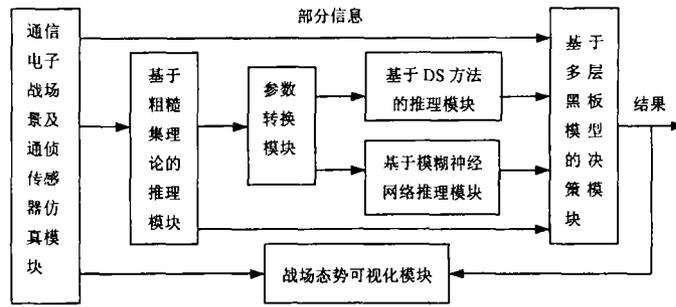


图2 系统构成示意图

实时交互，将通信对抗战场信息实时动态、生动形象地展现出来，为指挥员提供一个真实可信的通信对抗战场态势图。我们将基于粗糙集理论的融合方法与 DS 方法、模糊神经网络方法等不确定性融合方法有机地集成在一个融合系统中，有效地解决了通信对抗战场中大量模糊和不确定性信息的融合问题。

### 3 关键技术

#### 3.1 传感器有效侦察范围的计算方法

判断某个电台是否处于传感器的有效侦察范围内是通侦信息仿真和融合的重要内容之一，它是验证通信电子战仿真场景与真实场景符合程度的重要标志，也是通侦信息智能化融合系统的基础。传感器有效侦察范围的主要计算步骤如下：

(1) 获取传感器的工作特性（如频点上 / 下限、误差长 / 短轴、传感器能探测到的目标个数和所处高度、传感器的接收灵敏度等）及电台的工作特性（如工作频率、带宽、发射功率、调制方式、海拔高度等）。

(2) 若某电台的发射功率  $P$  为 0，或工作频率不在传感器的侦察范围之内，或调制方式与传感器不匹配，则表明该电台不在传感器的有效侦察范围内。

(3) 计算电台信号传输损耗  $P_{tw}$ 。信号传输损耗的计算模型参见国标 GB/T 14617-93，我们主要采用如下计算公式：

(a) 对地面上视距范围内的目标，传输损耗  $P_{tw}$  的计算公式为

$$P_{tw} = 28.61 + 44.49 \lg f - 4.78 (\lg f)^2 - 13.82 \lg h_b + (44.9 - 6.55 \lg h_b) (\lg d)^r - a(h_m) + \xi$$

其中  $f$  为工作频率，单位吉赫； $h_b$  为基台天线高度，单位米； $h_m$  为接收机电台天线高度，单位米； $d$  为传感器到基台的距离，单位千米； $\xi$  为校正因子； $a(h_m)$  为接收机天线高度增益因子； $r$  的计算公式为

$$r = \begin{cases} 1, & d \leq 20\text{km} \\ 1 + (0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} h_b) \times [\lg(d/20)]^{0.8}, & d > 20\text{km} \end{cases}$$

(b) 对地面上超视距的目标，传输损耗计算公式为

$$A = F(x) - G(y_1) - G(y_2)$$

其中  $x$  为两天线间的归一化路径长度,  $y_1, y_2$  为两天线的归一化高度,  $F(x), G(y)$  的计算公式分别为

$$F(x) = 17.6x - 10\lg x - 11$$

$$G(y) = \begin{cases} 17.6(y - 1.1)^{1/2} - 5\lg(y - 1.1) - 8, & y > 2 \\ 20\lg(y + 0.1y^2), & 10K' < y \leq 2 \\ 2 + 30\lg K' + 9[\lg(y/K') + 1], & K'/10 < y \leq 10K' \\ 2 + 20\lg K', & y \leq K'/10 \end{cases}$$

其中  $K'$  为极化参数, 它又可分成水平极化参数和垂直极化参数, 其计算公式参见国标 GB/T 14617-93。

(c) 对于空中目标, 传输损耗  $P_{tw}$  的计算公式为

$$P_{tw} = 92.5 + 20\lg d + 20\lg f$$

其中  $d$  为传感器与目标间的距离, 单位千米;  $f$  为工作频率, 单位吉赫。

(4) 根据发射功率、传输损耗等参数计算该电台发出的信号强度  $P_i$ , 其计算公式为

$$P_i = P - P_{tw}$$

(5) 若传感器的灵敏度大于某电台的信号强度, 则传感器能接收到该电台发出的信号; 否则, 表明信号太弱, 传感器接收不到。

### 3.2 基于粗糙集理论的一级相关

一级相关模块的处理流程如图 3 所示。通侦传感器仿真模块生成的数据存放在共享数据库中, 对该库中的记录进行初步分类、约简, 生成预备数据库。在预备数据库的基础上, 一方面经过电台识别算法, 生成电台库; 另一方面通过平台识别算法, 生成运载平台库。在电台库的基础上, 既可生成通信技术参数库和通联特征库, 又可经目标网生成算法得到目标网库。在平台库和目标网库的基础上, 对电台库中一些未定的项进行融合回填。由于粗糙集理论适用于从大量的、含糊的原始数据集中抽出有用数据, 并能客观地 (即除数据集外无需任何先验知识) 推导出融合规则, 我们将粗糙集理论用于一级相关模块中的通信电台及其运载平台的识别与跟踪。基于粗糙集理论的一级相关算法及应用实例参见文献 [2]。

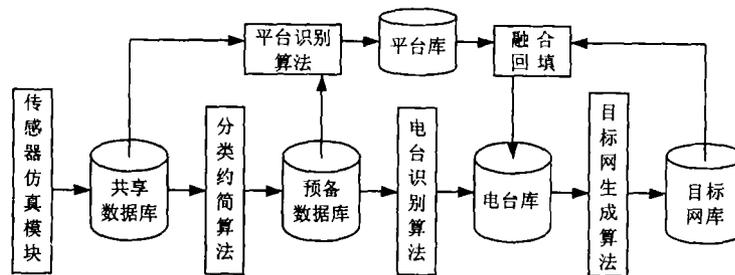


图 3 一级相关模块处理流程

### 3.3 参数转换方法

在利用 DS 方法进行数据融合之前, 首先要给出基本概率分配 (也称 mass 函数)。类似地, 要采用模糊神经网络方法进行通侦信息融合, 首先必须将相关的通侦信息转换成  $[0, 1]$  的浮点

数。转换后的数据是一个先验或统计概率，经 DS 方法或模糊神经网络方法推理后得到的结论也是一个  $[0, 1]$  之间的浮点数，表示融合结果是某种情况的可能性程度。下面以军兵种判定为例，说明基本概率分配的给定方法。

设辨识空间  $\Theta = \{h_1, h_2, h_3\}$ ，其中  $h_1$  表示陆军， $h_2$  表示海军， $h_3$  表示空军。已知频率、目标位置、呼号等 8 个参数与军兵种有关，即： $\langle$  频率，目标位置，呼号，电报种类，运载平台特征，网台属性 / 组成，编制 / 部署，友邻通报  $\rangle \Rightarrow \langle$  军兵种  $\rangle$ 。且先验概率分布分别是：

- (1) 频率  $::= \{ \text{符合已知空军特有频率；频率在 1GHz 以上} \} = \{1, 0.7\}$ ;
- (2) 目标位置  $::= \{ \text{高空；内陆低空或海面低空} \} = \{1, 0.7\}$ ;
- (3) 呼号  $::= \{ \text{仅供空军使用呼号；陆空或海空共用呼号；陆海空三军共用呼号} \} = \{1, 0.5, 0.33\}$ ;
- (4) 电报种类  $::= \{ \text{空军特有电报；陆空或海空共用电报；陆海空三军共用电报} \} = \{1, 0.5, 0.33\}$ ;
- (5) 运载平台特征  $::= \{ \text{确知为高空平台；内陆低空或海面低空平台} \} = \{1, 0.7\}$ ;
- (6) 网台属性 / 组成  $::= \{ \text{符合空军网台已知特征；部分符合空军网台已知特征} \} = \{1, 0.7\}$ ;
- (7) 编制 / 部署  $::= \{ \text{与编制、部署特征一致；与编制、部署特征部分一致} \} = \{1, 0.7\}$ ;
- (8) 友邻通报  $::= \{ \text{与友邻通报情况一致；与友邻通报情况部分一致} \} = \{1, 0.7\}$ 。

现从通信侦察站送来 5 批数据，格式如下：

(1)  $\langle$  频率在 1GHz 以上，高空，陆海空三军共用呼号，陆海空三军共用电报，运载平台特征不知道，网台属性 / 组成不知道，编制 / 部署不知道，友邻通报不知道  $\rangle \Rightarrow \langle$  军兵种概率：空军 0.8，陆军 0.1，不知道 0.1  $\rangle$ ；

(2)  $\langle$  频率在 1MHz~1GHz 范围内，目标位置不知道，陆军特有呼号，陆海空三军共用电报，运载平台特征不知道，网台属性 / 组成不知道，编制 / 部署不知道，友邻通报不知道  $\rangle \Rightarrow \langle$  军兵种概率：陆军 0.7，海军 0.2，空军 0.1  $\rangle$ ；

(3)  $\langle$  频率在 1MHz 以下，目标位置不知道，陆海空三军共用呼号，海空特有电报，运载平台特征不知道，网台属性 / 组成不知道，编制 / 部署不知道，友邻通报不知道  $\rangle \Rightarrow \langle$  军兵种概率：海军 0.9，不知道 0.1  $\rangle$ ；

(4)  $\langle$  频率在 1GHz 以上，目标位置为海上低空，陆海空三军共用呼号，陆海空三军共用电报，运载平台特征不知道，网台属性 / 组成不知道，编制 / 部署不知道，友邻通报不知道  $\rangle \Rightarrow \langle$  军兵种概率：陆军 0.3，海军 0.3，空军 0.3，不知道 0.1  $\rangle$ ；

(5)  $\langle$  频率在 1MHz~1GHz 范围内，目标位置不知道，空军特有呼号，海军特有电报，运载平台特征不知道，网台属性 / 组成不知道，编制 / 部署不知道，友邻通报不知道  $\rangle \Rightarrow \langle$  军兵种概率：(陆军，海军)0.3，(陆军，空军)0.3，(海军，空军)0.3，不知道 0.1  $\rangle$ 。

由以上数据可得基本概率分配如表 1 所示。

表 1 基本概率分配

$m$	$h$						$\Theta$
	$\{h_1\}$	$\{h_2\}$	$\{h_3\}$	$\{h_1, h_2\}$	$\{h_1, h_3\}$	$\{h_2, h_3\}$	
$m_1$	0.1	0	0.8	0	0	0	0.1
$m_2$	0.7	0.2	0.1	0	0	0	0
$m_3$	0	0.9	0	0	0	0	0.1
$m_4$	0.3	0.3	0.3	0	0	0	0.1
$m_5$	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.1

注：模糊神经网络输入信息的转换方法与 DS 方法类似，故不赘述。

### 3.4 基于 DS 证据推理的融合方法

在目标识别算法中, DS 方法作为一种不确定性推理方法具有独特的优势<sup>[6,7]</sup>。使用 DS 方法融合多传感器数据或信息的基本思想是, 首先对来自多个传感器和信息源的数据和信息(即证据)进行预处理, 然后计算各个证据的基本概率分配函数、可信度和似然度, 再根据 Dempster 合成规则计算所有证据联合作用下的基本概率分配函数、可信度和似然度, 最后按照一定的判决规则选择可信度和似然度最大的假设作为融合结果。我们利用 DS 方法来判通信用途、通信级别、敌军兵种、军队级别等。下面以敌军兵种识别为例说明基于 DS 方法的融合处理过程: 在对每个传感器收集的数据或信息进行预处理后, 对某观测目标的身份(如陆军、海军、空军等)分配证据, 通过 mass 函数对这些身份进行量化, 然后分别计算该目标身份的证据区间, 再利用 Dempster 合成规则对这些身份证据区间进行综合, 从而得到该目标的每个可能身份的联合证据区间, 最后根据判定逻辑选取最佳的联合证据区间作为融合的身份说明。基于 DS 证据理论的融合方法原理及在通侦信息智能化融合系统中的应用实例, 参见文献 [2, 6, 7]。

### 3.5 基于模糊神经网络的融合方法

模糊神经网络的最大特点是结合了模糊理论和神经网络算法的优点。具体地说, 它具有如下 4 个特点: (1) 能处理模糊信息; (2) 通过训练或自学习实现自适应功能; (3) 不受噪声或不完整输入数据的影响; (4) 固有的容错能力。本系统采用基于 Mamdani 模糊推理<sup>[9]</sup>的神经网络方法。基于模糊神经网络方法的推理过程如图 4 所示。

在图 4 中, 规则训练模块调用模糊神经网络的训练算法对推理规则进行训练, 并完成各个推理规则的权值维护工作, 规则训练体现了该融合算法的自适应性。基于 Mamdani 模糊推理的神经网络方法原理及其在通侦信息智能化融合系统中的应用情况, 参见文献 [2, 8]。

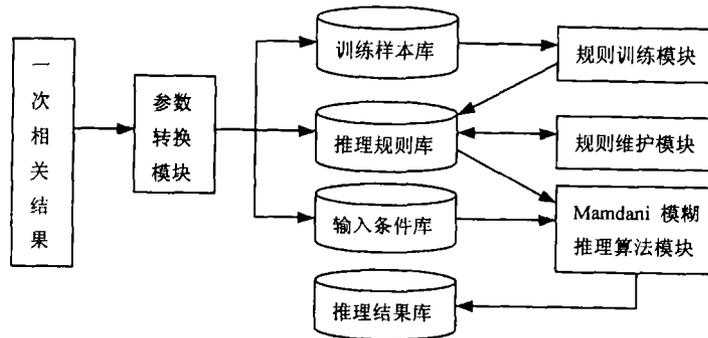


图 4 基于模糊神经网络方法的推理过程

### 3.6 基于多层黑板模型的融合方法

本系统采用的多层黑板模型<sup>[10]</sup>如图 5 所示, 由图 2 可知基于 DS 方法的推理模块和基于模糊神经网络方法的推理模块同处于一个层次, 不仅处理的内容相同, 且两者的融合结果也相互重叠或关联, 若由两者推理得到的结果相互矛盾, 在决策层融合中将会出现冲突现象。因此我们在决策层采用基于多层黑板模型的融合方法, 它既能对合理的中间结果进行融合, 又能对冲突的中间结果进行仲裁和控制。本文所述多层黑板模型的最大特点是增加了一个匹配链表结构, 在该链表的每个节点中包括匹配关键字、匹配累计计数、可信度和决策优先级等内容。匹配链表结构体现了证据的“积累”过程, 为不断地证实或推翻某个融合中间结果提供依据。与其它黑板模型不同的是, 该模型的知识源一旦受到“刺激”后, 不是将得到的“响应”结果直接更新某级黑板, 而是加入匹配链表中。当所有证据都已输入完毕, 对匹配链表进行判断, 从而得到最终的融合结果。该多层黑板模型主要解决以下问题: (1) 当出现多个结果时, 取出最合理者; (2) 对矛盾证据和结论的判断及取舍等。我们设计了大量的仲裁和控制规则, 它们大多是

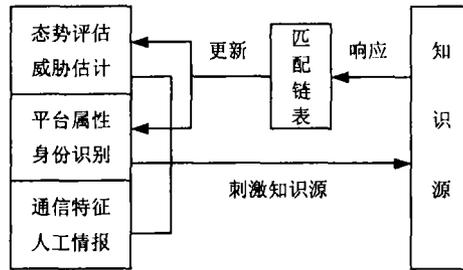


图5 多层黑板模型

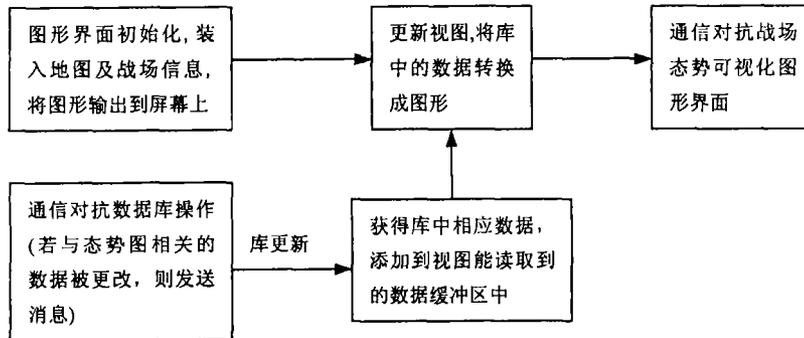


图6 通信对抗战场态势可视化处理流程框图

对通信对抗专家的经验进行整理和形式化后的结果。很显然，这是一种解决冲突的经验方法，应随时间和实际情况的变化，对相应的仲裁和控制规则进行修改和补充。

### 3.7 战场态势可视化方法

通信对抗战场态势可视化<sup>[2]</sup>处理流程如图6所示。我们主要通过图形界面初始化模块和通信对抗数据库来设置和更新态势图，其中通信对抗数据库包括通信技术参数库、通联特征库、友邻通报库、人工情报库和融合结果库等。战场态势可视化模块主要有以下功能：(1) 融合结果的生动再现。显示对象按其来源分为两大类：传感器数据和融合结果；就目标种类而言，可分为固定目标和移动目标，如固定目标有地面指挥中心、基地、机场等；移动目标有车载平台（通信车）、预警机、舰载等。(2) 动态更新显示功能。由于传感器数据及融合结果均按一定的时间间隔更新，为实时跟踪目标和显示战场态势，必须动态刷新态势图。(3) 显示被跟踪目标的详细资料，如所处位置（经纬度）、目标类型、敌我属性、国别、运载平台类型等。(4) 基本的地形识别功能，如自动识别某些水域和海岸等地形。在通信对抗战场的可视化模块中，为实现多目标平滑运动功能，我们采用计算机游戏中经常采用的 Direct Draw 技术（也称多重缓存技术），使用两个或两个以上表面进行交替显示，即前台显示，后台刷新，以提高图形生成和刷新效率。另外还使用了多帧图像切换技术，达到了较逼真的动态效果。

## 4 小 结

目前已基本完成该系统的演示模型，并通过了系统联调。从仿真运行结果来看，该系统对静态目标的识别与跟踪的准确率达到 98% 以上，而且对动态目标的识别与跟踪的准确率也能达到 90% 以上，这表明该系统有往实用化发展的潜力。需进一步解决的主要问题有：(1) 通信信息的量化十分困难。如手键报声音有“清脆悦耳”、“碰撞声”、“钢音”、“鸟叫声”等模糊特

征, 对这些模糊特征进行量化时, 很难给出一个确切的量化值, 从而影响 DS 方法和模糊神经网络方法的应用效果; (2) 运动电台及其运载平台的识别和跟踪的正确率有待进一步提高, 尤其是同类电台或运载平台在同一时间段和同一地点 (或相距很近, 以至传感器无法区分) 都同时进行工作的特殊情况下, 本系统有时会在局部区域出现误判的“连锁反应”现象; (3) 在通信电子战中, 电子欺骗战术的使用十分频繁, 目前还没有一种很好的方法可以识别出来, 这也是世界各国通信对抗急需解决的难题; (4) 计算机模拟的通信信息与通信对抗战场的实际情况有一定的出入, 故本系统在实战中的应用效果还有待进一步验证。

**致谢** 谢澍、茹黎明、叶军诚、邢康博、刘勇、楼东沂和徐捷等同学为本系统的开发做了大量的编程工作。本项目还得到信息产业部电子第三十六研究所赵阳工程师、李颖敏高级工程师, 以及信息产业部电子第二十九研究所祝正威高级工程师、陈锡明博士的大力帮助, 在此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 熊群力, 通信对抗的未来发展, 通信对抗, 1996, (2), 1-5.
- [2] 徐从富, 基于多 Agent 的信息融合技术研究, [博士学位论文], 浙江大学计算机系, 2000.
- [3] D. L. Hall, *Mathematical Techniques in Multi-sensor Data Fusion*, Boston, Artech House, 1992, 45-106.
- [4] Z. Pawlak, Rough set, *International Journal of Computer and Information Science*, 1982, 11(5), 341-356.
- [5] G. Shafer, *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1976, 1-135
- [6] 徐从富, 耿卫东, 潘云鹤, Dempster-Shafer 证据推理方法理论与应用的综述, 模式识别与人工智能, 1999, 12(4), 424-430.
- [7] 徐从富, 耿卫东, 潘云鹤, 面向数据融合的 DS 方法综述, 电子学报, 2001, 29(3), 393-396.
- [8] 徐从富, 耿卫东, 谢澍, 潘云鹤, 面向通信信息融合的模糊神经网络方法, 计算机研究与发展, 2000, 37(10), 1212-1217.
- [9] E. H. Mamdani, Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant, *Proc. IEE*, 1974, 121(12), 1585-1588.
- [10] 徐从富, 耿卫东, 潘云鹤, 面向通信信息融合的多层黑板模型, 电子学报, 2001, 29(3), 361-363.

## IFS/CI<sup>2</sup>: AN INTELLIGENT FUSION SYSTEM OF COMMUNICATION INTERCEPTION INFORMATION

Xu Congfu Pan Yunhe

(*Institute of Artificial Intelligence, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China*)

**Abstract** In this paper, the characteristics of communication electronic warfare and communication interception information (CI<sup>2</sup>) are analyzed concisely. IFS/CI<sup>2</sup>: an intelligent fusion system of CI<sup>2</sup> is introduced. The fusion model and key methods are discussed especially. Some problems left to be solved in the future are pointed out finally.

**Key words** Information fusion, Communication countermeasure, Communication interception information

徐从富: 男, 1969 年生, 博士, 讲师, 主要研究方向为人工智能、智能 CAD、数据融合、知识发现、计算机网络、多媒体技术等。

潘云鹤: 男, 1947 年生, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 浙江大学校长, 主要研究方向为人工智能、智能 CAD、形象思维、计算机美术等。