

# 面向主体的多源信息融合系统建模研究

杨善林, 罗 贺

(合肥工业大学计算机网络系统研究所, 合肥 230009)

**摘 要** 利用面向主体的建模方法分析了多源信息融合系统的建模需求,对系统中的 Agent 角色进行了划分,并讨论了多种角色的功能及形式化模型,构建了面向主体的多源信息融合系统模型框架。在此基础上,针对无人驾驶飞机机载传感器的信息融合问题建立了仿真系统,分析了系统中各种角色的结构模型,提出用基于焦元的证据理论合成规则作为多源信息融合系统中的合成算法。仿真实验表明,系统对环境变化具有较好的适应性,并能够有效避免冲突带来的不利影响。

**关键词** Agent, 多源信息融合系统, 系统建模, 合成规则

**中图分类号** TP391.9, TP18

## 引言

多源信息融合系统能够对多源传感器获取的各种信息进行加工与处理,一定程度上降低各个信息源之间的冲突和不确定性,提高信息的完整性,得到关于监测对象的一致性信息,降低信息的冗余度,从而为分析与决策提供有力支持。主体(Agent)作为自主的个体能够感知周围的环境,并具有对其自身行为和内部状态的自我控制能力<sup>[1]</sup>。Agent 能够将推理和知识表示相结合,不断地从环境中获取知识以提高自身的能力,适应并运行于复杂的环境,灵活、自主地解决一系列的问题<sup>[2]</sup>。利用面向主体的方法对多源信息融合系统建模能够有效地反映多源信息的复杂性、多变性以及不确定性等特性,提高系统对环境变化的适应能力,一定程度上避免信息的不确定性对系统带来的不利影响。

在多源信息融合系统中目前常用的信息融合方法主要有卡尔曼滤波法、贝叶斯估计法、聚类分析法和证据理论推理法等。其中,证据理论方法<sup>[3]</sup>能够在先验概率未知的情况下,以简单的推理形式得出较好的融合结果,为不确定信息的表达与合成提供了有效的方法。但是由于环境中信息的复杂性和不确定性,在利用经典证据理论合成方法时可能会产生合成悖论、“一票否决”、鲁棒性差等问题<sup>[4]</sup>。对于上述问题,Yager<sup>[5]</sup>、Smets<sup>[6]</sup>、Lefevre<sup>[7]</sup>以及文<sup>[8-11]</sup>分别对证据合成规则提出了不同的改进,一定程度上减少了冲突对合成结果的影响,但这些方法都是在基本概率分配函数(Basic Probability Assignment, BPA)的基础上对合成规则进行修正,缺乏对产生冲突的焦元进行分析。通过对焦元的冲突性分析,能够在基于 Agent 的多源信息融合系统中减少冲突性对系统的影响。

针对上述问题,本文建立了面向主体的多源信息融合系统角色模型和系统模型,分析了系统中多种角色的功能及形式化模型,并针对无人驾驶飞机机载传感器信息融合问题建立了仿真系统。在系统中提出了基于焦元的证据理论合成规则作为多源信息融合系统中的信息融合算法。仿真实验表

\* 基金项目: 国家自然科学基金重点项目(70631003); 国家自然科学基金(70471046)。

通信作者: 杨善林教授, 博士生导师, e-mail: slyang@mail.hf.ah.cn。

明,系统能够有效地避免证据冲突带来的不利影响,具有较好的适应性。

## 1 面向主体的系统建模方法

在面向主体的建模过程中,主体(Agent)被定义为能够独立、自主地执行的动作以实现系统某一特定功能的行为实体。主体具有很强的自主性和灵活性,能够较好地适应外部环境的变化。面向主体的建模方法就是基于主体的上述特性,构建主体的体系结构、思维结构模型以及主体与环境的交互模型,实现主体的功能。在建模过程中,多个 Agent 之间通过通信语言与交互协议相互作用,实现系统的整体目标。

利用面向主体的方法对系统进行建模可以划分为两个阶段:首先对系统需要完成的功能进行需求分析,划分系统中 Agent 的角色,确定每个角色所具有的功能和任务,并明确多种角色之间的关系;然后分别对系统中各个 Agent 角色进行建模,具体建模过程如下:

### (1) 系统目标获取

一个系统通常包含一个总体目标以及若干个子目标,子目标的实现会有助于总体目标的实现。面向主体的建模需求分析就是对系统目标的分析过程,目的是建立完整的、可通用的系统模型。

### (2) 角色划分

在系统中,Agent 角色被看作为负责完成系统的一个或多个目标的功能实体。在获取系统目标的基础上,进一步对系统的功能与任务进行分解,并依据分解的结果提炼多种 Agent 角色。

### (3) 角色分析

在确定 Agent 角色后,首先根据 Agent 角色所承担任务之间的联系,建立系统的角色图,明确各种角色之间的逻辑关系,然后对每一种 Agent 角色进行分析、设计与建模。

在通信语言与交互协议的支持下,通过面向主体的系统建模方法对系统中的角色进行建模,就能够建立出相应的系统模型。

## 2 面向主体的多源信息融合系统建模

由于系统所处外部环境的不确定性以及复杂性,从不同知识源获取的环境信息存在着差异,多源信息融合系统通过信息融合算法能够对这些信息加以融合与利用,从而形成对比较准确的状态信息。多源信息融合系统按照层次一般可以划分为数据层、特征层和决策层。数据层上的信息融合虽然保持了较多的原始信息,但是处理的信息量大,实时性也比较差;决策层上的信息融合尽管对通信带宽的要求比较低,但产生的结果的准确性却比较差;而特征层上的信息融合可以在降低通信带宽的情况下,尽可能地保持融合结果的准确性。因此,本文在特征层上建立多源信息融合系统的模型,并利用面向主体的建模方法对其进行设计与建模。

### 2.1 系统中的 Agent 角色

在多源信息融合系统中包含了各种功能的传感器,系统需要利用特定的功能实体来获取这些传感器中的信息,另外还需要对传感器提供的众多信息进行标准化处理,然后才能对多源信息进行融合。同时,在系统运行过程中,需要对各个功能实体之间的行为进行协调,使系统能够稳定、高效地运行。

通过上述分析,可以将多源信息融合系统划分为多种角色,分别是监视 Agent(DA-Detectable

Agent)、融合 Agent (FA-Fusion Agent)、管理 Agent (MA-Management Agent) 和交互 Agent (IA-Interactive Agent) 四种角色。多源信息融合系统通过多个监视 Agent 获取环境中传感器所检测到的信息源数据, 然后对这些获取的信息进行分析、加工和预处理, 并在融合 Agent 中产生待合成的标准化的证据源, 再利用证据理论合成规则对这些证据进行合成, 得到合成结果并输出, 用户则利用交互 Agent 与系统进行交互式操作。系统中的各个 Agent 均利用通信语言与交互协议相互协作, 并在管理 Agent 的调度与协调下运行。根据系统的目标, 整个多源信息融合系统的角色模型如图 1 所示。

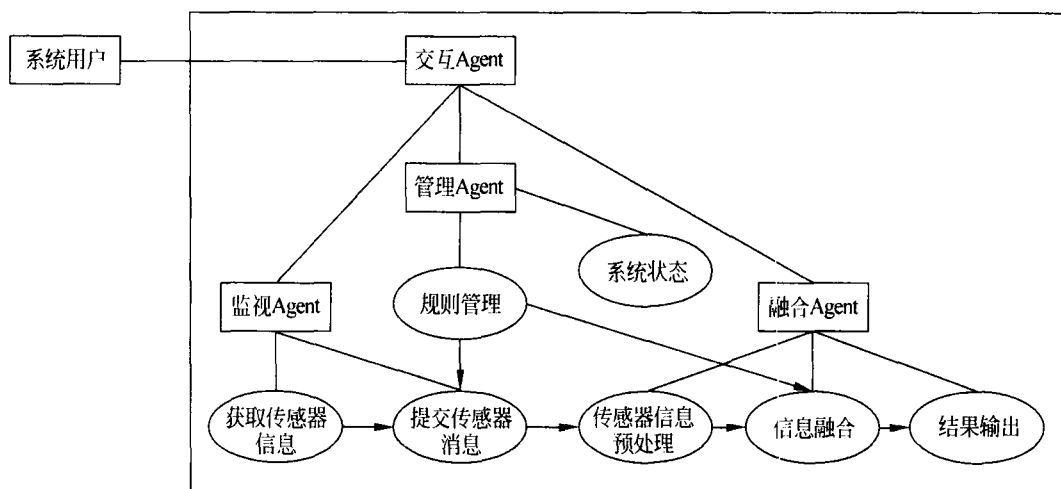


图 1 面向主体的多源信息融合系统的角色模型

## 2.2 Agent 角色建模

由于多种角色的 Agent 在系统中的功能存在差异, 因此必须对不同角色的 Agent 分别进行建模。下面分别针对监视 Agent、融合 Agent 以及管理 Agent, 给出了相应的功能描述以及形式化模型表述。

### (1) 监视 Agent

作为 DA 角色的 Agent, 其主要功能是负责收集多源信息系统外部环境中的传感器所探测到的信息。由于多种传感器之间存在差异, 传感器所获取到的信息也存在不同, 这些信息通常表现出复杂性、模糊性等特点。因此, 监视 Agent 必须能够快速、准确地反映出信息源在不同阶段的变化。根据这种要求, 本文建立了基于规则的反应式监视 Agent 模型。

从形式上, 基于规则的反应式监视 Agent 模型可以被描述为一个三元组:

$$\text{Agd} = \langle \text{State}, \text{Action}, \text{Choose} \rangle \quad (1)$$

其中,  $\text{State} = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$  表示 Agent 感知到的外部环境状态的集合;  $\text{Action} = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  表示 Agent 可以执行的动作的集合。动作选择函数  $\text{Choose}: \text{State} \rightarrow \text{Action}$  将环境状态序列映射到动作集合。

### (2) 融合 Agent

融合 Agent 对从多个监视 Agent 获取的信息进行分析、加工和预处理后, 产生待合成的标准化的信息。然后利用基于焦元的证据理论合成规则对这些信息进行融合, 得到融合结果并输出到外部环境中。信息预处理以及整个信息融合的过程同样受到管理 Agent 的管理与控制。

融合 Agent 的形式化模型可以用一个六元组来描述:

$$\text{Agf} = \langle F, \text{State}, \Delta, \text{Action}, \text{Kgf}, \text{Asf} \rangle \quad (2)$$

其中,  $F$  表示 Agent 感知到的自身内部状态的集合;  $\text{State} = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$  表示 Agent 感知到的外部

环境状态的集合;  $\Delta = \{\Delta 1, \Delta 2, \Delta 3, \dots\}$  表示 Agent 对当前状态的认知;  $Action = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  表示 Agent 可以执行的动作用的集合。认知生成函数:  $Kgf: F \times State \rightarrow \Delta$  将 Agent 自身的内部状态与外部环境的状态映射到认知; 动作选择函数:  $Asf: F \times State \rightarrow Action$  将 Agent 的对当前状态的认知映射到动作序列。

(3) 管理 Agent

管理 Agent 角色在多源信息融合系统中负责管理和协调多源信息融合系统中的各个 Agent。一方面,管理 Agent 通过修正监视 Agent 和融合 Agent 中的规则库或融合 Agent 自身的意图实现对其的管理。另一方面,管理 Agent 还可以通过其协作层实现多个 Agent 之间的协调工作,保证多源信息融合系统稳定、高效的运行。

管理 Agent 的形式化模型可以用一个多元组来表示:

$$Agm = \langle F, State, \Delta, I, O, \pi, Action, Kgf, Igf, Asf \rangle \quad (3)$$

其中,  $F$  表示 Agent 感知到的自身内部状态的集合;  $State = \{s_1, s_2, s_3, \dots\}$  表示 Agent 感知到的外部环境状态的集合;  $\Delta = \{\Delta 1, \Delta 2, \Delta 3, \dots\}$  表示 Agent 对当前状态的认知;  $I = \{I_1, I_2, I_3, \dots\}$  表示 Agent 自身的意图;  $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots\}$  表示 Agent 自身的目的,  $\pi = \{\pi 1, \pi 2, \pi 3, \dots\}$  表示 Agent 的策略集,  $Action = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  表示 Agent 可以执行的动作用的集合。认知生成函数  $Kgf: F \times State \rightarrow \Delta$  将 Agent 自身的内部状态与外部环境状态映射到认知; 意向生成函数:  $Igf: \Phi(\Delta) \times \Phi(O) \rightarrow \Phi(I)$  将 Agent 的认知和目的映射到 Agent 的意图; 动作选择函数  $Asf: \Phi(\Delta) \times \Phi(I) \times \Phi(\pi) \rightarrow Action$  则将 Agent 的认知、意图和策略集映射到动作序列。

在上述 Agent 角色模型的基础上,形成了面向主体的多源信息融合系统模型框架,如图 2 所示。

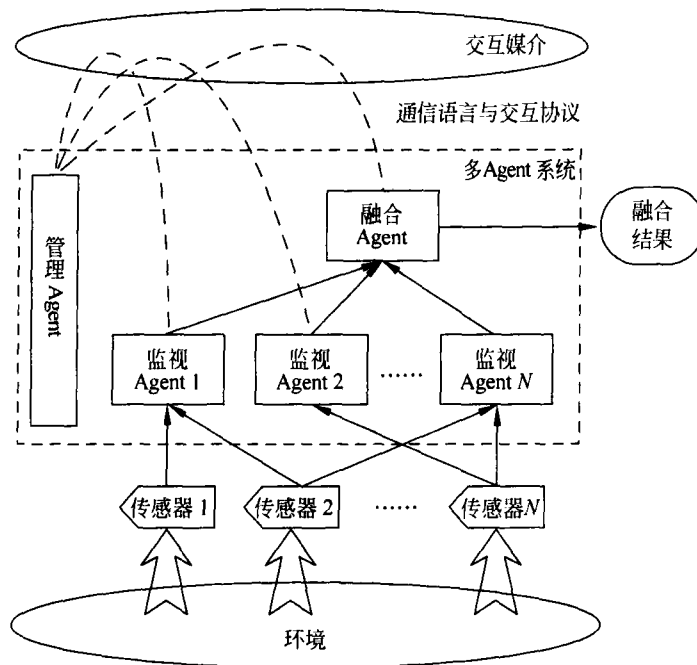


图 2 面向主体的多源信息融合系统模型

在面向主体的多源信息系统中,用户可以通过交互媒介中的交互 Agent 设定多源信息融合的条件以及相关参数。多源信息融合系统在获取用户的需求后,将监视 Agent 获取的不同种类传感器中的信息,通过数据标准化处理以后生成相应的证据源数据,然后在融合 Agent 中对不同证据源的数据利用证据理论合成规则进行合成,产生最终的融合结果,并提交给用户。

### 3 无人机机载传感器信息融合仿真系统

无人驾驶飞机<sup>[12]</sup> (UAV-Unmanned Air Vehicle)是一种有动力、可控制,能携带多种任务设备,执行多种任务,并能重复使用的无人驾驶航空器。近年来,无人机的智能化程度和自主控制能力都有了显著的提高,在整个作战过程中起到了重要的作用。

无人机上的机载传感器数量大、种类多,由传感器所获取的信息通常呈现出多样性、不确定性以及复杂性等特点。本文根据面向主体的多源信息融合系统模型,在 Visual C++ 6.0 环境下开发了无人机机载传感器信息融合仿真系统(SIFS-System of Information Fusion from Sensors),如图3所示。SIFS能够通过无人机当前所处的位置信息,计算出 UAV 当前状态并将多源传感器信息进行融合。此外,SIFS还在信息融合的基础上引入了辅助决策功能,使系统能够根据融合结果做出相应的决策。

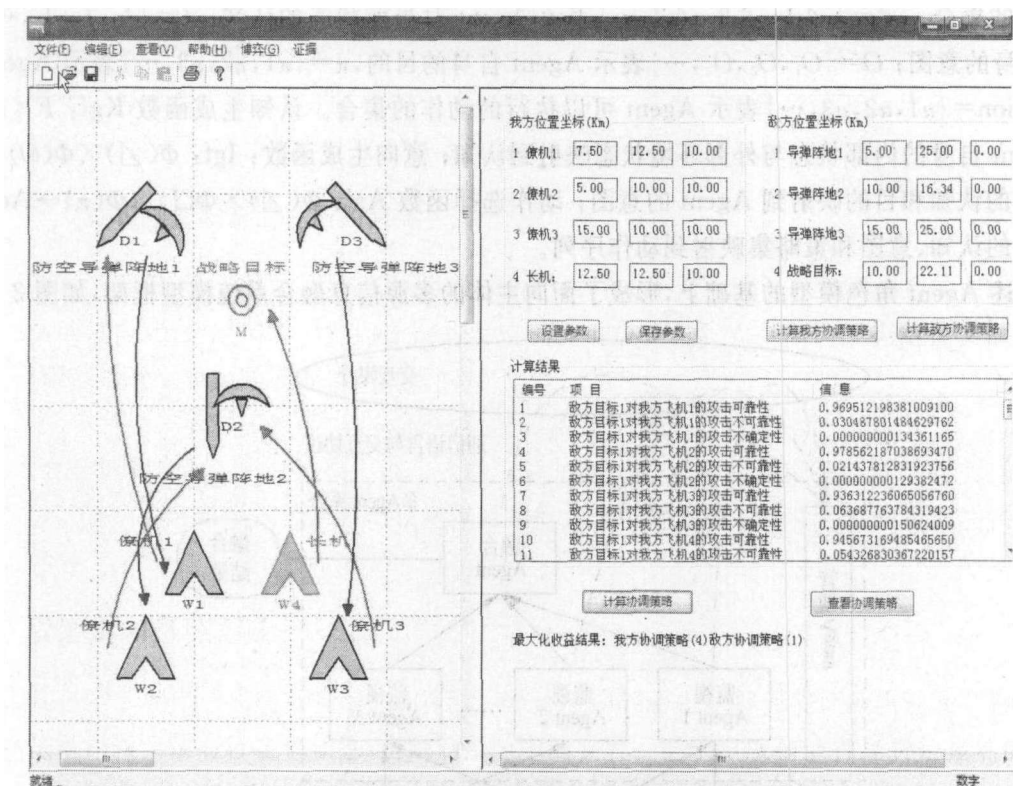


图3 基于 Agent 的机载传感器信息融合仿真系统

在仿真系统中,包含了面向主体的多源信息融合系统模型中的监视 Agent、融合 Agent、管理 Agent 以及交互 Agent,并分别根据上述 Agent 角色的功能和形式化模型设计了相应的体系结构。其中,对融合 Agent 中的多源信息融合算法进行了深入的讨论,利用基于焦元的证据合成规则对多源信息的融合效果进行了仿真研究。

#### 3.1 监视 Agent

根据监视 Agent 形式化模型的需求,建立了基于规则的反应式监视 Agent 的结构模型(如图4所示)。

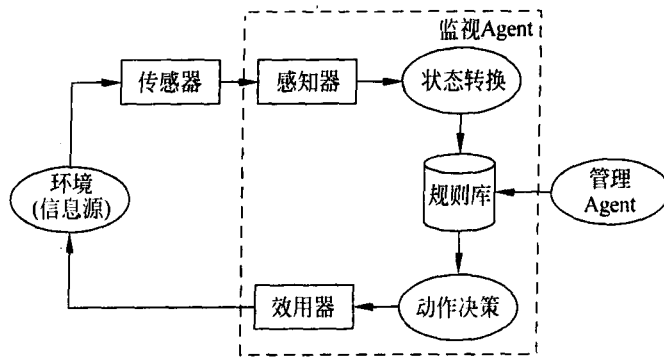


图 4 基于规则的反应式监视 Agent 模型

从结构上看,监视 Agent 的结构模型由感知器、状态转换模块、规则库、动作决策模块以及效用器五大功能模块构成。监视 Agent 的感知器从外部传感器获取到信息后,由状态转换模块将这些信息转换为信息源在当前时刻  $t$  下的状态  $s_t$ ,并根据规则库中的动作选择函数产生当前状态  $s_t$  下监视 Agent 所采取的动作  $a_t$ (例如,  $a_1$ : 储存信息源的当前状态在下一个时刻提交给融合 Agent,或者  $a_2$ : 直接将获取的信息提交给融合 Agent),然后通过效用器作用到环境中。其中,监视 Agent 中的规则库受到管理 Agent 的管理与控制。从监视 Agent 的结构设计可以看出,为了能够更好地反映信息源的变化,动作的选择直接依据环境(信息源)的当前状态,从而保证了所获取信息的及时性与准确性。

### 3.2 管理 Agent

在面向主体的多源信息融合系统中,分布着各种角色的 Agent,而在这些角色中往往又包含了多个 Agent 实体,对于这些 Agent 实体的管理是一个十分复杂的过程。为了使管理 Agent 更好地对多源信息融合系统中各个 Agent 角色进行协调与管理,管理 Agent 采用了层次化的混合型体系结构。其中,低层采用了反应式的体系结构,使 Agent 能够较快地获取外部信息;高层则采用了慎思型的体系结构,使 Agent 具有较强的知识表示及推理能力。而层次化的结构使 Agent 内部的功能模块划分进一步明确,各层次间的信息通过通信语言进行交互。(如图 5 所示)

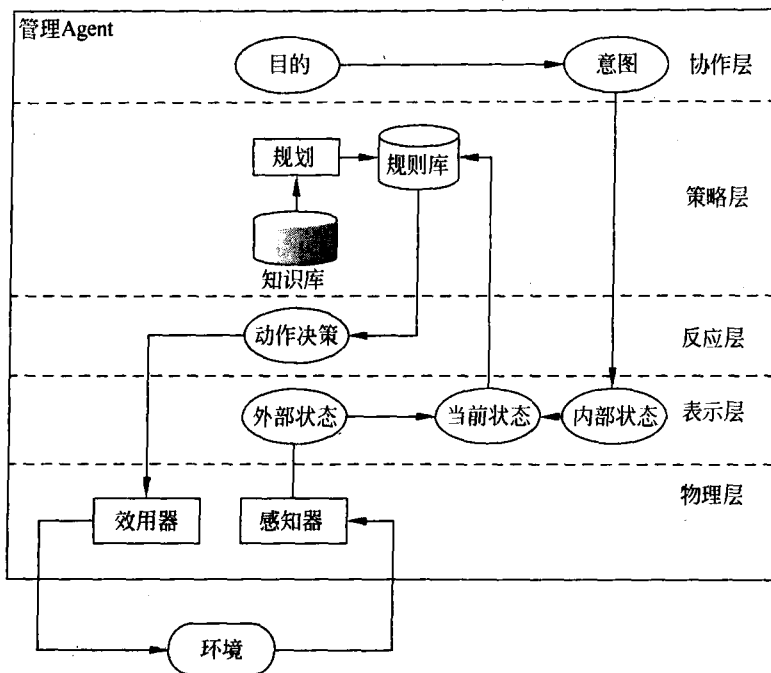


图 5 基于学习的管理 Agent 的结构模型

管理 Agent 的结构模型采用了层次化的体系结构,自下而上分别是物理层、表示层、反应层、策略层和协作层五个层次。物理层中的感知器用来获取 Agent 外部环境的状态;在表示层上,管理 Agent 将外部信息与 Agent 自身内部状态进行融合,得到 Agent 对系统当前态势的认知;管理 Agent 在反应层中根据自身意图、动作策略以及对当前态势的认知采取相应动作,并通过效应器作用到环境中;而在策略层上,管理 Agent 能够产生新的规划,并进一步生成新的动作策略集或者修正原有动作策略集;管理 Agent 的协作层则能够根据 Agent 的内部状态及目的产生意图并指导动作的选择。

### 3.3 融合 Agent

融合 Agent 模型在监视 Agent 模型的基础上引入了 Agent 自身的内部状态,通过将感知器获取的外部状态与自身的内部状态进行融合,得到当前系统的状态,然后再根据规则库产生此刻的动作,并作用到环境中(如图 6 所示)。

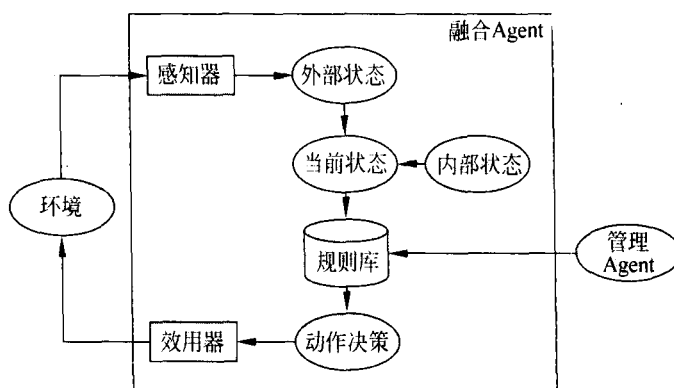


图 6 融合 Agent 模型

在融合 Agent 中,采用证据理论合成规则作为多源信息融合的方法。证据理论是一种不精确推理理论,它通过将信任函数引入到推理过程中,能够在先验概率未知的情况下,以简单的推理形式,把不确定和不知道区分开来,得出较好的融合结果,为不确定信息的表达和合成提供了有效的方法。但是由于经典证据合成规则在合成过程中存在合成悖论问题,因此必须结合面向主体的多源信息融合系统自身的特点采取必要的改进。

在系统中,根据监视 Agent  $i(da_i)$  和监视 Agent  $j(da_j)$  所获取的信息可以产生证据源  $m_i^{(da)}$  和  $m_j^{(da)}$ 。当  $m_i^{(da)}$  和  $m_j^{(da)}$  中的焦点  $A$  与  $B$  发生冲突( $A \cap B = \emptyset$ )时,冲突  $m_i^{(da)}(A) \oplus m_j^{(da)}(B)$  是由于证据源  $m_i^{(da)}$  和  $m_j^{(da)}$  分别对两个不同的焦点  $A$  和  $B$  赋予了信任度。因此,  $m_i^{(da)}(A) \oplus m_j^{(da)}(B)$  应该作为焦点  $A$  与  $B$  的冲突性证据按照一定的原则分配给焦点  $A$  和  $B$ ,而不是其他的焦点。

另一方面,设从  $n$  个证据源获取的证据在合成过程中存在以下一组冲突:  $m_1^{(da)}(A) \oplus m_2^{(da)}(B) \oplus \dots \oplus m_n^{(da)}(B)$  与  $m_1^{(da)}(A) \oplus \dots \oplus m_{n-1}^{(da)}(A) \oplus m_n^{(da)}(B)$ 。从上述表达式不难看出,  $m_1^{(da)}(A) \oplus m_2^{(da)}(B) \oplus \dots \oplus m_n^{(da)}(B)$  对于焦点  $A$  的信任程度显然比  $m_1^{(da)}(A) \oplus \dots \oplus m_{n-1}^{(da)}(A) \oplus m_n^{(da)}(B)$  对  $A$  的信任程度要小,因此,在冲突的分配过程中,应该将冲突更多的分配给对冲突所涉及焦点信任度大的证据。

根据上述思路,本文将支持冲突证据的 BPA 按照焦点信任度的大小分配给相应的焦点,并建立了基于焦点的证据合成规则,定义如下:

设多源信息融合中的识别框架为  $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ ,则该识别框架包含  $H = 2^h$  个元素;在同一识别框架  $\Theta$  上,  $m_1^{(da)}, m_2^{(da)}, \dots, m_n^{(da)}$  是从  $n$  个监视 Agent 所获取证据源的基本概率分配;  $\lambda_i$  为信任系数,表示 BPA 对焦点  $A_i$  的信任度,则多源信息合成的公式可以定义为:

$$m(A) = \sum_{\cap A_i = A, 1 \leq i \leq n} \prod m_i^{(da)}(A_i) + \sum_{\cap A_i = \emptyset, 1 \leq i \leq n} \prod \lambda_i m_i^{(da)}(A_i) \quad (4)$$

其中,

$$\lambda_i = \frac{|A_i \cap A|}{|A_i|}, \quad (\cap A_i = \emptyset) \quad (5)$$

在合成过程中,基于焦元的证据合成规则将证据的合成过程分解为相关性证据合成以及冲突性证据合成两个部分。当所有参与合成的元素  $A_i$  的交集为元素  $A$ (即  $\cap A_i = A$ )时,表示这些元素  $A_i$  的证据源  $m_i^{(da)}$  是相关性证据源,得到的结果表示相关性证据源合成;而当所有参与合成的元素  $A_i$  的交集为空集( $\cap A_i = \emptyset$ )时,则表示这些元素  $A_i$  的证据源  $m_i^{(da)}$  是冲突性证据源,需要利用信任系数对冲突进行分配,得到的结果表示冲突性证据源合成。基于焦元的证据合成规则反映了不同信息源在融合过程中的影响,通过信任系数对冲突证据进行重新分配,保证了多源信息合理有效地融合。

根据该合成规则,基于 Agent 的机载传感器信息融合仿真系统中“融合 Agent”角色的融合算法步骤可以描述为:

步骤 1: 数据预处理: 对从多个监视 Agent 获取的信息进行分类、完备性检验等预处理,产生在下一个时刻( $t+1$ )待合成的标准化证据源信息  $m_i^{(da)}$ ;

步骤 2: 对于证据理论识别框架下的每一个元素  $\theta_i$ ,判断参与合成的证据源中元素  $A_i$  的相关性( $\cap A_i = \theta_i$ )和冲突性( $\cap A_i = \emptyset$ ),执行步骤 3~步骤 5;

步骤 3: 若判断结果为相关性证据源的元素进行合成,则按照相关性证据源合成规则计算合成结果,转至步骤 6;

步骤 4: 若判断结果为冲突性证据源的元素进行合成,则计算冲突证据对这些元素的信任程度  $\lambda_i$ ;

步骤 5: 根据信任程度  $\lambda_i$ ,并按照冲突性证据源合成规则计算合成结果;

步骤 6: 若证据理论识别框架下的每一个元素均已进行了证据合成,则合成结束;否则,选择识别框架下的另一个元素  $\theta_i$  进行证据合成,返回步骤 2。

在仿真系统中用来检测某设备  $X$  工作状态的证据理论识别框架为  $\Theta = \{A, B, C\}$ ,  $m$  表示识别框架下的基本概率分配函数,该设备的工作状态有以下四种情况:

$m(A)$ 表示设备状态良好,处于正常工作状态;

$m(B)$ 表示设备状态良好,处于不工作状态;

$m(C)$ 表示设备出现故障,处于不工作状态;

$m(\emptyset)$ 表示设备状态未知。

设从 4 个监视 Agent ( $da_1, da_2, da_3, da_4$ ) 所获取的证据源的基本概率分配函数分别用  $m_1^{(da)}$ ,  $m_2^{(da)}$ ,  $m_3^{(da)}$ ,  $m_4^{(da)}$  来表示。在虚拟环境的仿真状态下,通过监视 Agent 提供的信息,融合 Agent 得到以下关于设备  $X$  工作状态的基本概率分配,如表 1 所示。

表 1 基本概率分配表

证据	$m_1^{(da)}$	$m_2^{(da)}$	$m_3^{(da)}$	$m_4^{(da)}$
A	0.5	0.0	0.6	0.8
B	0.2	0.9	0.1	0.1
C	0.3	0.1	0.3	0.1



分别利用经典 Dempster 合成规则<sup>[13]</sup>、Yager 公式[5]、文[9]提出的公式以及本文建立的合成规则对上述数据进行证据合成,得到的计算结果如表 2 所示。

表 2 仿真融合结果

合成规则	$m_{1,2}^{(da)}$	$m_{1,2,3}^{(da)}$	$m_{1,2,3,4}^{(da)}$
Dempster	$m(A)=0$	$m(A)=0$	$m(A)=0$
	$m(B)=0.8571$	$m(B)=0.6667$	$m(B)=0.6667$
	$m(C)=0.1429$	$m(C)=0.3333$	$m(C)=0.3333$
	$m(\Theta)=0$	$m(\Theta)=0$	$m(\Theta)=0$
Yager	$m(A)=0$	$m(A)=0$	$m(A)=0$
	$m(B)=0.18$	$m(B)=0.018$	$m(B)=0.0018$
	$m(C)=0.03$	$m(C)=0.009$	$m(C)=0.0009$
	$m(\Theta)=0.79$	$m(\Theta)=0.973$	$m(\Theta)=0.9973$
文[9]	$m(A)=0.2024$	$m(A)=0.4419$	$m(A)=0.6324$
	$m(B)=0.6851$	$m(B)=0.3896$	$m(B)=0.2427$
	$m(C)=0.025$	$m(C)=0.1685$	$m(C)=0.1249$
	$m(\Theta)=0$	$m(\Theta)=0$	$m(\Theta)=0$
本文	$m(A)=0.25$	$m(A)=0.465$	$m(A)=0.6725$
	$m(B)=0.55$	$m(B)=0.335$	$m(B)=0.2825$
	$m(C)=0.20$	$m(C)=0.20$	$m(C)=0.145$
	$m(\Theta)=0$	$m(\Theta)=0$	$m(\Theta)=0$

在仿真实验中,从监视 Agent 1 和监视 Agent 2 所获取的证据源  $m_1^{(da)}$  与  $m_2^{(da)}$  是相互冲突,但是随着支持焦元 A 的新证据源  $m_3^{(da)}$ 、 $m_4^{(da)}$  不断加入,利用 Dempster 合成规则合成  $m(A)$  的结果却始终为 0,并且  $m(B)$ 、 $m(C)$  的合成结果也没有明显变化,这说明 Dempster 合成规则在冲突证据的合成时,并没有体现出新证据源对证据合成的影响。Yager 合成规则去除了 Dempster 合成规则中的正规化过程,在冲突证据的合成中可以产生较为稳健的结果,但是由于其将  $k$  值所蕴涵的信息完全分配给未知域  $\Theta$ ,我们仍然无法做出决策。文[9]的合成规则在一定程度上解决了冲突的分配问题,但是从实际系统应用角度来看,并没有降低系统的计算量。本文提出的证据合成规则能够根据焦元对冲突证据的信任程度,将冲突分配到相应的焦元中,一定程度上降低了冲突证据对合成结果的影响,同时也反映了新证据源对合成结果的影响。作为基于 Agent 的多源信息融合系统中的融合算法,其合成结果能够较快地收敛,并降低决策风险。

## 4 总结

针对多源信息融合过程中存在的复杂性和不确定性,本文提出建立多源信息融合系统,并利用面向主体的方法对多源信息系统进行分析与建模。将系统中的多个 Agent 划分为监视 Agent、融合 Agent、管理 Agent 以及交互 Agent 等 Agent 角色,根据这些角色的功能构建了角色的形式化模型及系统的总体模型框架。在此基础上,建立了针对无人驾驶飞机机载传感器信息融合问题的仿真系统,并将基于焦元的证据合成规则作为系统中的多源信息融合算法。该算法将合成过程分解为相关性证据合成以及冲突性证据合成两个部分,能够根据焦元对冲突证据的信任程度。仿真实验表明,系统能够有效地、合理地对多源信息进行融合。

## 参考文献

- [1] 杨善林,罗贺,胡小建. 基于 Q 学习的自主 Agent 模型[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(9): 203-205.
- [2] Michael Wooldridge. 多 Agent 系统引论[M]. 石纯一, 张伟, 徐晋晖译, 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] Weiru Liu. Analyzing the degree of conflict among belief functions[J]. Artificial Intelligence, 2006, 170(2006): 909-924.
- [4] 林志贵, 徐立中, 周金陵. 基于修改模型的冲突证据组合方法[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(11): 1964-1970.
- [5] Yager R R. On the Dempster-Shafer Framework and New Combination Rules[J]. Information Sciences, 1987, 41: 93-137.
- [6] Smets P. The combination of evidence in the transferable belief model[J]. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(5): 447-458.
- [7] Lefevre E, Colot O, Vannoorenberghe P. Belief functions combination and conflict management[J]. Information Fusion, 2002, 3(2): 149-162.
- [8] 孙全, 叶秀清, 顾伟康. 一种新的基于证据理论的合成公式[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 117-119.
- [9] 何兵, 郝爱民, 赵沁平. 一种基于不确定信息的决策方法[J]. 计算机学报, 2004, 27(2): 281-285.
- [10] 郭华伟, 施文康, 刘清坤等. 一种新的证据组合规则[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(11): 1895-1900.
- [11] 邹湘军, 孙健, 何汉武等. 虚拟环境中多 Agent 决策的冲突证据合成研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 1010-1014.
- [12] 王重秋, 李锋, 张靖. 无人作战飞机系统综述[J]. 电光与控制, 2004, 11(4): 41-44.
- [13] Dempster A P. Upper and Lower Probabilities Induced by a Multi valued Mapping[J]. The Annals of Statistics, 1967, 28: 325-339.

### Research on Modeling of the Information Fusion System from Multi-Sources Based on Agents

YANG Shanlin & LUO He

(Institute of Computer Network Systems, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

**Abstract** The paper analysis the requirement of modeling information fusion system from multi-sources by using agent oriented modeling method, and divides the different agent roles in the system. Based on it, discusses the functions and formal models of the agent roles, and builds the model of the information system from multi-sources. According to the problem of information fusion from multi-sensors on airplanes, the paper develops a simulation system and analysis the structure models of the system. It suggests a new evidence combination rule, which could assign the conflicted evidences rationally in accordance with their belief degree. The simulation experiments show that the system is more flexible, and could avoid adverse effects from conflicts evidence.

**Key Words** agent, information fusion system from multi-source, system modeling, combination rule