

多 Agent 战术意图识别的知识组织与问题求解^{*})

曾 鹏 吴玲达 陈文伟

(国防科技大学信息系统与管理学院指挥自动化系 长沙 410073)

摘 要 通过对军用计划识别领域特性的分析,指出多 Agent 战术意图识别问题本质上是一个反绎推理问题。在对战术意图识别问题详细展开的基础上,重点论述了多 Agent 战术意图识别问题中计划库的知识组织与逻辑描述,建立了战术意图识别过程中诸要素之间的逻辑联系,并以此为基础框架提出了基于反绎逻辑的计划识别算法。

关键词 战术计划识别,意图识别,知识组织,军事行动过程

Plan Library Organization and Solution for Multi-Agent Intention Recognition

ZENG Peng WU Ling-Da CHEN Wen-Wei

(School of Information System & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract Based on the analysis of the domain characteristics in military plan recognition, it proposes that the multi-agent tactical intention recognition is essentially a problem about abduction, it also details the knowledge organization and logical description by extending the discussion of real military tactical problem which forms the foundation of the logical links between the elements in plan recognition process, finally a recognition algorithm is introduced with the basis of former abduction framework.

Keywords Plan recognition, Intention recognition, Knowledge organization, Course of action

1 引言

自从 Schmidt 等人^[1]首次将计划识别(Plan Recognition, PR)作为独立的问题提出以来,计划识别技术就逐渐被广泛应用于各个不同领域。从不同领域的应用特点来看,可以根据被观察 Agent 在计划识别中的作用将 PR 分为锁孔识别和意图识别两大类。其中前者主要应用在自然语言理解等领域,后者则主要用于协作或对抗性博弈领域,如军事作战领域。此外,根据 PR 在各领域采取方法的不同,又可分为含计划库(Plan Library, PL)和不含计划库识别两类。与之对应的是,本文研究的军用战术计划识别体现为一个含 PL 的意图识别过程。

对于包含 PL 的意图识别过程,要建立具有实用价值的应用系统,必须充分获取领域知识,这主要由知识工程师和领域专家共同完成。而对于计划识别技术本身而言,其首要任务则是领域知识的组织与逻辑描述问题,也就是如何将知识有效整合并加以应用的组织过程。在该过程中,知识组织的好坏,逻辑描述的完善与否,是后续匹配和推理的根本依托,也是识别结果是否实用可行的关键所在。目前,在意图识别领域,虽然有 Azarewicz、NATO DF 项目以及军事分布式仿真领域中 Tambe 等具有代表性的工作^[2],但它们都只涉及到意图识别问题的部分或侧面,使得意图识别问题面临着在军事及其它各领域缺乏统一认知框架的局面,这严重地阻碍了该技术在各领域的发展与应用。

针对以上问题,本文力图通过对军事对抗条件下战术计划识别问题的特性分析,建立多 Agent 意图识别的知识组织结构和逻辑描述框架,为战术计划识别问题的后续研究提供了一个可依据的形式化理论框架。

2 军用计划识别的领域特性分析

与其它计划识别问题领域相比,军用计划识别具有更多的复杂性,这主要是军事领域问题本身的复杂性所导致的,因此必须充分认识军用计划识别问题在军事领域的特点^[4]:

1) 军用计划识别问题涉及到分布的战场资源和 Agents,要识别的不仅仅是某个 Agent 的行为与意图,更重要的是识别多个个体 Agent、群 Agent 以及多个群体 Agent 在军事行动过程(COA, Course of Action)中共同体现的战术意图。因此,实现有效的意图识别,既要充分考虑战场中多 Agents 的自治性,又要考虑分布 Agent 间的协作与影响关系;

2) 战场态势的演变具有高度的动态性,必须充分考虑 Agents 行动之间的动态约束关系;

3) 必须充分考虑战场的不确定性来源与传递过程,其中包括“观察”带来的证据不确定性,以及证据在与背景知识 PL 匹配过程中带来的不确定性传递与集成。这要求在构建计划库时,必须充分考虑知识组织和逻辑描述对不确定性传递和集成过程的影响;

4) 识别的敌方意图可能体现在战略、战役或战术层次,虽然在信息条件下各个层次的界限越来越模糊,但相对而言,对于高层的战役战略意图识别,由于它主要体现为一个纯主观分析过程,难以实施建模,因此意图识别仍主要体现在战术层次。

总之,军用计划识别问题寻求的是敌方多 Agent 协作中体现的战术意图,分布性、动态性、不确定性是该问题的主要特性,由于该识别过程中敌方各级 Agent 会竭力掩盖其意图,因此它是一个典型的多 Agent 战术意图识别问题。

^{*}) 国防预研基金项目(51404040105KG0135)。

3 多 Agent 战术意图识别问题的一般描述

在识别敌军意图的过程中,指挥员在分析敌我态势后通常会得出如下结论,该结论可分解为:我方指挥员作为观察者,敌方 Agent 为被观察者,我方根据对敌方认知、理解以及战场情报形成有关敌方的知识库 PL,根据对敌军行动的观察 $O(Observation, O)$, 给出‘对方可能希望通过某种计划假设 H 以达到目的 G' 的解释。由此可以得出:

定义现象 O 为观察集, PL 为关于被观察 Agent 的知识集, H 为对敌方 Agent 建立的假设集,从而可以将战术意图识别看作由 H 与 PL 对 O 的推导解释,具体体现为一个反绎解释问题,它构成一个三元组 (PL, O, H) , 其中:

Definition1: $Abduce(PL, O) = H$ iff

- 1) $PL \models O$;
- 2) $H \cup PL \models O$;
- 3) $H \cup PL \not\models False$;
- 4) 不存在 H 的子集有性质 1, 2, 3;

以上描述反映了多 Agent 意图识别的实质,在其基础上,可以有效地展开对知识集 PL 中知识组织和逻辑描述的进一步分析,为实际中的战术意图识别奠定逻辑基础。

4 计划库的知识组织与逻辑描述

多 Agent 意图识别反映了一个从低层 Agent 意图识别到战术 Agent 的高层意图识别过程,其中涉及到对低层 Agent 个体的认知、多 Agent 协作的 COA 认知以及敌军战术 Agent 的战术意图认知等多个不同层次,因此,可以根据知识 Agent 的不同层次来实现 PL 的知识组织。

定义 Tac 为战术原则描述 (Doctrine) 集, C 为 COA 集, B 为单 Agent 的行动事件集, H_{SA} 为单 Agent 计划假设, H_{MA} 为多 Agent 计划假设, H_{TA} 为战术计划假设, 于是有:

Definition2: $PL = Tac \cup C \cup B$ iff

- $B \cup H_{SA} \models O$
- $B \cup C \cup H_{MA} \models O$
- $B \cup C \cup Tac \cup H_{TA} \models O$
- $B \cup C \cup Tac \cup H \not\models False$

下面分别从单 Agent、多 Agent 以及战术 Agent 等不同层次对 PL 中计划元素的建模与组织展开详细分析。

4.1 单 Agent 行动事件体系

从任务分解的角度而言,战场分布的每个 Agent 都担负着一定的任务,任务决定了 Agent 的行为,行为则反映了 Agent 的意图。要识别 Agent 的行为意图就必须建立起关于该 Agent 的计划库,才能有根据地建立起相应计划假设来解释 Agent 的意图。对于不同的 Agent,由于遂行任务的差别以及作战的方法模式各不相同,必须要针对性的建立相应 Agent 的计划库。而战场中分布 Agent 的规模可能是庞大的,实现每个 Agent 计划库的穷尽组织与建设将变得困难而不可行,因此需要对大量的 Agent 实施聚类和分类。

设战场实体空间由分布的 Agent 实体 o 组成: $A = \{o_1, o_2, \dots, o_k, \dots, o_l\}, 0 < k < l$ 。

对分布的 Agent 进行分类,得到实体类型 T_i :

$Classifier(A) = \{T_i | 0 < i < n\}$

$\bigcup_i^n T_i = A, \forall i \neq j, T_i \cap T_j = \phi, 0 < i, j < n$

值得注意的是,由于战场分析的需要或战场感知手段的

限制,可能会出现 Agent 类之上的“抽象类”,譬如,观测数据提取到一艘舰艇,但不能确定是民船或战斗舰艇,或者不能确定是扫雷舰还是驱逐舰类,这时得到的就是观察到“水面舰艇”这一抽象类的证据信息。因此类的划分呈现出一个层次体系,于是有:

$\forall o, T_j(o) \supset T(o)$

$\forall o, T(o) \supset T_1(o) \dots \vee T_i(o) \dots \vee T_n(o), i=1, 2, \dots, n$

其中类 T 抽象出 Agent 类 T_j , 类 T 包含多个类 T_1, \dots, T_n ,

并且对于某个 Agent 实体 a 或者类 T , 不能同属于上层抽象类 T_i, T_j :

$\forall o, \neg T_i(o) \vee \neg T_j(o), i \neq j$ 或

$\forall o, T(o) \supset \neg T_i(o) \vee \neg T_j(o), i \neq j$

对战场 Agent 进行类属划分以后,就可以针对 Agent 类 T_i 建立相应的计划库,该类所抽象出的所有战场实体 Agent 拥有相同的计划库,从而有效地控制 PR 系统中 PL 的规模。

建立 Agent 类的计划库,实际上就是对单 Agent 的行动事件序列进行逻辑组织,在此我们假设对于绝大部分常规 Agent 显式行动的认知是详尽和彻底的,从而认为单 Agent 的事件体系是满足封闭世界假设的,这使得单 Agent 计划库的组织可以借鉴 Kautz 的思想^[2]来组织 PR 中单 Agent 的计划库,即:

Definition3: 每个 Agent 类包含独立的计划库 $\langle T_i, P_i \rangle, B$

$= \bigcup_{i=1}^n P_i, P_i$ 体现为观察者关于 T_i 类实例化 Agent 的知识,它由一系列行动事件类型 E 组成,为了实现穷尽搜索, E 组成一个非循环事件体系 P , 由 $P_E, P_A, P_{EB}, P_D, P_G$ 组成 (P_E 为事件类型集合, P_{EB} 为基本事件类型集合, P_A 为抽象公理集, P_D 为分解公理集, P_G 为不直接相关的公理集), 具体为:

1) P_A : $\forall a, (E(a) \supset E'(a))$ 其中 E 直接抽象于 E', a 表示 Agent 发出的行动事件;

2) P_A : 根据知识完备假设和抽象类互斥假设, 得到:

$\forall a, E(a) \supset E_1(a) \vee \dots \vee E_n(a)$

其中事件类型 E 直接抽象 E_1, \dots, E_n

$\forall a, \neg E_i(a) \vee \neg E_j(a), i \neq j$

其中 E_i 与 E_j 共同抽象于类型 E

3) P_D : 对于任意的行动 a , 有:

$E \supset ((E_1(step_1(a)) \wedge \dots \wedge E_n(step_n(a)) \wedge r)$

E 分解为 E_1, \dots, E_n 类型, r 为时间约束;

4) 假设 P 中不存在无意义事件, 即事件 a 必定为顶层事件类型 E_{op} 或其它类型的组成:

$\forall a, E_{ij}(a) \supset E_{op}(a) \vee \exists y_1, E_1(y_1) \wedge (f_{i_1}(y_1) = a) \dots \vee \exists y_m, E_m(y_m) \wedge (f_{m_j}(y_m) = a)$

由 1), 2), 3), 4), 可以实现对单 Agent 计划库 P 的具体组织与扩充。我们可以根据被观察 Agent 的类 T_i 及其对应的计划库 P_i 和观察得到的证据 O_i , 来推出计划假设 H_{SA_i} , 即:

$P_i \cup H_{SA_i} \models O_i,$

并由 $B = \bigcup_{i=1}^n P_i$, 推出 $B \cup H_{SA} \models O$ 成立。

4.2 Multi-Agent 的 COA 组织与逻辑描述

单 Agent 的行为序列体现了它追求某目标的实现过程,从单 Agent 层次来说, Agent 的低层目标通过其行为可能得到了直接的反映,因此可以说其个体意图的直接解释可能是简单而合理的。但在实际作战中,仅仅识别单 Agent 的个体意图是远远不够的,更关键的是识别它隶属的多 Agent 群体共同追求的高层目标,这对于指挥员来说才是有意义的。因

此,单 Agent 的行为序列建模仍满足不了多 Agent 战术意图识别的需要,必须扩展到多 Agent 层次并充分考虑其中的依赖、约束以及它们对高层目标的贡献^[2,6]。

在单 Agent 计划的建模中,Kautz 的“事件体系”组织思想得到了充分的应用,但如果扩展到多 Agent 层次,将带来如下问题:

设事件体系中有 $G \supset A(\text{step}_1(G)) \wedge B(\text{step}_2(G)) \wedge C(\text{step}_3(G)) \wedge r$, 则行动节点 A、B、C 之间的序列默认为 $\text{Time}(A) < \text{Time}(B) < \text{Time}(C)$ 。而对于单 Agent 而言,如果 A 的发生不是一个时间点的行动事件标志,而是发生在一定时段的过程,则 Agent 执行 A 的过程中可能同时执行 B,而非一个简单的时序问题;对于多 Agent 而言,假设各行动由不同 Agent 执行,则 $\text{Time}(A) > \text{Time}(B)$ 和 $\text{Time}(A) < \text{Time}(B)$ 的情况都可能发生,这可能导致多 Agent 行动分析的混乱,必须在多 Agent 军事行动过程(COA)中对以上事件体系加以扩充。

Lemma 1: 定义时段变量 i , 对应时段为 $i = \langle i_s, i_e \rangle$, i_s 为起始时间, i_e 为结束时间。变量 i 和 j 的关系 r 为 13 种基本时态关系, $r = \{=, <, \text{during}, \text{overlap}, \text{meet}, \text{start}, \text{finish}\}$ 以及除“=”之外的其它六种关系的逆^[5]。

Definition 4: 定义 $a(i)$ 为行动 a 关于时段 i 的描述, 多 Agent 行为 $a(i)$ 构成有限集 $\Psi = \{a_k(i) | k=1, 2, \dots, n\}$, $a(i)$ 之间的时态关系集为 $R = \{r(a_p(i), a_q(j)) | p \neq q, p, q=1, 2, \dots, k\}$, 其中 R 满足公理系统 ξ :

有效性: $(i r j) \vee \neg(i r j)$

恒等性:

$i = i, (i = j) \supset (j = i), (i = j) \wedge (j = k) \supset (i = k),$

$(i = j) \supset (A \equiv A(j/i))$

自反性: $(i r j) \equiv (j r' i), r = \{<, \text{during}, \text{overlap}, \text{meet}, \text{start}, \text{finish}\}$

传递性: $(i r_1 j) \wedge (j r_2 k) \supset i(T(r_1, r_2)) k, T(r_1, r_2)$ 为时态传递函数

封闭性:

$i (=, >, d, d', o, o', m, m', s, s', f, f') j$

互斥性: $\neg(i r_1 j) \vee \neg(i r_2 j)$

Definition 5: 定义多 Agent 层次的计划库 $C = \langle T, \Psi, R \rangle$, 其中 T 为 COA 中所包含的 Agent 类集, Ψ 为 Agent 对应类 T 关于单 Agent 计划库 B 的部分行动集, R 为各 Agent 行动 $a(i)$ 间的时态关系集。

由以上定义可以推出, 当观察到的证据 O 为多个 Agent 发出的具有一定时间依赖的行动集 $\{a(i)\}$ 时, 由多 Agent 计划库 C 可以得出如下解释:

$BUCUH_{MA} \models_{\xi} a(i)$ 且

$BUCUH_{MA} \models_{\xi} r(a_p(i), a_q(j))$ 即

$BUCUH_{MA} \models_{\xi} O$

4.3 战术 Agent 的计划组织与逻辑描述

多 Agent 的 COA 认知体现了识别对手“某些 Agent 如何做”的过程, 而战术 Agent 的战术计划认知则体现了识别对手“会有哪些 Agent 做什么”的过程。因此, 战术 Agent 的计划组织主要体现在任务分解以及相应的 Agent 资源分配上^[6]。

Definition 6: 定义战术计划 Tac 为可能的目标集 G , $Tac \supset G_1 \vee \dots \vee G_i \vee \dots \vee G_n$, 设敌军的战术目标具有唯一性, 即不存在 $\neg G_i \vee \neg G_j, i \neq j, 1 \leq i, j \leq n$ 为真, 则 Tac 的组织如下:

$$1) G_i \supset TA_{i1} \wedge \dots \wedge TA_{ik} \dots \wedge TA_{im} \wedge f_i(k)$$

其中 G_i 为可能的目标之一, 则 G_i 可以分解为多个任务 TA 组成, 这个分解过程带有主观性, 因此给出 $f_i(k)$ 为权重分配函数, 表示各子任务在目标实现中的作用。

$$2) TA_{ik} \supset \bigwedge_{j=1}^{\omega} (T_j, f_{\omega}(T_j)), 1 \leq j \leq q$$

对于任务 TA_{ik} , 根据实现任务所需具备的能力来实现资源的配置, 其中 $(T_j, f_{\omega}(T_j))$ 表示任务根据能力需要所必需的 Agent 类 T_j 。

这样, 在实现战术 Agent 意图识别的时候, 通过从战术目标 G_i 到具体任务 TA_{ik} 的下行分解, 最终可以得出: 由非具体的实体类 T_j 来执行可能的子任务 TA_{ik} , 体现了“哪些 Agent 可能做什么”的先验知识, 然后通过对 T_j 的实例化, 与多 Agent 层次的 COA 中的 A 匹配, 就能进一步向下扩展, 最终实现整个知识库 PL 的组织。从而有:

$$BUCUTac \cup H_{TA} \models O \quad \text{即}$$

$$PL \cup H \models O$$

5 识别算法

在以上的多 Agent 战术意图识别问题分析中, 我们根据实际作战领域中问题的特点, 给出了从低层单 Agent 行动到多 Agent 协作以及高层战术 Agent 计划的多级知识结构组织, 依据该结构, 可以进一步给出基于反绎逻辑的多 Agent 意图识别问题求解算法:

Step1 $PL = Tac \cup C \cup B$ 其中有

$$Tac \supset G_1 \vee \dots \vee G_i \vee \dots \vee G_n$$

$$G_i \supset TA_{i1} \wedge \dots \wedge TA_{ik} \dots \wedge TA_{im} \wedge f_i(k)$$

$$TA_{ik} \supset \bigwedge_{j=1}^{\omega} (T_j, f_{\omega}(T_j)), 1 \leq j \leq q$$

$$C = \langle T, \Psi, R \rangle$$

$$\langle T_i, P_i \rangle, B = \bigvee_{i=1}^n P_i g$$

Step2 观察到多个 Agent 的行为集 O , 其中包含的 Agent 集为

$$A = \{o_1, \dots, o_i, \dots, o_n\}, 0 < i < n$$

$$\text{Classifier}(A) = T = \{T_i | 0 < i < n\}$$

将 T_i 对应的行动事件体系实例化, 得出 Agent 的实例化行为集 P_i ;

Step3 if $T_C \supset T$

(T_C 为某 COA 中包含的 Agent 类)

then

实例化 COA 中的 Agent 类与行动集

Step4 利用 R 对 COA 中行动间的时态关系进行检验;

if

$$R \not\models r(a_p(i), a_q(j)), p \neq q, p, q = 1, 2, \dots, k$$

then

选择 $a_p(i) a_q(j)$ 剪枝

Step5 if $T_j \supset T_C$

then

实例化 TA_{ik} ;

进一步实例化 G_i 得到 H_{TA}

Step6 根据新的观察, 得到新的证据 O'

if $PL \cup H_{TA} \not\models O'$

$\sqrt{d_{\max}^2/(j+1)}$,其中 d_{\max} 表示训练样本中输入向量间的最大距离。

③设 $c_j = x_k$,也就是将第 k 个训练样本的输入向量当作第 j 个径向基函数隐层神经元的中心。

④将 M 函数方程式中的 E 值的问题转换成线性最小平方问题,然后计算此时所造成的误差下降比。

⑤令 $k = k + 1$,返回步骤 3,直至所有尚未成为中心点的训练样本都经过步骤 3 的测试。

⑥选择能获得最大误差下降比的 x_k 当作径向基函数新隐藏层神经元的中心点,并计算网络输出加权值及训练误差。

⑦令 $j = j + 1$,并回到步骤 2,直到获得满意的训练误差或到达额定的隐藏层神经元数目为止。

该算法的优点是:(1)以每个资料点为中心点的候选人,故能系统地选取训练样本中具有代表性的资料点来当作隐藏层神经元的中心点;(2)能依据所设定的容忍误差,来决定径向基函数隐藏层神经元的个数。缺点是算法太过复杂,当样本点较多时,速度可能会比较慢。

4 实验对比

为验证 BSRBF 算法的有效性,本文采用 UCI 机器学习数据库中的 Breast Cancer(乳腺癌)数据集作为实验对比平台。这个数据集是一个典型的分类问题数据集,包括 699 个样本数据,其中有 16 个样本各含有一个缺失的属性值。数据集包含 11 个属性列,其中一个为样本序号列,一个为诊断结果列(决策属性),九个病例属性列(条件属性),Breast Cancer 分类问题就是根据其余 8 个条件属性判断一个病例是良性的还是恶性的。为了产生可信的对比效果,验证 BSRBF 算法的有效性,本文以一种典型的前向选择算法为对比基准,即文[2] Karayiannis 所提出的实验结果作为对照。

实验之前,本文对实验数据集进行了数据预处理。对于 Breast Cancer 数据集中存在 16 处属性值缺失的样本数据点,本文采用以该属性的所有现存属性值的均值填充的办法补足。此外,为了使网络结构更紧凑和计算简便,本文将该数据集中的决策属性用一个二进制数据表示输出,0 表示良性;1 表示恶性。

实验过程中,将数据集分为训练集和测试集两部分,分别采用两种算法在训练集上对神经网络进行训练,然后在测试

集中进行测试。神经网络的泛化能力我们可以用分类误差率来表示,因为分类误差率就是不同算法在同一个测试集中的运行效果,可以间接反映出该神经网络算法的泛化能力。表 1 列出了 BSRBF 算法与 Karayiannis 算法解决 Breast Cancer 分类问题的结果。可以看出,BSRBF 算法取得了与 Karayiannis 算法几乎相同的均方误差,但是其分类误差率要小得多,说明双向选择神经网络算法具有较高的泛化能力。

表 1 BSRBF 算法与 Karayiannis 算法求解乳腺癌决 Breast Cancer 问题的实验结果对比

实验数据集	神经网络算法	均方误差	分类误差率
训练集	Karayiannis	1.32	1.38
	双向选择	1.57	1.68
测试集	Karayiannis	3.47	4.77
	双向选择	3.12	4.22

以上实验表明,双向选择神经网络算法与前向选择神经网络相比,在解决数据挖掘问题中的分类问题具有较大的优越性。解决同样的问题双向选择算法具有较高的网络泛化能力,对新数据集有更强的适应能力。当然,此次实验中也存在不足之处。由于训练集较小,双向选择径向基函数神经网络算法在大训练集中的应用效果还不能完全确定;本实验中未出现相似隐结点合并的情况,使双向选择神经网络算法的一个重要的优越性未能体现出来。此外,BSRBF 算法与后向选择神经网络算法的对比效果也有待进一步确定。

参考文献

- Lu Y W, Sunderarajan N, Saratchandran P. A Sequential Learning Scheme for Function Approximation Using Minimal Radial Basis Function Networks. *Neural Computation*, 1997,9: 461~478
- Karayiannis N B. Reformulated Radial Basis Neural Networks Trained by Gradient Descent. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1999, 10(3): 657~671
- 杨根兴,高大启.改进的 RBF 神经网络模式分类方法研究. *华东理工大学学报*, 2001, 27(6): 24~28
- 邓继雄,李志舜,梁红.确定 RBF 神经网络参数的新方法. *微处理机*, 2006(4): 18~22
- 阎平凡,张长水. *神经网络与模拟进化计算*.北京:清华大学出版社, 2000
- 苏小红,侯秋香,马培军,等. RBF 神经网络的混合学习算法. *哈尔滨工业大学学报*, 2006(9): 34~37

(上接第 183 页)

```
do Step2 到 Step5
else end-if
```

结论与展望 通过对战术计划识别的领域特性分析,本文给出了多 Agent 战术意图识别问题的一般描述,并通过对战术意图识别问题的详细展开,实现了计划库的知识组织与逻辑描述,从而确定了战术计划识别的逻辑推理框架。但值得注意的是,该框架反映的仅仅是识别推理过程中各要素之间的逻辑联系,并不意味着战术计划识别就是一个纯逻辑的保真推理过程。因为,从战场感知获得的信息源中包含的客观不确定性,到战术目标与各任务之间主观分解所包含的主观不确定性,都决定了不确定性是多 Agent 意图识别的根本特性,随着这种特性与逻辑推理框架的连接,以及和时间要素的结合,未来的多 Agent 战术意图识别问题必将是一个基于 PL 的动态不确定性传播与集成过程,而这也将成为下一步的

研究方向与工作重点。

参考文献

- Sridharan S C F. The plan recognition problem: An intersection of psychology and artificial intelligence [J]. *AI-1978*, 11: 45~83
- Kautz H. A formal theory of plan recognition and its implementation[A]. In: *Reasoning about Plans [C]*, Morgan Kaufman, San Mateo, CA, US, 1991. 69~125
- Azarewicz J. Plan recognition for airborne tactical decision making [A]. In: *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence [C]*. Menlo Park, Calif.: AAAI press, 1986. 805~811
- Saria S. Probabilistic Plan Recognition in Multi-agent Systems [A]. *ICAPS [C]*, 2004. 89~87
- Wobcke W. Two logical theories of plan recognition [J]. *Journal of Logic Computation*, 2002. 371~412
- Bui H, Venkatesh S, West G. Policy Recognition in the Abstract Hidden Markov Model [J]. *Journal of Artificial Intelligence* 2002, 17: 451~499