维普资讯 http://www.cqvip.com

计算机科学 2002Vol. 29№. 9

多 Agent 规划识别跟踪模型在态势估计中的应用*)

Application of Multi-agent Tracking Plan Recognition in Situation Assessment

程 岳 王宝树 李伟生

(西安电子科技大学计算机学院 西安 710071) (国防科技大学 ATR 国家重点实验室 长沙 410073)

Abstract How to infer the intent and goal of the foe effectively is a problem for situation assessment to solve, which is upper part of data fusion. When there are lots of military objects involved with complex maneuverability, situation assessment remains unresolved. In this paper, the essential characteristics of situation assessment are analyzed in detail and the procedure of situation assessment to be that of plan recognition is also discussed. Based on plan recognition model of situation assessment, this paper presents multi-agent plan recognition model of Kalman Filtering and targets tracking theory.

Keywords Situation assessment, Plan recognition, Kalman filtering, Targets tracking

1 引言

美国联合领导实验室数据融合委员会 JDL/DTS 定义态势评估为:综合固定和运动物体的配置、环境数据、理论数据和所谓性能数据(如敌方车辆运输能力、传感器观测性能等)以估计和推测敌方作战计划的一种方法,即确定敌人要做什么(行动)、企图达到什么目的(目标)等,从而确定己方的兵力部署[8]。

规划识别是根据 Agent 的行为序列来推断 Agent 所追求目标的过程[1,6],着重于对当前已发生行为的分析和抽象,因而对动态问题有很好的适应性,与态势估计中通过观察、分析战场中军事单元的动态行为来识别其计划的要求相一致,因此,本文在分析态势估计问题本质特征的基础上,采用多 Agent 规划识别理论来解决态势估计问题。

2 规划识别与态势估计

2.1 规划识别

定义 1 规划识别环境抽象为[6]:

$\{F^k(i,j),\{F^k(k,l),\cdots,F^q(s,f)\}\{G^t(a,t),\cdots,G^d(d,p)\},T\}$

其中,$F^k(i,j)$是规划识别的对象,其类型为 k,(i,j),表示其空间位置。$\{F^k(k,l),\cdots,F^q(s,f)\}$ 表示环境中的其它对象及其类型、位置属性;$\{G^t(a,t),\cdots,G^d(d,p)\}$表示各个对象的目标;$T$ 表示在规划识别过程中满足的时间约束。

这里的对象指的是战场上的动态军事实体,如战舰、轰炸机平台、部队、武器和发射体如导弹等有关信息,其模型描述为:

定义 2 Entity=⟨Name,Attibute,Behavior⟩

属性集合 Attr(Entity)=⟨A=$\{a_i|i=1,2,\cdots,n\}$⟩,每一个属性有其定义域;$Domain(a_i)$

实体状态 Stat(Entity)=⟨S=$\{a_i=av_i|i=1,2,\cdots,n,av_i\in Domain(a_i)\}$⟩;

实体行为 B(Entity)=⟨B=$\{b_i|i=1,2,\cdots,m\}$⟩。

从以上定义可知一个军事实体是个智能 Agent,其决策(例如采取什么行动)都是基于逻辑推理给出的,这种方法(体系)的核心是规划,规划是寻求能够到达所希望目标的行为序列的过程。在态势估计问题中,决策者与对立方的军事实体处于敌对状态,以观察军事实体的行为来识别该实体可能的计划,因而称之为规划识别,也就是说规划和规划识别是对两个相逆问题的求解。由于战场中所关心的对象有多个,且多个对象之间可能相互通信、合作、协同,因而态势估计又是一个多 Agent 规划识别问题[5]。

2.2 多 Agent 规划识别

首先建立求解领域的计划库,描述求解目标及达到该目标的计划连同实现该计划的完整行动序列来形成关于 Agent 的 Recipe,该 Recipe 就是 Agent 在采取某种方法做某件事的时候所拥有的知识,其组成计划库 P(Plan library)。具体描述为:$P=P_p\cap P_t$,$P_p=\{p_i\}$,$P_t=\{a_{i1},a_{i2},\cdots,a_{in}\}$,$n\geq 1$,$P_t=\{g_i\}$。其中,$P_p$ 是个体行为规划,P_t 是群体战术规划,P_t 是单 Agent 完成特定计划的基本动作序列,而 g_i 是多 Agent 相互协作的战术行为,定义如下:

定义 3 战术行为 $Tac_i=\{R,M,f_\omega\}$。其中,$R=\{r_i\}$,表示参与战术的人员的角色构成;$M=\{\{r_i,p_i\}\}$,$r_i\in R$,$p_i\in P$,M 是战术规划,表示为战术中各角色的对应的基本动作序列,f_ω 是角色权重选择函数 $f_\omega:(v_1,v_2,\cdots,v_k)\rightarrow[0,1]$,$v_i$ 表示各角色的战术指标,通过 f_ω 可得到一个估计参数以调整各战术指标的权重。

其次,观察者解释 Agent 的行为,按照行为在获得目标中的作用来推理猜测 Agent 的目的并且基于该目的来预言 Agent 随后的行为。包括观察和预言两个过程:observe(Action,Situation),表示 Agent 特定的行为在特定的态势情景下被观察到;predict(Action,Situation),在计划 P 假设下,预言 Agent 在特定态势下的期望行动。

从上述过程我们认为:多 Agent 规划识别是"等和看"(Wait and See)策略和过程化(Processing)策略的结合,其含义是:根据观察到 Agent 的行为提出有关 Agent 的当前假设

*)本项目得到国防科技预研基金(OOJ6.6.1.DZ0103)资助,国防科技大学精确制导自动目标识别(ATR)重点实验室基金(OOJS93.5.2.DZ0123)资助。程 岳 硕士生,主要研究方向为数据融合、智能信息处理。王宝树 博士生导师,主要研究方向为数据融合、智能信息处理、人工智能。李伟生 博士生,主要研究方向为态势估计理论,规划识别。

维普资讯 http://www.cqvip.com

规划，依此假设规划帮助产生对下一个要观测行为的预测，这些预测可能被满足，也可能不被满足，若这些预测不满足，就需要进行修正，利用新观测到违反预测的行为来修改假设。通过修改，使当前的规划与观测行为相符。这一策略既不是纯数据驱动，也不是纯假设驱动，而是两者的结合。基于上述策略，规划识别过程首先产生少量可能的规划假设，这些假设在输入的观测提供进一步的信息时被确定真假。其次，依据当前的假设，推测下一步要观测的行为，若在后续的观测中违反了预测的行为，则触发修改过程以维护规划假设的正确性。

态势评估是根据环境内对象的时序行为来识别对象正在执行的计划，做出对当前战场情景合理的解释，指出敌军的行为模式，推断出敌军的意图，并对临近时刻的态势变化做出预测。显然，这与规划识别的过程是相符的。因此，态势评估实质上是一个规划识别过程。这样态势估计就分为识别和预测两个过程，如图 1 所示。

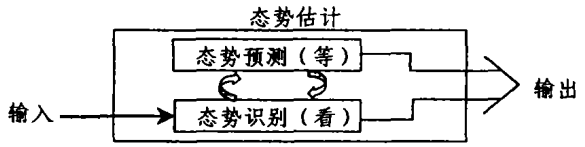

图 1　态势估计系统结构

3　规划识别过程的理论模型

3.1　“认识、预测、验证”递推模型

具体的规划识别过程是由认识、预测这两个过程组成的，由于一条计划的执行是随时间而演化的行为序列的执行过程，因而认识、预测是递归、循环进行的。由于智能 Agent 有多条计划可以执行，在某条计划执行过程中有可能改变，因而，需要用观测的 Agent 行为去验证、修正该计划。也就是说，在等的过程中，隐含有修正计划的过程。因此，我们认为，在真实军事环境下，规划识别过程是一个“认识、预测、验证”的过程，如图 2 所示。

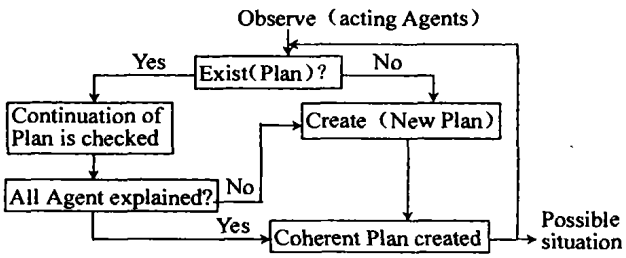

图 2　态势规划识别过程模型

在时刻 t_n，一级数据融合处理输出文件为 F_n，包括该时刻在观察区域内出现的多 Agent 及其行为集合 $\{a_{ij}\}$，如果不匹配正在持续的计划集合 $\{p_{ij}\}$，则建立新的计划；如果匹配存在的计划集合，则检查该计划是否完全满足观测数据，若满足，则该计划继续递推，产生 t_{n+1} 时刻的计划行动步骤的假设，等待下一时刻观察的验证，若不满足，则进行修正，产生能解释 Agent 行为的新计划。

该过程类似于多目标跟踪的过程，我们采用基于卡尔曼滤波方程的跟踪理论来建立态势规划识别模型。

3.2　卡尔曼滤波算法

卡尔曼滤波方程是应用于目标状态估计中最常用的一种方法，在多传感器、多目标跟踪系统中有独特的优点。我们仅对其作一般介绍，具体算法见文[7]。状态估计指的是用数学方法确定静态或动态目标状态的一个估计，是基于测量值与该状态的关系进行的。一个动态目标按时间历程的分段数学模型成为航迹，这个行为模型使用与目标状态有关的以前的观测估计该目标瞬时状态方程，容许使用按时间向前外推法以预测下一个观测值可能被观测到的时间上的状态。

设系统的状态为 X(k)，传感器观测量为 Z(k)。不失一般性，状态方程和观测方程写为：

$$X(k+1)=F(k)X(k)+G(k)\tilde{\omega}(k)$$

$$Z(k)=H(k)X(k)+V(k)$$

F(k)为状态矩阵，G(k)为噪声矩阵，H(k)为观测矩阵，ω(k)为输入噪声模型，V(k)为观测噪声模型，其满足一定的条件。卡尔曼滤波给出的系统状态递归算法为：应用状态转移矩阵乘以当前状态来预测下一个状态，使用测量矩阵乘以预测的状态来计算下一个观测，然后用观测值与预测观测来计算信息，应用卡尔曼滤波增益滤除信息，对当前系统状态进行修正以估算当前时间目标状态的最优估计，然后继续应用这两个方程循环递推和修正，以达到对个多目标状态的跟踪。

3.3　目标跟踪理论基础

动态目标处理需要对目标位置进行连续的或按时间采样的离散测量，并且要有估计目标运动行为的能力，以预测连续的传感器范围内目标的下一个位置。该处理需要将每个新的传感器数据集合与目标航迹的预测位置反复进行关联，以确定哪一个传感器的检测是当前的检测或是新目标或是虚警。多目标跟踪的功能要素包括数据关联与状态估计、跟踪维持、跟踪起始与跟踪终结、漏报与虚警等，具体算法见文[7]。

1. *数据关联与状态估计*　数据关联包括计算所有假设的可能性和使用关联门限把每个校准时间的备选航迹与新的航迹观测点进行比较，将落入门限之内和落入门限之外的观测分配给各自现有的航迹或起始一条新的航迹。在实际的多目标跟踪环境中，会出现这样的情况：要么多个观测位于同一跟踪门内，要么单个观测位于多个跟踪门的交集内。

2. *跟踪维持*　跟踪维持即连续保持跟踪，其目的是保证被跟踪目标可分辨且不发生误跟和失跟现象。跟踪维持包括机动识别和自适应滤波与预测部分。

3. *跟踪起始*　跟踪起始是一种建立新的目标档案的决策方法，主要包括假定航迹的形成、航迹初始化和航迹确定 3 个方面。一般地，不与已知航迹相关的观测被用来形成新的假定航迹，进而进行航迹的初始化处理。

4. *跟踪终结*　跟踪终结是消除目标档案的一种决策方法，当被跟踪目标逃离跟踪空间或者被摧毁时，为避免不必要的存储与计算，跟踪系统自动消除多余的目标档案，完成跟踪终结的功能。

4　基于符号型卡尔曼滤波跟踪理论的态势规划识别模型

整个态势估计处理过程是将传感器数据转化为高层符号特性的过程，符号层按照正在发生和将要发生的活动来解释已被识别的目标，因此用语义丰富的数据来通知决策层来采取进一步的行动，因此我们采用基于符号型卡尔曼滤波跟踪理论来建立态势规划识别“认识、预测、验证”模型。预言-验证原则表明观测环境（将到来的行动）的状态可由以前的信息（观测数据）和模型（计划模型）计算得来，并且用新信息（新观

维普资讯 http://www.cqvip.com

测)修正,下面我们介绍该算法的基本思想。

4.1 基本定义

我们首先定义与数值型跟踪理论对应的符号型跟踪理论的几个概念。

定义 4 条件包括被跟踪目标在环境中的位置、速度等状态信息及类别信息,从而得到 Agent 符号化基本行为,如:变得更近、靠近等,并用预定义的谓词原子公式表示。

定义 5 计划原型,表示形成一个计划的最少活动序列,即 Agent 必要行为(necessary action)。计划方差:在该计划执行中可能匹配的行动序列,即可选行为(option action)。

定义 6 活动原型,核心行动,最少集合的条件和限制,它是能够用观测匹配识别一个行动的必要部分,如果满足,则该行动可以被实例化(该行动发生),即证实一个活动发生的最少条件。行动方差:指的是围绕核心行动的条件和限制,它有可能被观察所匹配。

定义 7 时刻 t_n 时状态是 S_n,表示计划库中的被标志的计划集合,被标志意味着执行该计划的 Agent 被跟踪,亦即多 Agent 正在执行的计划集合。状态 S_n 的演变由计划原型来确定,是 Agent 时序行为。

定义 8 状态噪声,由不属于计划原型中的 Agent 造成的不期望事件。

定义 9 观测噪声,当前状态的观测与实际观测的偏差,由传感器精度及情报信息的不确定性引起。

4.2 符号跟踪理论规划识别基本算法

初始情形下,用观测到的 Agent 行为建立初始计划集合,每一个计划相当一条航迹,即跟踪的开始;然后用该计划预测下一步发生的事件及态势情形(对下一个状态的预测和下一个观测的预测),对应于下一个计划步骤和实现该计划步骤的可观测行为(是一个集合,可观测范围内发生的 Agent 行为),这个步骤对应于目标跟踪中状态的预测和观测的预测。

在每一步,利用发生的事件来确定是否发生预测的观测,若发生,则该计划继续,若没发生,建立一条新的航迹(对应新的计划),同时降低原有计划的可信度。继续预测每个计划(航迹)的下一步(状态和观测范围),若原匹配的计划仍旧不匹配,则继续降低其信任度,新建立的计划若不匹配,同样降低其可信度,又建立新的计划,如原有计划信任度降到一定的门限,则去掉(跟踪消除),围绕新的计划(航迹)继续观测。若下一步的匹配在计划(航迹)的预测范围内,则认为该计划继续发生(航迹继续延续),同样,在这个过程中,由于状态噪声和观测噪声可能引起错误计划(误跟)和真实计划未识别(失跟),从而有可能产生虚警与漏报。

总之,该算法的主要步骤是:

· 预测过程:预测状态是 Agent 候选计划可到达的行为的集合,同时将预测状态投影到观测空间,从而得到下一步观测的焦点,这个步骤对应于卡尔曼滤波的状态方程和观测方程的功能。

· 修正过程:如果当前观测的行动和预测的活动原型一致,表明计划更新正常,最新状态在预测状态集合中;如果不一致,但是同预测活动原型一致,则该计划继续执行;同时根据多余行动的性质考虑是否引入新的计划;如果同预测活动原型不一致,则考虑一个新的计划。这个步骤对应于卡尔曼滤波中用增益和参差更新状态方程获得最优航迹的过程。

讨论 本文提出了战场态势估计的过程就是规划识别的过程,提出应用 Agent 符号卡尔曼滤波跟踪理论来建立态势规划识别模型,该算法能够在跟踪的过程中完成军事实体的计划识别,也就是一级融合和高级融合是同步进行的,符合融合的本质要求。另外,由于计划是与 Agent 相关联的,如何合并各个 Agent 的计划来形成更高级的计划,是一个需要解决的问题,我们打算用模板来聚合多 Agent 计划以形成更高抽象程度的战场态势描述。总之,多 Agent 符号卡尔曼滤波规划识别模型在解决高层数据融合中有广阔的应用前景。

参 考 文 献

1 Castel C. Dealing with Uncertainty in Situation Assessment: towards a symbolic Approach. In: 14th Conf. on UAI, USA, July 1998

2 Robert W. Knowledge Representation for Plan Recognition. In: Working Notes of the IJCAI-95 Workshop "The Next Generation of Plan Recognition Systems" Montreal, Canada

3 Devaney M, Ram A. Needles in a Haystack: Plan Recognition in Large Spatial Domains Involving Multiple Agents. National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-98), Madison, Wisconsin. 1998

4 Kaminka G A, Pynadath D V, Tambe M. Monitoring Deployed Agent Teams. In: Proc. of the Fifth Intl. Conf. on Autonomous Agents (Agents-2001), Montreal, Canada

5 Kaminka G A, Wendler J, Ronen G. New Challenges in Mlti-Agent Intention Recognition: Extended Abstract. In: Proc. of the Fall Symposium on Intention Recognition for Collaborative Tasks. 2001

6 吴雾. 态势评估关键技术的研究:[西安电子科技大学博士论文]. 1996

7 何友,等. 多传感器信息融合及其应用. 电子工业出版社,2000

8 Hall D L. An Introduction to Multisensor Data Fusion. IEEE Proceedings, 1997, 85(1)

(上接第 112 页)

员深感性能问题将是项目成败的关键。计数模式可以极大地提高性能,在采用硬加密实现时尤其如此(不过要设计专用的计数模式加解密卡)。遗憾的是目前的 ipsec 标准尚不支持计数模式。本文提出了在 ipsec 中完整地应用计数模式的一个方案,并在我们的项目中实现为一个备选模块。我们期待着 IETF 标准化工作的进展。

参 考 文 献

1 Diffie W, Hellman M. Privacy and Authentication: An Introduction to Cryptography. Proceeding of the IEEE, 1979, 67: 397～427

2 Lipmaa H, et al. Comments to NIST Connecting AES Modes of Operations

3 Etienne J. The Counter-Mode and its Use with ESP, Internet-Draft, Work in progress

4 Kent S, Atkinson R. Security Architecture for the Internet Protocol, RFC2401

5 Kent S, Atkinson R. IP Encapsulating Security Payload (ESP), RFC2406

6 Maughan D, et al. Internet Security Association and Key Management Protocol (ISAKMP), RFC2408

7 Harkins D, Carrel D. The Internet Key Exchange (IKE), RFC2409