

文章编号:1001-2486(2011)05-0078-05

一种基于辩论的协作型 CGF 分层协商模型*

冯磊,查亚兵,胡记文,尹全军

(国防科技大学 机电工程与自动化学院,湖南长沙 410073)

摘要:针对作战仿真对人类行为表示(HBR)的准确性要求,建立真实反映战场行为的冲突消解模型是非常重要的。根据已有研究的不足和冲突行为分析,提出了基于辩论的协作型计算机生成兵力(CGF)分层协商模型,在给出相关定义的基础上,研究了冲突下的协商行为过程,实现了基于效用理论的论据强度定量评估算法,算法用于实现首选议题的选取和共同信念的确定。实验结果表明,该模型能够准确地反映冲突下的实际人类战场行为,且能够保证协同过程中的协商一致性。

关键词:作战仿真;计算机生成兵力;人类行为表示;冲突消解;辩论理论;协作型协商

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

An Argumentation-based Collaborative CGF Hierarchy Negotiation Model

FENG Lei, ZHA Ya-bing, HU Ji-wen, YIN Quan-jun

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In the combat simulation of human behavior representation (HBR) preciseness, it is all-important to build the conflict resolution model that can really reflect battlefield behaviors. According to shortages of existing research and analysis of conflict behaviors, this research presents an argumentation-based collaborative CGF hierarchy negotiation model, defines some related concepts, based on which the negotiation process in conflictions was studied and the Utility Theory-based arguments strength qualified evaluation algorithms was implemented, which is used for the selection of optimal proposal and confirmation of common belief. As is testified in fact, it can reflect the real battlefield behaviors under conflicts and ensure the consistency of negotiation during the collaboration process.

Key words: combat simulation; computer generated forces; human behavior representation; conflict resolution; argumentation theory; collaborative negotiation

计算机生成兵力(computer generated forces, CGF)是指由计算机创建并能对其全部或部分动作和行为实施自主控制或指导的虚拟作战兵力对象^[1]。CGF中兵力行为表示的准确与否是作战仿真中人类行为表示(human behavior representation, HBR)是否真实、仿真运行结果是否可信的关键所在。当前的仿真过程中,战场环境的复杂性、动态性和不确定性会导致行为冲突^[2]。例如,其它CGF实体发给自身的信息可能与自身的信念存在冲突;自身观察的信息与团队的协作信念存在冲突等。已有的解决方式只是在模型中加入协同计划,但当遇到不可预测的行为冲突时,模型则无法进行判断和决策,导致协同计划的失败、协同行为的失真。因此,为了逼真地表

示人类战场行为,必须在协同行为表示过程中建立起有效的冲突消解模型。

目前,协同行为表示中的冲突消解主要分为可通信和不可通信两种情况。本文主要研究可通信情况下的冲突消解机制。可通信情况下的冲突消解主要是采用基于协商的方法^[3],常用的协商机制包括:基于拍卖的协商,基于对策论的协商,基于启发式的协商,基于兴趣的协商,基于辩论的协商。文献[4]对各种协商机制的优缺点进行了详细的论述,基于辩论的协商是目前研究比较广泛且符合人类解决冲突行为习惯的一种方式。文献[5]利用辩论逻辑来设计和实现辩论系统,论据作为逻辑步骤序列用以支持或者反对一个议题,但并没有明确地假定协作或者非协作型CGF

* 收稿日期:2011-03-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60904055);国家省部基金资助项目(9140A04010110KG0110)

作者简介:冯磊(1982-),男,博士生。

实体。文献[6]利用论据理论来描述整个辩论过程,辩论双方以论据的优缺点来衡量各自的议题,但该方法只能适用于非协作型的 CGF 实体。针对上述问题,文献[7]假定了部分参与辩论的 CGF 实体属于协作型,并将共享计划理论作为一种数据结构而不是协作模型进行了协商,该方法虽然提高了协商的效率,但却降低了协作的灵活性和一致性。Tambe^[8-9]综合已有工作基础和大量研究,实现了协作型 CGF 实体的协商模型 CONSA,该模型基于对策推理,在检测到冲突时首先利用代价-效益分析来确定是否进行协商辩论,并在辩论过程中对论据强度进行了定性的划分。但该模型主要从个体自身角度考虑是否进行协商辩论,不能确保团队协商的一致性。论据强度的定性划分过于简单,不利于辩论决策,增加了辩论过程的复杂度。

1 作战协同中的冲突分析

作战协同是指所有参战人员为达成同一作战目的,按照统一意图和统一计划,在各级指挥下进行的协调一致的作战行动。由于战场态势的复杂、动态和不确定性,以及作战人员的主观和片面性,难免会出现作战人员对态势理解、判断的不一致,导致作战过程中发生冲突。为了完成共同的作战目标,冲突双方需要根据当前态势进行通信,及时调整自身或者改变对方对当前态势的理解,从而保证协同顺利进行。根据作战人员组织结构和冲突发生阶段的不同,可将冲突分三个层次:

信念冲突:作战人员对自身和世界的认知的冲突。这类冲突一般在单兵实体或战斗小组间发生,需要冲突双方快速调整并形成一致信念,以便进行统一的协同行动。

愿望冲突:作战人员对希望达到的状态或者目标的冲突。这类冲突一般在班排级指挥员间发生,需要冲突双方达成一致的愿望,以便上报协同行动中的上级指挥员进行决策。

意图冲突:作战人员对选择下一个行动的冲突。这类冲突一般在高层指挥员间发生,需要冲突双方形成统一的意图,以便下达协同作战命令。

2 基于辩论的 CGF 分层协商模型

可以看出,作战人员在不同阶段可能具有不同类型的冲突。根据冲突类型的不同,作战人员提出不同的理由用来支持自己的观点和反驳对方的观点,最后达成一致。但不论是哪种类型的冲突,双方均遵守一定的协商行为规范。因此,为了

在 CGF 各级实体中建立和实现通用的冲突消解模型,本文将基于辩论理论建立 CGF 的分层协商模型。辩论^[8]的基本思想是基于论据的构造和比较,用以推理不一致的信念。论据主要包括下面4个要素:议题,数据,依据,强度。首先,将冲突双方产生的不一致信息分别形成议题;其次,将支撑每一议题的数据和依据形成论据的强度;再次,基于论据强度进行冲突双方的论据比较,得出可以接受的议题;最后,分别计算可接受议题的效用,得出首选项议题。

下面以信念冲突为例,在定义相关概念的基础上,给出整个协商流程和论据评估算法。

2.1 相关定义

设 B 为信念集, RES 为资源集,那么

定义 1 信念论据是元组 $A_B = \langle P_B, D, W, h \rangle$, 且 $SUPP(A_B) = P_B$, $CONC(A_B) = h$ 。其中:

(1) $P_B = \{(\alpha_i, c_i, t_i) \mid \alpha_i \in B, c_i \in [0, 1], t_i \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n\}$ 为议题, 议题由信念形成, (α_i, c_i, t_i) 是指可信度为 c_i 、具有 t_i 反应时间的信念 α_i 。 c_i 由 D, W 的可信度得出, 可用函数式 $c_i = \text{Func}(c_D, c_W)$ 表示; t_i 取值为 0 或 1, 0 表示不具有协商反应时间, 1 表示具有协商反应时间。

(2) D 为数据集, 用于支撑议题的相关数据。

(3) W 为依据集, 用于支撑议题的相关规则、根据。

(4) $\text{Worth}(\alpha_i) = w(\alpha_i \in B, w \in R)$, $\text{Cost}(r_i) = c(r_i \in RES, c \in R)$ 分别表示接受该议题所产生的效益和代价函数。

(5) $SUPP(A_B) = P_B$ 表示对信念论据 A_B 的支持, 形成议题 P_B 。

(6) $CONC(A_B) = h$ 表示由信念论据 A_B 形成结论 h 。

定义 2 信念论据信度等级。由于论据的信度最终只受信念可信度的影响, 因此, 令 $A_B = \langle P_B, D, W, h \rangle$, 则信念论据的信度等级可以定义为 $\text{Level}(A_B) = \min\{c_i \mid (\alpha_i, c_i, t_i) \in P_B\}$ 。

定义 3 信念论据冲突。令 $A_{B1} = \langle P_{B1}, D_1, W_1, h_1 \rangle$, $A_{B2} = \langle P_{B2}, D_2, W_2, h_2 \rangle$ 。则 $\text{Conflicts}(A_{B1}, A_{B2})$, 如果 $\exists h'_2 \in P_{B2}, h_1 \equiv \neg h'_2$ 。

定义 4 信念论据比较。对于相互冲突的信念论据 A_{B1}, A_{B2} , 当且仅当 $\text{Level}(A_{B1}) \geq \text{Level}(A_{B2})$, 则称信念论据 A_{B1} 信度大于 A_{B2} , 表示为 $\text{Accept}(A_{B1})$ 。

定义 5 信念议题效用。对于可接受的信念论据 A_B , 根据 $SUPP(A_B) = P_B$ 得出可接受的议题

P_B 。信念议题效用定义为 $Utility(P_B)$ 。效用值可用下式进行计算:

$$Utility(P_B) = \sum_{\alpha_i \in B} Worth(\alpha_i) - \sum_{r_j \in RES} Cost(r_j) \quad (1)$$

定义6 首选信念议题。对于所有可接受的议题 P_{B1}, \dots, P_{Bn} , 当且仅当 $Utility(P_{Bi}) \geq Utility(P_{Bj})$ ($j=1, \dots, n$ 且 $j \neq i$), 则首选信念议题可表示为 $P_{prefer} = Prefer(Utility(P_{Bi}))$ 。

2.2 协商流程

协商流程可分为5个阶段,如图1所示。

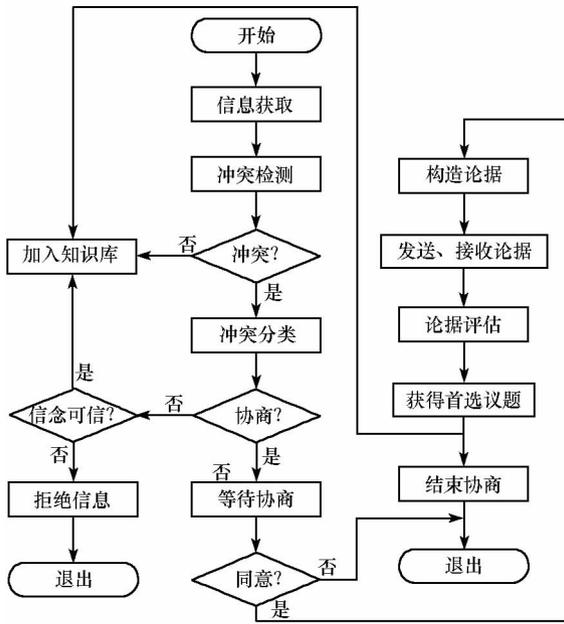


图1 冲突下的协商流程

Fig.1 Negotiation flow under conflicts

(1) 冲突检测与分类

协同任务执行过程中,当 CGF 实体遇到突发情况导致不能按协同计划执行时,此时该智能实体需要将当前态势通过通信或其它方式来通知团队中的其它成员以确保团队信念的一致。这时,其它成员并不直接接受该实体的信息,而是根据自身的规则进行冲突检测。未检测到冲突时,则直接加入到信念库。检测到冲突时,根据检测规则类型的不同可将冲突分为:信念冲突、愿望冲突和意图冲突。对于不同类型的冲突,在协商过程中可以构造不同类型的论据进行辩论。

(2) 协商判断

由于战场态势瞬息万变,很多突发情况不允许作战人员进行长时间判断,以免贻误战机。因此,本文在实体进行协同通信过程中对信念加入可信度等级。可信度等级分为高、中、低三等,如表1所示。当其它成员检测到冲突时,智能实体

并不立即进行协商,而是根据该信念需要决策的反应时间以及可信度等级来确定是否进行协商。判断结果可以有3种方式:(a)不进行协商,直接接受信念;(b)不进行协商,拒绝接受信念;(c)同意协商。这里需要指出的是,当某一实体同意协商,并不立刻进入协商,还需要进一步判断:基于联合意图理论,只有当团队中相冲突的所有成员均同意协商后,协商才能进行。这样做的目的是为了保证整个任务团队协同过程的一致性。

表1 信念的可信度等级

Tab.1 Reliability classification of beliefs

反应时间 \ 信度等级	快	慢
	高(0.66,1]	接受	协商
中[0.33,0.66]	接受	协商
低[0,0.33)	拒绝	协商

(3) 协商开始

当团队中的所有成员均同意协商后,协商开始。检测到冲突的实体将根据冲突类型不同,构造相应论据,发送给冲突方。冲突方根据自身的论据与接收的论据进行判断,选择接收或者拒绝。

(4) 辩论评估

辩论阶段,团队中发起冲突的实体将发送某一议题的论据给团队中的冲突方。接收者根据论据来评估议题,要么选择接受要么进行反驳。如果拒绝该议题,接收者可能给发送方发回一个反议题,有可能继续议题的辩论,也可能进行反议题的辩论。由于团队成员在执行协同任务过程中可能会同时出现突发情况,因此团队中的协商可能具有多个议题。最后基于效用理论从多个议题中得出首选议题。

(5) 协商结束

得出首选议题后,辩论结束,并将形成该议题的信念作为团队的一致信念,用于团队成员推理。

2.3 论据评估算法

论据评估算法分为三个阶段:(1)根据输入的信念集进行冲突检测,并将相冲突的论据加入到冲突集;(2)比较所有相冲突的论据,得出可接受的论据,形成议题并加入到议题集;(3)计算议题集中所有议题的效用,得出首选议题。设信念集为 B , 论据集为 A_B , 冲突集为 C , 议题集为 P , 首选议题为 P_{prefer} , 其伪代码如下所示:

```

(输入:  $B$ ; 输出: 首选议题  $P_{prefer}$ ) {
  for( $j=1$  to  $m$ ) {

```

```

if ( Conflicts( ABi, ABj ) ) /* 检查与自身信念论据
ABi相冲突的信念论据 ABj */
    add( ( A' Bi, A' Bj ), C ); /* 加入冲突集 */
for( k = 1 to n ) {
    A' Bk = compare( Level( A' Bi ), Level( A' Bj ) ); /* 得
出可接受的信念论据 A' Bk */
    PBk = SUPP( A' Bk );
    add( PBk, P ); /* 加入议题集 */
    UPBk = Utility( PBk ); /* 根据式(1)计算效用 */
    Uprefer = UPB1;
for( k = 1 to n ) { /* 议题效用比较 */
    if ( UPBk ≥ Uprefer )
        Uprefer = UPBk;
Pprefer = Prefer( Uprefer ); /* 获得首选议题 */
return;
} /* 算法结束 */

```

3 实验验证及结果分析

为了简化实验,同时验证模型的有效性,想定

表2 突发情况下的通信参数

Tab. 2 Communicate parameters under sudden circumstance

通信参数 团队小组	通信对象	当前信念	理由	信念信度	反应时间	结论
A	B、C	偷袭无法完成 (sneak attack-failed)	增援 (reinforcement)	0.9	慢	撤退 (retreat)
B	A、C	偷袭无法完成 (sneak attack-failed)	戒备 (alert1)	0.5	慢	进攻 (attack)
C	无	偷袭按计划进行 (sneak attack-not-failed)	无	无	无	无

模型采用基于 Soar^[10] 智能引擎结构的行为建模环境进行设计和开发,在 steam^[11] 协同行为模型的基础上增加了基于辩论的分层协商模型,用以对冲突情况的处理。模型的测试在课题组已有的仿真运行与测试环境^[12-13]上进行,并根据上述想定进行模型初始化。仿真运行过程如表3所示,其中:“O:”表示模型中的行为算子执行,“…”表示实体处于等待状态。

由具体的行为算子执行过程可以看出,C小组在检测到与A、B小组的信念冲突后,触发了解决冲突的协商模型,并在与A、B小组建立起协商的联合意图后,开始进行辩论:首先由A、B小组根据各自信念分别构造论据,并发送给具有冲突信念的C小组,C小组根据接收论据中的议题构

设计如下:

在一沙漠丘陵地带,我方3个小组遂行对敌偷袭的协同战斗任务,在敌我之间存在一些掩体,可以阻挡敌我视线,亦可以用于躲避攻击。当前态势下,敌我双方分别位于两个相隔较远的掩体后,为避免敌方发现,我方C小组将依据障碍物监视和吸引敌方注意,另外A、B两组依据战场障碍物分别从左右两路迂回包抄到敌人后方,待到达攻击地域后,通知己方人员,实施协同攻击。

计划实施过程中,在我方A、B两组未到达攻击地域时,A组突然发现敌方正在进行增援,认为敌我力量悬殊,偷袭任务无法成功完成。B组则发现敌方进入一级戒备,认为已被敌方发现,无法进行偷袭。而C组未发现敌情,因此继续按协同计划执行。当前态势下,A、B两组在可通信的情况下分别向协同团队通报敌情。通信内容如表2所示。

造相应的论据;其次,将自身论据与接收论据进行评估,在得出多个可接受议题的情况下进行议题的效用计算,得出首选议题。最后,将首选议题的信念发送给团队成员更新共同信念,结束协商。

算法适用于可通信情况下的团队协同作战过程中的单个协商行为表示,对于不可通信情况下的冲突,一般通过已制定的行为规划、与任务有关的团队约束、条令条例约束、可观察实体行为等进行解决和表示。为了避免多个协商过程的同时出现,进一步的研究包括定义一个团队内协商成员的信息交互(接收)顺序。当有多个冲突发起方时,可以按顺序进行约简,即当出现多个议题相同的冲突时,可以按照智能体的信息交互顺序,指定一个冲突,由发起方发给所有的成员。

表3 协商过程中的算子执行情况
Tab.3 Operator execution during negotiation process

团队小组		A	B	C
协商过程				
阶段	内容	我方各小组协商模型的算子执行情况		
				...
冲突检测	通信信念	O: send(sa-failed)	O: send(sa-failed)	O: check(A, C) = conflict
	冲突检测	O: check(B, A) = consistent	O: check(A, B) = consistent	O: check(B, C) = conflict
	冲突分类	...	...	O: type(A, C) = belief O: type(B, C) = belief
协商判断	决策	...	...	O: isnegotiate(A, C) = yes
	触发协商模型	...	...	O: isnegotiate(B, C) = yes
	建立联合意图	O: establish_ jpg = yes	O: establish_ jpg = yes	O: resolve-conflict O: establish_ jpg = yes
协商开始	构造论据	O: arg((sa-failed, 0. 9, 0), reinforcement, retreat)	O: arg((sa-failed, 0. 5, 0), alert1, attack)	...
	发送论据	O: send(argA)	O: send(argB)	O: receive
	构造论据	...	...	O: arg((sa-failed, 0. 7, 0), reinforcement, retreat) O: arg((sa-failed, 0. 4, 0), alert1, attack)
辩论评估	论据比较	...	...	O: compare(A, A*) O: compare(B, B*)
	决策	...	...	accept: { A, B* }
	效用计算	...	...	O: compare_ utility(U _A , U _{B*})
	决策	...	...	prefer: U _A
协商结束	通信	O: receive	O: receive	O: send(sa-failed, 0. 9, 0)
	改变信念	O: change	O: change	O: change
	退出联合意图	O: quit	O: quit	O: quit
	返回上级目标	O: resolved-conflict	O: resolved-conflict	O: resolved-conflict

4 结论

针对作战仿真 CGF 实体协同行为中的冲突消解问题, 本文提出了一种基于辩论的协作型 CGF 分层协商模型。在定义相关概念的基础上, 研究了冲突下的整个协商过程, 实现了辩论过程中的论据强度定量评估算法。通过实验验证, 该模型能够有效地处理 CGF 实体产生的行为冲突, 保证协同过程中的协商一致性, 真实地反映了战场冲突下的人类行为方式。

参考文献:

[1] 尹全军. 基于多 Agent 的计算机生成兵力建模与仿真[D]. 长沙: 国防科技大学, 2005.
 [2] 胡晓峰, 杨镜宇, 司光亚. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008: 12 - 15.
 [3] Rahwan I, Amgoud L. An Argumentation-Based Approach for Practical Reasoning[C]//Proc. ArgMAS 2006, LNAI 4766, 2007, 74 - 90.
 [4] 姜丽, 刘大有, 白岩, 等. 多 Agent 协商研究[J]. 计算机研

究与发展, 2006, 43: 1 - 5.
 [5] Parsons S, Jennings N R. Negotiation Through Argumentation—A Preliminary Report[C]//Proc. ICMAS, 1996, 267 - 274.
 [6] Freeman K, Farley A. Towards Formalizing Dialectical Argumentation [C]//Proc. 15th Conference on Cognitive Science Society, 1993, 440 - 445.
 [7] Chu-Carroll J, Carberry S. Conflict Detection and Resolution in Collaborative Planning[C]//Proc. LNAI 1037, 1996, 1243 - 1250.
 [8] Tambe M, Jung H. The Benefits of Arguing in a Team[J]. AI Magazine, 1999, 20(4) : 25 - 35.
 [9] Tambe M. Towards Flexible Teamwork [J]. Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR), 1997, 7: 83 - 124.
 [10] Laird J E, Congdon C B. The Soar User's Manual, Version 9. 0[EB/OL]. (2008 - 08 - 28)laird@umich. edu.
 [11] Tambe M. Teamcore Project Control of Agent Based Systems (COABS) Program[R]. AFRL-IF-RS-TR-2002-253, 2002.
 [12] Feng L, Yin Q J, Hu J W, et al. IBMSE: An Integrated Behavior Modeling and Simulation Environment [C]//Proc. ICCMS, 2010: 401 - 406.
 [13] Yin Q J, Feng L, Hu J W, et al. Game Engine Based Simulation for Modeling Human Behavior [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(3) : 724 - 729.