

文章编号: 2095-4980(2020)04-0595-06

基于 Multi-Agent 的通信战场自主攻击

王晓君, 王晓宇, 刁彦华

(河北科技大学 信息科学与工程学院, 河北 石家庄 050000)

摘要: 根据通信对抗仿真应用需要, 研究了基于 Multi-Agent 的通信对抗仿真。根据战场环境、实际需求以及多智能体之间的协同合作, 分析并定义多智能体的属性、参数及行为, 参考“观察(Observe)—调整(Orient)—决策(Decide)—行动(Act)(OODA)”环设计规则, 提出关于智能体个体价值最大化的四象限攻击(QA)策略, 实现智能体的自主攻击。采用 Repast Symphony 建模软件实现仿真, 通过 2D 模型仿真方式全面观察效果并回溯分析算法的有效性, 根据蓝色通信方 Agent(BCA)被攻击数量测试使红色攻击方(RAA)攻击效用最大化的比例。通过实际应用测试, 发现此模型攻击率高, 可实现价值高。

关键词: 多智能体; 通信对抗; 自主攻击; 个体价值最大化; 观察—调整—决策—行动

中图分类号: TN975

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019014

Autonomous attack of communication battlefield based on Multi-Agent

WANG Xiaojun, WANG Xiaoyu, DIAO Yanhua

(School of Information Science and Engineering, Hebei University of Science & Technology, Shijiazhuang Hebei 050000, China)

Abstract: The communication countermeasure simulation based on Multi-Agent is studied. According to the battlefield environment, actual needs and the synergy between Multi-Agent, the attributes, parameters and behaviors of Multi-Agents are analyzed and defined. According to the design rules of Observe—Orient—Decide—Act(OODA), a four-Quadrant Attack(QA) strategy for maximizing the individual value of the agent is proposed to achieve the autonomous attack of agents. The simulation is implemented by Repast Symphony modeling software. The effect is comprehensively observed through 2D model simulation and the effectiveness of the algorithm is backtracked. The proportion that can maximize the effectiveness of Red Attacker Agent(RAA) attacks can be tested according to the number of Blue Communication Agent(BCA) attacks. Practical application testing shows that this model has high attack rate, high realization value, which provides a new idea for the simulation of communication antagonism.

Keywords: Multi-Agent; communication countermeasure; autonomous attack; maximization of individual value; Observe—Orient—Decide—Act

随着军队电子化程度的迅速提高, 电子战作为直接攻防的作战手段, 形成了“陆、海、空、电、天”多维立体战。通信对抗, 即通信电子战, 作为电子对抗的重要分支, 在电子战中削弱甚至破坏敌方通信系统并保护己方通信系统的正常运作具有重要的作用^[1-3]。为更好地模拟真实战场对抗的仿真, 采用基于 Agent 的建模与仿真 (Agent-Based Modeling and Simulation, ABMS) 技术, 对比各种建模软件之后选择可视化多 Agent 建模仿真平台 Repast Symphony^[4] (简称 Repast S)。在对抗仿真实验中, 模拟对抗行为带有一定的逼真度, 包括战场的初始布局, 用以模拟探索实际不确定战场态势下智能体的行为、最优策略以及方法。

通信对抗的仿真, 涉及众多模块, 包括智能体的个体参数设置、行为设置、躲避策略设置、攻击策略设置以及协同方式设置, 这些设置结果之间相互影响, 共同作用以达到更好的攻击仿真效果, 但也是构建仿真体系的重要难题。目前针对战场对抗的研究有很多, 但由于对战场通信对抗的关注不够, 将智能体模型用于战场通信对抗

收稿日期: 2019-01-10; 修回日期: 2019-04-09

基金项目: 河北科技大学五大平台开放基金课题资助项目(2018PT03)

作者简介: 王晓君(1973-), 男, 教授, 主要研究方向为实时信号处理算法设计与工程实现等。email:183515462@qq.com

的很少,多是沿用或借鉴其他技术领域的原理和方法进行研究,在现有其他技术^[5-10]及评估手段^[11]的基础上,参考已有类似对抗,如水下博弈优化策略^[12]及编队方法等^[13-15],仿真从攻击方个体价值最大化需求入手,通过 Repast S 平台建立有效的行为模型并实现策略,为通信战场作战推演提供更多有效的支持方法,为今后用于实战方面提供更全面的仿真技术支持。

1 智能体建模

基于 Multi-Agent 的战场自主攻击研究,主要技术难点在于 Agent 的模型建立以及交互策略两方面。红色攻击方 Agent(RAA)的交互策略主要是模拟 Agent 在真实战场环境下作战时的各种应变反应,对战场可能出现的情况进行全方位的仿真分析,将战场信息转换为决策优势,对 RAA 个体的行为方式、攻击策略等进行抽象研究,对 RAA 间能达到协同攻击的快速有效组合行为进行研究,以得到最优的决策方案。蓝色通信方 Agent(BCA)则需在存在攻击的可能下进行躲避,并有效通信,传递信息。

1.1 RAA 建模

建立 Multi-Agent 的通信战场自主攻击模型,需要分析智能体的行为和属性,但更重要是模拟出宏观现象和属性。建立模型主要是在 RAA 的交互策略基础上,对仿真模拟中 RAA 之间的关系、交互行为和进行分析。基于仿真任务需求以及效能评估指标,对仿真设计的智能体、行为方式、交互决策、作战流程等进行归纳分析,研究需要的模型类型、组合方式及组合结构,得到 RAA 作战行为模型和体系组织结构模型,形成最终的基于 Multi-Agent 的通信战场自主攻击模型。

根据建模需要,面向 Agent 编程,为 RAA 定义属性如下:

1) ID 号:为每个 RAA 单独编号,从 1 依次开始,当攻击到 BCA 时,被其攻击的 BCA 会在下方显示攻击它的 RAA 的 ID 号,便于清晰且直观地观察仿真效果。

2) 速度:RAA 侦查不同状态采用不同的速度,在战场初始布局后,RAA 先侦查战场内的 BCA,若侦查范围内没有 BCA,则向前移动 1 步;当 RAA 侦查范围内有 BCA 时,计算出处于可攻击范围内所有 BCA 的中点位置 O,然后直接沿着当前 RAA 与中点 O 的连线方向以倍速移动,缩短攻击时间,提高效率。

3) 方向:考虑实际战场情形,定义 RAA 在战场中的移动动作主要分为:直线向前、前右上、前右下、直线向上、直线向下、直线向后、后左上和后左下 8 种,如图 1 所示。

4) 攻击半径:每个 RAA 有自己的有效攻击半径,处于攻击半径内的 BCA 失去通信能力。

5) 侦查范围:每个 RAA 有自己的侦查范围,处于范围内的 BCA 被侦查到并按策略进行攻击。为提前感知到 BCA 的位置,侦查范围大于攻击半径。

1.2 BCA 建模

在战场中,BCA 需要躲避 RAA 的攻击,并进行有效信息交互,为 BCA 定义属性如下:

1) ID 号:BCA 没有被攻击时,ID 号均标 0;被攻击后,改为攻击它的 RAA 的 ID 号,便于观察攻击效果,以查看 RAA 是否重复攻击;

2) 移动:BCA 在地图内静止时,用状态 0 表示;随机移动时,用状态 1 表示,便于观察在不同状态下的仿真效果以及达到最优时的平衡状态;

3) 方向:BCA 在战场中的移动分 8 个方向,与 RAA 相同;

4) 躲避:BCA 监测到有 RAA 朝其发起攻击时,将沿 RAA 攻击方向的反向进行移动躲避,即计算拥有 RAA 最多方向的所有 RAA 的中心点 O_1 ,沿中心点与当前 BCA 的延长线移动。BCA 躲避公式为:

$$(x_{o1}, y_{o1}) = \left(\sum_{i=1}^n x_i, \sum_{j=1}^n y_j \right) \quad (1)$$

$$\theta = \arctan \frac{y_{o1}}{x_{o1}} \quad (2)$$

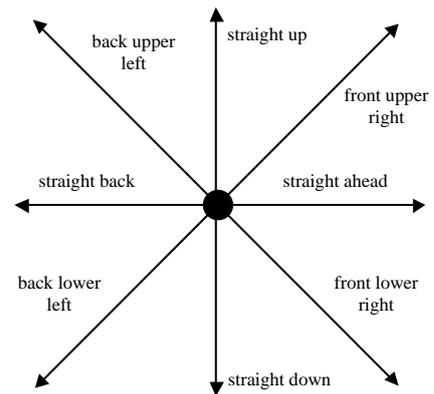


Fig.1 Plane diagram of RAA moving action
图 1 RAA 移动动作平面示意图

式中: x_{o1}, y_{o1} 为中心点 O_1 的坐标; 以直线向前为水平线, θ 为与延长线的夹角; x_j, y_j 为侦查范围内所有 RAA 的横纵坐标。

2 策略设计及决策方法

根据 OODA 环策略设计 RAA 四象限攻击(QA)策略, 并考虑实际战场中红方在左, 蓝方在右的场景以及实现 RAA 个体价值最大化的需求。战场初始状态布局后, RAA 侦查战场中 BCA 位置分布并向当前侦查结果中 BCA 最多的方向移动, 每移动一次, RAA 需要交互信息, 防止攻击同一区域以达到攻击最多 BCA 的目的。

2.1 OODA 环策略

现代战争中, OODA 环最初在空战中作为克敌制胜的策略, 其基本观点是: 先观察己方、战场和敌方情况从而获得相关信息, 根据侦查到的外部威胁, 及时调整, 做出应对决策并采取相应行动, 完成 OODA 的循环。根据实际战场布局分析, 一般双方形成对峙态势后, 先观察对方情况再进动作, 根据实时情况及时调整状态及布局。即 RAA 首先观察周围 BCA 情况, 然后采取 QA 策略, 向 BCA 行动, 当 BCA 被攻击后, RAA 开始交互互相之间的攻击状态以及攻击信息, 根据是否已经实现自身价值最大化进行调整。因此, 将 OODA 环的循环调整为“观察—决策—行动—交互—调整”模式, 制定 QA 策略, 更有效地避免出现在一个 RAA 攻击范围内的 BCA 被其他 RAA 攻击的情况, 造成不必要的资源浪费, 增加团队协作能力, 从而提高效率。

2.2 RAA—QA 环策略

设计的 RAA—QA 策略满足 4 个原则:

- 1) 在周围没有侦查到 BCA 时向前(右)以匀速 a 移动;
- 2) 侦查并计算出 BCA 中点 O 时, 以 a 的倍速移动;
- 3) 实现个体价值最大化, 防止资源浪费;
- 4) RAA 之间交互信息以实现整体协同。

RAA 个体价值最大化是指在战场中 RAA 根据 QA 策略, 不断更新自身及周围 RAA 的攻击情况, 对比周围处于攻击范围内的所有 BCA 的 Id 号与自己是否一致, 若不一致, 则表示自身攻击范围内存在被其他 RAA 攻击的 BCA, 此时需计算哪个 RAA 攻击 BCA 的数量多, 攻击数量少的 RAA 继续按 QA 策略移动, 以实现个体价值最大化并防止资源浪费。RAA—QA 策略流程图如图 2 所示。

1) 初始战场布局下, 每个 RAA 以自身为坐标原点画虚拟直角坐标系, 将自身侦查范围分为 4 个象限, 按象限侦查计算自身侦查范围内的 BCA。

2) RAA 在侦查范围内没有 BCA 的情况下向前以匀速 a 移动; 当侦查范围内出现 BCA 时, 开始计算拥有 BCA 最多的象限, 计算此象限处于攻击范围内所有 BCA 的中点位置 O_2 , 向 O_2 点以 a 的倍速移动, 计算公式为:

$$(x_{o2}, y_{o2}) = \left(\sum_{i=1}^m x_i, \sum_{j=1}^m y_j \right) \quad (3)$$

3) 每移动一次, 侦查并计算一次拥有最多 BCA 的象限中处于攻击范围内的所有 BCA 的中点位置 O_2 , 若还是最初计算出的 O_2 点, 继续向原 O_2 点移动; 若侦查出可攻击更多 BCA 的象限或位置, 则重新计算 O_2 点位置, 并向变换后的 O_2 点移动。

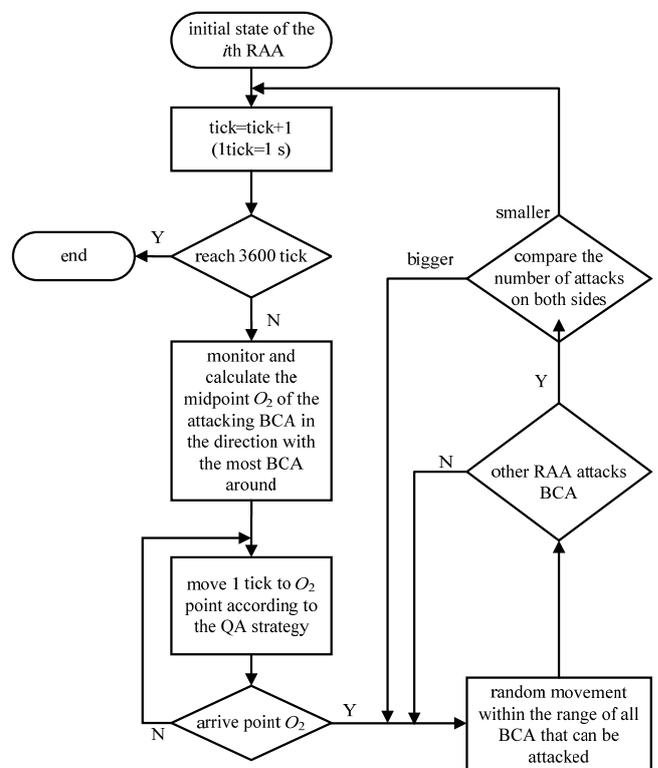


Fig.2 Flow of RAA attack strategy
图 2 RAA 攻击策略流程图

4) 到达 O_2 点后侦查当前被攻击范围内的 BCA 周围有无其他 RAA, 若存在, 计算哪个 RAA 攻击数量更多, 攻击数量少的 RAA 则继续按 QA 策略侦查并移动; 攻击数量多的 RAA 在保持所有 BCA 均处于攻击状态下, 8 个方向随机移动。

5) 当侦查范围内计算出新的可攻击更多 BCA 的点时, 继续移动以实现个体价值最大化。

被攻击后的 BCA 不能再被其他 RAA 侦查到。RAA 每 tick 移动一次并侦查计算一次, 实现协同交互信息, 以防止战场内 RAA 都向同一群 BCA 移动, 导致资源浪费。

3 仿真验证及效果评估任务需求

为验证策略, 在基于 Eclipse 集成开发环境、Java 语言、面向对象的可视化多 Agent 建模仿真平台 Repast S 进行仿真。为更加清晰直观地观察仿真效果, 通过 2D 平面模型观察仿真结果, RAA 用星星代替, BCA 用实心圆代替。因为没有类似文章策略作对比, 因此仿真时采取不同规模的 BCA 数据对比, 且多次更改 RAA 个数, 以更好地鉴定策略的可行性与有效性。设置仿真界面大小为 100×100 , 按实际战场情形 RAA 在左, BCA 在右布置初始对峙场景。

3.1 仿真验证

鉴于在 Repast 仿真过程中界面均相似, 图示选其中一种设定情况, 15 个 RAA 和 50 个 BCA。仿真开始后 RAA 按 QA 策略寻找 O_2 点并移动, 在移动过程中交互信息以达到个体价值最大化, 逐渐靠近 BCA 并形成攻击态势, 所有 BCA 均被攻击掉, 如图 3 所示。仿真运行过程的 RAA 实时攻击率曲线图中攻击率在快速增加, 保持稳定的情况下一直在寻求更大的攻击率, 也就是尽量攻击掉更多的 BCA, 如图 4 所示。

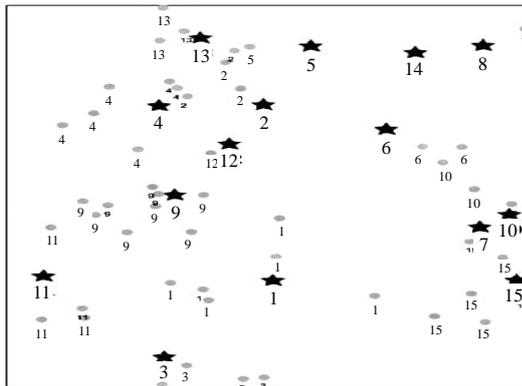


Fig.3 Diagram of attack simulation
图 3 攻击仿真图

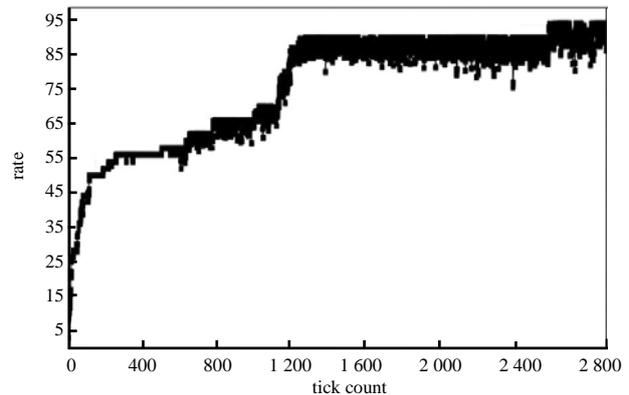


Fig.4 Attack rate
图 4 攻击率曲线图

3.2 结果分析

因没有类似仿真做对比, 为验证策略有效性及可行性, 设定 3 种 BCA 规模进行对比测试: 小规模 20 个 BCA, 中规模 50 个 BCA, 大规模 100 个 BCA。考虑 RAA 个体价值最大化, 冗余少且总体攻击率最高, 设定蓝多红少形势, 根据 QA 策略仿真, 在同种 BCA 规模下多次调整 RAA 数量, 分别统计其被攻击个数、攻击率、攻击时间 (1 tick 为 1 s), 仿真记录平均次数 100, 汇总得到统计表, 如表 1 所示。由表 1 可以看出, 无论何种规模, RAA 数量越多, 攻击率及被攻击个数越高。鉴于取多次平均值, 被攻击个数会出现小数问题。小规模及中规模因为 BCA 数量相对整个战场面积较少且分散, 因此随着 RAA 数量的增多, 攻击时间在减少, 被攻击个数增加, 攻击率增加; 而大规模的 BCA 数量多, 分布密集, 计算量随 RAA 的增多愈加庞大, 为了个体价值最大化, 并保证全局攻击率, 因此交互调整增多, 攻击时间在增多。

考虑单个 BCA 没有通信能力, 因此被攻击个数比总个数少不高于 2 个即为没有通信能力。因此在小规模中, RAA 有 12 个时, 被攻击个数达到 18.5, BCA 丧失通信能力, 红蓝比为 3:5(60:100); 中规模中 RAA 有 22 个时, 被攻击个数达到 48.1, BCA 丧失通信能力, 红蓝比为 11:25(44:100); 大规模中 RAA 有 25 个时, 被攻击个数达到 98.3, BCA 丧失通信能力, 红蓝比为 1:4(25:100)。小规模、中规模、大规模分别达到攻击预期的红蓝比例在下降, 即 Agent 分布越密集, 所需的 RAA 数量越少, RAA 个体价值越大。

表 1 不同 BCA 规模结果统计表
Table1 Statistical results of different BCA scales

BCA scale	RAA	number of attacks	attack rate	attack time(tick)
20	10	15.72	78.6	1 506
20	11	17.60	88.0	1 805
20	12	18.50	92.5	1 240
20	13	18.60	93.0	1 618
20	14	19.10	95.5	1 193
20	15	19.50	97.5	1 435
50	10	32.40	64.8	1 334
50	15	45.60	91.2	2 269
50	20	47.60	95.4	2 121
50	21	47.90	95.8	2 080
50	22	48.10	96.2	2 047
50	23	48.60	97.2	2 014
50	24	48.80	97.6	1 969
50	25	49.00	98.0	1 768
50	30	49.50	99.0	1 668
100	10	60.50	60.5	1 051
100	15	75.20	75.2	1 062
100	20	85.60	85.6	1 772
100	23	96.90	96.9	2 587
100	25	98.30	98.3	3 376

4 结论

基于 Multi-Agent 的战场自主攻击研究属于比较敏感的话题,因此网上的数据及参考文献较少,没有完全一致的可对比参考文章。本文自主设计 QA 策略,同时针对各种规模的形式进行仿真统计比较,证明了该策略的可行性和有效性。该策略注重个体的实现价值以及总体的合作协同,实现了个体价值最大化以及 RAA 战略协同,防止资源冗余浪费。实验结果显示:QA 策略攻击率高,效果好,且随着战场中 BCA 的数量增多,RAA 的使用比例下降,提高了 RAA 利用率,从而减少真正战场中的实际预算。基于 Multi-Agent 的战场自主攻击研究敏感且复杂,再加上 Agent 策略及协同问题本身的复杂性,本文只做了初步预想和仿真,希望能为相关研究人员提供思路或帮助。

参考文献:

- [1] 王庆生,王首斌. 通信对抗在未来海战中的地位和作用[J]. 通信对抗, 2017,36(1):12-15,19. (WANG Qingsheng,WANG Shoubin. Status and function of communication countermeasure in future naval battles[J]. Communication Countermeasures, 2017,36(1):12-15,19.)
- [2] 徐继晖. 信息战电子对抗中大数据引导通信优化仿真[J]. 信息通信, 2019(1):129-130. (XU Jihui. Simulation of big data guided communication optimization in information warfare electronic countermeasures[J]. Information & Communications, 2019(1):129-130.)
- [3] 周宇. 军事通信抗干扰技术的发展研究[J]. 中国战略新兴产业, 2018(24):158. (ZHOU Yu. Research on the development of military communication anti-jamming technology[J]. China Strategic Emerging Industry, 2018(24):158.)
- [4] 王宇宾. 基于 Repast Symphony 平台的建模与仿真技术[J]. 计算机系统应用, 2015,24(10):17-22. (WANG Yubin. Modeling and simulation technology based on Repast Symphony[J]. Computer Systems & Applications, 2015,24(10):17-22.)
- [5] 李岩,高梅国,崔双洋. 认知雷达对抗中的未知雷达状态识别方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(2):233-238. (LI Yan,GAO Meiguo,CUI Shuangyang. Unknown radar state recognition method for Cognitive Radar Countermeasure[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(2):233-238.)
- [6] 田明辉,马敏,张文祎. 基于多普勒频率与距离和的目标定位[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2018,16(6):984-988, 1021. (TIAN Minghui,MA Min,ZHANG Wenyi. Target localization based on Doppler frequency and range sum[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2018,16(6):984-988,1021.)
- [7] 涂卫红,张建廷. 基于多智能体的侦察预警系统仿真技术[J]. 指挥控制与仿真, 2018,40(3):64-68. (TU Weihong, ZHANG Jianting. Reconnaissance and surveillance system simulation technology based on Multi-Agent[J]. Command Control & Simulation,2018,40(3):64-68.)
- [8] CHENG Zilong,LI Fan,ZHANG Yulin. Multi-Agent decision support system for missile defense based on improved PSO algorithm[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2017,28(3):514-525.