

作战智能体分队攻击目标分配模型研究

曹 雷, 陈希亮

(解放军理工大学 指挥自动化学院, 江苏 南京 210007)

摘 要:为解决智能体分队的目标攻击选择问题,文中对作战模型中的多武器目标分配(WTA)问题进行了研究,介绍了WTA问题的基本概念、基本模型、数学性质以及WTA问题研究的基本内容。在模型研究方面,对动态武器目标分配问题建立了迭代规划模型,该模型的优点在于克服了静态WTA模型中部分武器因为时间因素的限制,在作战中不能参与分配的缺点。在算法研究方面,以匈牙利算法对指派问题求解为基础,对动态迭代规划模型进行了求解。最后,通过案例的分析,验证了模型和算法在求解WTA问题的有效性。

关键词:多智能体;攻击行为模型;作战仿真;0-1规划

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)12-0150-04

Research on Dynamic Weapon Target Assignment in Combat Agent Unit

CAO Lei, CHEN Xi-liang

(Institute of Command Automation, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

Abstract: To solve the problem of weapon target assignment (WTA) in the combat agent unit, the model of iterative programming was studied. However, there have been no effective algorithms to solve the optimal policies of such large-scale problems by now. The model of iterative programming compared with static WTA model, this model overcomes the disadvantage that some weapons couldn't be assigned as time changing. Dynamic iterative programming, which based on the Hungarian Algorithm, was used to solve the model. Finally, an example was used to illustrate and validate the efficiency of the model and algorithms.

Key words: multi-agent; attacking behavior model; combat simulation; 0-1 programming

0 引言

在基于多智能体的作战模型中,动态武器目标分配(Weapon Target Assignment, WTA)问题,是研究作战过程中武器的动态最优配置问题。在武器目标分配过程中,首先需要判断对某目标是否需要打击,如果确定对该目标进行打击,则需要进一步判断选择何种武器单元对该目标进行打击。在多武器、多目标的作战环境中,不同的武器——目标分配方案会产生不同的作战效果。以特种兵分队作战仿真为例,双方的作战武器可能包括手枪、步枪、手雷、狙击步枪、火箭发射筒、爆破器材等,不同的武器对不同的目标有各自的杀伤效果,作战方必须根据本方作战单元的能力及敌方目标的威胁态势确定较优的打击方案。而WTA问题研究的主要目的,就是针对多个威胁目标,作战方如

何分配现有的武器,从而最大限度地消除敌方威胁,尽可能减小己方所受威胁。WTA问题属于NP完全问题,随着武器和目标数目的增加,其解空间呈组合爆炸的趋势。因此,研究WTA问题,在可接受的时间里寻求比较好的武器目标分配方案,提高作战效能,是作战指挥和军事仿真中的一个重要的课题^[1]。

1 动态武器目标分配问题分析

文中主要研究的是直接对抗式WTA,是指在作战双方直接进行对抗的情况下,进行武器目标分配,双方的作战目的都是直接消灭对方^[2]。对WTA问题的研究集中在模型研究以及模型的算法研究两个方面^[3]。

其中,模型的研究主要集中在:

1) 模型的假设,由于作战环境的复杂性,武器与目标的交战方式也是很复杂的,因而如何对问题进行合理抽象,是建立准确模型,解决问题的关键;

2) 目标函数的选取,作战的目标是尽可能地减小敌方威胁,以敌方剩余目标威胁度最小作为目标函数

收稿日期:2009-04-02;修回日期:2009-07-03

基金项目:军队预研计划项目(编号:略)

作者简介:曹 雷(1965-),男,江苏南京人,教授,主要从事计算机仿真、指挥自动化方面的研究。

的准则;

3) 约束条件的选取, WTA 问题主要考虑武器与目标的数量、武器对目标的毁伤概率等, 约束条件的选取也决定着问题的复杂度;

4) 时间因素, 由于战场环境是动态变化的, 并且武器在射击中也存在着时间因素的限制, 因此时间因素对武器分配的影响也至关重要。

算法研究的主要内容有^[4]:

1) 传统算法。包括隐枚举法、分支定界法、动态规划、割平面法等;

2) 智能算法。主要包括模拟退火算法、神经网络、遗传算法等。

3) 混合算法。将以上两种以上的算法结合起来进行求解。

1.1 模型的假设

1) 各个目标随机到达作战智能体杀伤区;

2) 每件武器一次只能攻击一个目标;

3) 当有新目标到达侦查区域后, 只对空闲的武器进行分配;

4) 作战双方的损伤情况由系统根据双方攻击情况进行更改, 在每次分配武器时只对可以使用的武器和存活的目标进行分配^[5]。

1.2 建立二维 0-1 规划模型

设 n_w 为武器数量, n_e 为当前侦查到的敌方目标个数, A_{ij} 为第 i 个火力单位对第 j 个目标进行攻击的有利度 ($0 \leq A_{ij} \leq 1$), t_j 表示第 j 个目标对作战智能体的威胁 ($t_j \geq 0$), P_{ij} 表示作战智能体使用武器 i 向敌方目标 j 发起攻击的成功概率, 例: 攻击目标与作战智能体的距离大于作战智能体的攻击半径, 则 $P_{ij} = 0$; 若作战智能体携带的武器不能对目标造成有效伤害, 则 $P_{ij} = 0$; 除此之外 P_{ij} 与作战智能体作战能力、经验等有关, 是指挥员对智能体个体能力的综合评估。 x_{ij} 表示武器 i 是否向敌方目标 j 发起攻击:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{武器 } i \text{ 攻击目标 } j \\ 1 & \text{武器 } i \text{ 不攻击目标 } j \end{cases}$$

则单次静态 WTA 模型如下^[6]:

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^{n_w} \sum_{j=1}^{n_e} A_{ij} T_j P_{ij} x_{ij} \\ x_{ij} = 0, 1 \\ \sum_{j=1}^{n_e} x_{ij} \leq 1 \\ 1 \leq i \leq n_w \\ 1 \leq j \leq n_e \end{cases}$$

由以上模型可知, WTA 问题具有以下性质:

1) NP 完全性, 就是说在问题的规模较大的时候

求其最优解是不可能的;

2) 离散性, 即不能再对其进行细分;

3) 随机性, 交战活动不是预先可知的;

4) 非线性, 目标函数是非线性的, 以上性质表明, 在问题规模较大的时候求其最优值是不现实的, 只能求其满意解或者次优解。

这是一个具有上限约束的 0-1 整数规划问题, 0-1 型整数规划模型的解法一般为穷举法或隐枚举法。穷举法指的是对决策变量 x_1, x_2, \dots, x_n 的每一个 0 或 1 值, 均比较其目标函数值的大小, 以从中求出最优解。这种方法一般适用于决策变量个数 n 较小的情况, 当 n 较大时, 由于 n 个 0、1 的可能组合数为 2^n , 故此时即使用计算机进行穷举来求最优解, 也几乎是不可能的。隐枚举法是增加了过滤条件的一类穷举法, 该法虽能减少运算次数, 但有的问题并不适用。神经网络、禁忌搜索等智能算法面临的主要问题是结果的不可控, 不能保证有稳定的收敛解; 而单纯的动态目标规划在和实际应用相结合上还需要做大量的工作。因此, 针对 WTA 问题的实际, 文中提出了基于匈牙利算法的迭代规划方法来求解模型。

1.3 动态武器目标分配问题的迭代规划

在实际作战中, 在侦查时不断地发现新目标, 当发现新目标后就要对武器进行重新分配, 力图使攻击效能最大。因此, 可以对每一次侦查行为配属相应的规划。

- 1 侦查获取目标集。
- 2 检查可供规划的武器集。
- 3 对武器集和目标集建立二维 0-1 规划模型进行求解, 对目标分配武器进行攻击。
- 4 判断战斗是否结束:
若是: 算法结束;
否则, 执行 1。

在侦查到新的目标之后, 需要考虑以下两个问题:

(1) 武器集中还有哪些未参加分配的武器;

(2) 已参加分配的武器有哪些已经完成分配的任务, 可以重新参加分配;

(3) 目标的损毁程度及武器的作战效能变化情况。

1.4 基于分派问题的二维 0-1 规划模型求解

标准指派模型可描述为, n 个武器对 n 个目标进行攻击, 由于在实际作战中武器和目标数量一般不一致, 因此需要采取补差的方式将非标准的指派问题转化为标准的指派模型进行求解。转化方法如下^[7]:

当武器数量大于目标数量时, 可以采取增加威胁度为 0 的虚拟目标, 使武器数等于目标数, 分配完毕后再对分配给虚拟目标的武器进行分配;

当武器数量小于目标数量时,可以采取增加有利度为 0 的虚拟武器的方式,使武器数等于目标数,对分配为虚拟武器的目标不进行攻击,待有空闲武器时再进行攻击。

首先对目标函数进行转化^[8]:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ij} T_j P_{ij} x_{ij} \Leftrightarrow \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (-A_{ij} T_j P_{ij}) x_{ij}$$

令 $C_{ij} = -A_{ij} T_j P_{ij}$, 则

$$C = \begin{Bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & & & & & \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & c_{m4} & \cdots & c_{mn} \end{Bmatrix}$$

$$m = n_w, n = n_e$$

采用补差发补全规划矩阵:

$$C'_{k \times k} =$$

$$\begin{Bmatrix} c_{11} c_{12} c_{13} c_{14} \cdots c_{1n} c_{1(n+1)} \cdots c_{1k} \\ c_{21} c_{22} c_{23} c_{24} \cdots c_{2n} c_{2(n+1)} \cdots c_{2k} \\ \vdots \\ c_{m1} c_{m2} c_{m3} c_{m4} \cdots c_{mn} c_{m(n+1)} \cdots c_{mk} \\ c_{(m+1)1} c_{(m+1)2} c_{(m+1)3} c_{(m+1)4} \cdots c_{(m+1)n} c_{(m+1)(n+1)} \cdots c_{(m+1)k} \\ \vdots \\ c_{k1} c_{k2} c_{k3} c_{k4} \cdots c_{kn} c_{k(n+1)} \cdots c_{kk} \end{Bmatrix}$$

匈牙利算法求解静态 0-1 规划:

- 1 从规划矩阵的每行元素中减去该行的最小元素;
- 2 从规划矩阵的每列中减去该列的最小元素;
- 3 分步指派,对每一个 0 元素所在的行和列,如果在该行和该列中仅有一个 0 元素,则为一个合适的指派,指派之后从规划矩阵中去除该行和该列;

判断新形成的矩阵行列数:

若新形成的规划矩阵行列数大于 1,则转第一步;
否则指派完成。

2 案例分析

在一次城市遭遇战中,红军一支分队在与敌人接触时,通过侦查发现蓝军八个目标,分别是约 1500m 处坦克(T)一辆,邻近建筑物顶部约 1000m 处狙击手(J1)一名,街头拐角约 50m 处步兵两名(B1, B2),约 150m 外掩体处机枪手(Q)一名,步兵(B3, B4, B5)三名。红军现 6 人持有武器:步兵三人(B6, B7, B8)各持 81 式步枪一枝,一人 54 式手枪 1 支(S1),一人红旗反坦克导弹(FT)一部,一名狙击手持狙击步枪一只(J2);在攻击中又发现约 200m 处三名蓝军步兵。现对现有武器及目标进行分配,使得红军尽可能快地消除敌军尽可能多的威胁。

红军单位对目标的有效度如表 1 所示:

表 1 武器-目标有效度评估

	T	J1	B1	B2	Q	B3	B4	B5
B6	0	0.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
B7	0	0.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
B8	0	0.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
S1	0	0	0.8	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1
FT	0.9	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
J2	0.4	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7

蓝军单位对红军的威胁度如表 2 所示:

表 2 蓝军对红军的威胁度

	T	J1	B1	B2	Q	B3	B4	B5
威胁度	1	0.8	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.6

红军单位对目标的命中率如表 3 所示:

表 3 红军单位对目标的命中率

	T	J1	B1	B2	Q	B3	B4	B5
B6	0.8	0.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
B7	0.8	0.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
B8	0.8	0.1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7
S1	0	0	0.8	0.8	0	0.1	0.1	0.1
FT	0.9	0.6	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6
J2	1	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7

由以上数据补充虚拟武器 V1, V2 得出规划矩阵

为:

$$C' = \begin{Bmatrix} 0 & 0.008 & 0.567 & 0.567 & 0.512 & 0.432 & 0.432 & 0.432 \\ 0 & 0.008 & 0.567 & 0.567 & 0.512 & 0.486 & 0.486 & 0.486 \\ 0 & 0.008 & 0.567 & 0.567 & 0.512 & 0.378 & 0.378 & 0.378 \\ 0 & 0 & 0.448 & 0.448 & 0 & 0.006 & 0.006 & 0.006 \\ 0.81 & 0.048 & 0 & 0 & 0.048 & 0.036 & 0.036 & 0.036 \\ 0.4 & 0.512 & 0.175 & 0.175 & 0.392 & 0.294 & 0.294 & 0.294 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

利用匈牙利算法对该矩阵进行第一步规划求解得

指派矩阵:

0.567	0.559	0	0	0.055	0.135	0.135	0.135
0.567	0.559	0	0	0.055	0.081	0.081	0.081
0.567	0.559	0	0	0.055	0.189	0.189	0.189
0.448	0.448	0	0	0.448	0.442	0.442	0.442
0	0.762	0.81	0.81	0.762	0.774	0.774	0.774
0.112	0	0.337	0.337	0.12	0.218	0.218	0.218
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

由第一步规划得出指派:

FT——T

J2——J1

进行第二步规划得出指派矩阵:

0.567	0.559	0	0	0	0.08	0.08	0.08
0.567	0.559	0	0	0	0.026	0.026	0.026
0.567	0.559	0	0	0	0.134	0.134	0.134
0.448	0.448	0	0	0.006	0	0	0
0	0.762	0.81	0.81	0.762	0.774	0.774	0.774
0.112	0	0.337	0.337	0.12	0.218	0.218	0.218
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

由第二步规划得出指派:

B6——B1 S1——B3
B7——B2 V1——B4
B8——Q V2——B5

由以上指派可以得出在使用迭代指派得出的最优指派矩阵为:

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

规划目标函数 $\max \sum_{i=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_t} A_{ij} T_j P_{ij} x_{ij}$ 的最优值为 2.9740。

3 结束语

现代战争的技术性越来越强,对抗强度越来越大,为赢得战争的胜利,消灭敌方目标是一场战争不可获取的步骤,而武器目标分配又是其中非常重要的一环,最大限度地消灭敌方目标,减少己方的损失是武器目标分配的最终目的。因次, WTA 问题特别是大规模的动态 WTA 问题的研究具有重要的理论意义和实际应

用价值。文中建立的迭代规划模型克服了静态模型分配武器时间的限制,但是模型本身具有其特殊性,在反应整个作战过程方面还不够精细。因次,将来对 WTA 问题的研究应侧重于对动态模型和求解模型算法的研究,并且使模型和算法紧贴实际应用,只有这样才能解决大规模的武器目标的动态分配以及实时分配问题。

参考文献:

- [1] 陈英武,蔡怀平,邢立宁. 动态武器目标分配问题中策略优化的改进算法[J]. 系统工程理论与实践,2007,7(7):2-5.
- [2] 蔡怀平,陈英武. 武器—目标分配(WTA)问题研究进展[J]. 火力与指挥控制,2006,31(12):2-4.
- [3] Lloyd S P, H S W. Weapons Allocation is NP-Complete [C]//Proceedings of the 1986 Summer Conference on Simulation. Reno, Nevada: [s. n.], 1986.
- [4] Patrick A, Hosein M A. The Dynamic Weapon Target Assignment Problem[R]. Massachusetts: LIDS of MIT, 1989.
- [5] 迟 妍,邓宏钟,谭跃进. 作战智能体的攻击行为模型研究[J]. 系统工程与电子技术,2007,29(11):2-3.
- [6] 姜启源,谢金星,叶 俊. 数学模型[M]. 北京:高等教育出版社,2003:82-97.
- [7] 方必和,刘雪梅. 一类特殊二维 0-1 规划的广义指派模型求解[J]. 运筹与管理,2007,16(3):2-3.
- [8] 梁国业,廖键平. 数学建模[M]. 北京:冶金工业出版社,2004:194-200.

(上接第 122 页)

我国电能质量评估管理和操作人员的需求,具有运行稳定、伸缩性好、使用方便、界面友好、处理实时等特点,同时也易于二次开发。经测试运行效果良好,对提高电网的运行水平产生积极的作用。

但是,电能质量在线分析工作仍需要从数据采集、计算、处理分析等方面提高其速率,以达到更快、更稳的要求。同时对于一个区域电网而言,如何根据已有测量点的实测数据和已知非测量点的负荷特性,利用仿真技术构建一个“完整”的电能质量监测系统模型,也是有待于完善的领域之一。

参考文献:

- [1] Kaewarsa S, Attakitmongkol K, Kulworawanichpong T. Ecognition of power quality events by using multiwavelet-based neural networks[J]. Lectrical Power and Energy Systems, 2008,30:254-260.
- [2] 全国电压电流等级和频率标准技术委员会. 电压电流频率

和电能质量国家标准应用手册[M]. 北京:中国电力出版社,2001.

- [3] 和 巍,林 涛,崔一铂. 电能质量分析与控制策略综述[J]. 科技综述,2008,36(3):41-45.
- [4] 肖湘宁,徐永海. 电能质量问题剖析[J]. 电网技术,2001,25(3):66-69.
- [5] 汪秀丽. 浅论电能质量[J]. 水利电力科技,2006,32(2):17-28.
- [6] 徐遐龄,查晓明. 电能质量监测评估系统的研究[J]. 高电压技术,2008,34(1):158-162.
- [7] 杨 进,肖湘宁. 电能质量监测技术发展新趋势[J]. 电力自动化设备,2004,24(11):82-86.
- [8] 徐燕伟,杜树新. J2EE 构架下电能质量监控系统的设计与实现[J]. 电力信息化,2006,39(12):72-75.
- [9] Hannan M A, Mohamed A, Hussain A, et al. Power quality analysis of STATCOM using dynamic phasor modeling[J]. Electric Power Systems Research,2009,79:993-999.
- [10] 陶 顺,肖湘宁. 电能质量单项指标和综合指标评估的研究[J]. 华北电力大学学报,2008,35(2):25-29.