

doi: 10.7690/bgzdh.2014.04.008

基于目标的电子对抗行动规划

刘湘伟, 刘冰雁, 胡波, 郭建蓬

(电子工程学院软件测评中心, 合肥 230037)

摘要: 电子对抗行动规划是依据对抗目标和有限作战力量建立完成使命的最优行动序列, 通过对对抗主体的力量约束、电磁环境、行动和目标的定义, 结合人工智能领域规划问题的研究、军事领域以目标为中心的作战思想提出的电子对抗行动规划模型及行动序列优选方法。该模型结合 Markov 决策和 Bayesian 技术获得电子对抗最优行动序列, 对电子对抗基于目标设计最具适应性的行动序列做出了初步尝试。

关键词: 目标中心战; 电子对抗; 行动序列; Bayesian

中图分类号: TJ02 **文献标志码:** A

Action Planning of Electronic Countermeasure Based on Target

Liu Xiangwei, Liu Bingyan, Hu Bo, Guo Jianpeng

(Software Testing Center, Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: The action strategy of electronic countermeasure is the selection strategy for course of action (COA) according to countermeasure target and finite combat power to complete its missions. Put forwards an optimized method of electronic countermeasure action program model and COA through define power constraint, electromagnetic environment, action and target of subject of countermeasure, combine these studies of artificial intelligence fields program and the combat idea taking target as center in military fields. Using Markov decision-making and Bayesian technology obtained optimal COA. The study is a preliminary trial to adaptive COA based on target design in electronic countermeasure fields.

Keywords: target-centered operation plan; electronic countermeasure; course of actions; Bayesian

0 引言

现代战争是基于“陆、海、空、天、潜、电”的多面体全面战争^[1], 战场上的这种多点作战将使军队更加分散, 使战场呈现出一种动态不规则的非线性状态。目标中心战思想, 能事先在组织形式上联合各作战力量, 以作战目标为中心, 实现自主协同与融合, 集中有限的作战力量对关键目标施加影响, 从而达成压制、控制和摧毁敌方的目的^[2]。如何将有限的电子对抗力量聚合到某一特定层次的对抗目标上, 以目标为中心采取最佳行动序列是目前电子对抗战略与战术领域研究的热点。基于此, 笔者结合军事领域的军事行动过程(course of action, COA)选择和目标中心战思想, 采用 Markoff 和动态 Bayesian 网技术, 给出了基于目标的电子对抗行动规划方法, 构建在行动序列驱使下目标转移过程中伴随“行动-目标-效果”的 Bayesian 网动态演化模型, 并支持演化过程中对期望对抗效果的评估, 对电子对抗行动规划建立行动序列产生和优选模型。

1 基于目标作战

“目标中心战”是通过区分目标层次, 将有限

的作战能量聚合到某一特定层次的目标上, 促使系统“混沌”化, 削弱敌作战体系原有的“聚合力和一致性”。其思想实质是通过对关键目标施加影响, 解决主要矛盾, 实现打击强度上的增效^[2]。随着各种先进信息力量在作战领域的广泛应用, 目标信息的完整性和时效性都大为增强, 作战行动的基点不再是“时空转移”, 而变为“目标毁伤”^[3]。“目标中心战”这一作战思想也逐步成为军事战略与战术领域研究的热点。

基于目标的电子对抗行动是以目标为中心, 依据电子对抗目标的价值和有限的电子对抗力量约束建立完成使命的最佳行动序列。对抗行动由多个阶段的行动构成, 各阶段行动的产生受限于对抗主体在当前阶段的力量状态, 而行动是针对目标对战场态势的控制和改变, 对抗目标的确定即决定了可选的行动和聚合的对抗力量。对抗使命的完成即通过其行动实现目标向期望的对抗效果转移, 并通过目标效果来评判电子对抗行动。

2 基于目标的电子对抗行动规划

基于目标的电子对抗过程是對抗主体如何优化

收稿日期: 2014-01-17; 修回日期: 2014-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(KY09016); 军内 863 科研项目

作者简介: 刘湘伟(1962—), 男, 湖南人, 教授, 博士生导师, 从事信息对抗装备作战运用与运筹分析、电子战建模与仿真研究。

有限的力量，建立最佳行动序列，对敌方关键电子目标施加干扰、压制，解决主要矛盾，有效完成其复杂的使命任务。以目标中心战思想为指导，结合MDP、DTP解决规划问题的方法^[4]，笔者建立了目标压制效果及行动序列优选模型，以解决电子对抗中行动规划问题。电子对抗行动规划的基本思想包括以下3个步骤：

1) 根据对抗目标的威胁等级，对目标进行层次分解，并由对抗主体的作战力量及能力产生可获取的行动；

2) 根据有限的对抗力量和可控的行动，对敌方电子目标压制效果行动过程产生于对敌方电子目标压制效果转移过程的控制；

3) 根据不可控的环境因素、可控的作战力量因素与对敌方电子目标压制效果之间的联系，从可选行动过程中优选出最佳行动序列^[5]。

2.1 电子对抗行动描述

1) 电子对抗力量 Or 。电子对抗行动的产生受电子进攻力量的制约，其约束包括全局约束 $Or_g (Or_g \in Or)$ 和局部约束 $Or_l (Or_l \in Or)$ 。全局约束 Or_g 是在电子对抗执行的全过程对可获取的作战力量总量的限制，如受雷达、通信、光电等对抗装备的总量限制；而局部约束 Or_l 是在电子对抗执行过程中对某一阶段行动的瞬时约束^[6]，如前伸雷达干扰阶段，敌机飞行高度将制约我方兵力的展开。

2) 行动 a 。电子对抗行动的依据是对抗目标的威胁程度。行动，作为 COA 的基础，就是将对抗主体单个功能进行组合。

3) 行动序列 Π 。对抗主体通过控制电磁态势的改变达到对抗效果的行动称为行动序列，可表示为 $\Pi = \langle \Pi(t_0), \Pi(t_1), \dots, \Pi(t_e) \rangle$ ，其中 $t_i (0 \leq i \leq e)$ 为行动阶段， $\Pi(t_i)$ 为 t_i 阶段行动的序列， $F(\Pi)$ 为采取行动序列 Π 所需要的作战力量。

4) 战场电磁环境 S_{En} 。战场电磁环境是现代作战的重要领域，也是组织实施电子对抗的基本条件^[7]；关注战场电磁环境，所采取的电子对抗 COA 是为达到预期的对抗效果，而采取的对关键状态产生影响的电子对抗行动。作为基于目标决策的重要依据之一，这些关键状态就是敌我双方都有重要作战价值、被我方控制的电磁态势。电磁环境在 t_k 阶

段的状况 $S_{En}(t_k)$ 可以表示为 $S_{En}(t_k) = \langle Sct_1(t_k), Sct_2(t_k), \dots, Sct_n(t_k) \rangle$ ，式中 $Sct_1(t_k)$ 表示关键目标 h 在 t_k 时刻的状态。

5) 态势转移 T 。战场态势在有限的作战力量和目标的共同影响下发生转移，电子对抗即力图夺取和保持这种局部电磁权和信息优势。行动序列的产生依据是态势是否向着预期效果的转移。电子对抗效果朝着期望的态势转移的过程，称为吸引态^[8]。

6) 事件 ev 。不可控的外部环境因素称为事件，电子对抗的效果受事件的影响。可能发生的事件集记为 $EV = \{ev_1, ev_2, \dots, ev_w\}$ ， $w = |EV|$ 为战场事件的数量。

7) 目标效果 Ef 。电子对抗效果基于目标，效果是实现预期目标的执行效能，如一次电子防空中破坏敌空袭信息活动，瓦解敌信息化空袭作战体系的理想程度。记期望的目标效果 $Ef = \{ef_1, ef_2, \dots, ef_g\}$ 。

2.2 行动过程规划

目标的转移与分解是由对抗行动和战场态势共同决定的，有限的作战力量限制对抗行动，同时战场态势也随着行动力量的消耗而改变。因此，可认为对抗行动是满足对抗能力和力量、战场态势的约束条件下的演化。当满足主体作战力量和时间资源的约束时，主体可产生系列行动以达成压制目标的目的。定义集合 Φ 为可行的行动过程，则行动规划的数学描述如下：

$$\Phi = \left\{ \Pi \mid Tr(S_{En}(t_0), \Pi, S_{En}(t_e)) \right\} \\ \text{st} \begin{cases} S_{En}(t_e) \in A_{EN} \\ r(\Pi(t_k)) \leq Or_l, 0 \leq k \leq e \\ R(\Pi) \leq Or_g, D(\Pi) \leq D(Or) \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) 中 $Tr(S_{En}(t_0), \Pi, S_{En}(t_e))$ 表示在行动过程 Π 的执行下，电子对抗目标由 $S_{En}(t_0)$ 向 $S_{En}(t_e)$ 转移的过程， A_{EN} 为期望目标效果集，转移过程中行动序列 Π 所需对抗能力 $R(\Pi)$ 不超过全局作战力量约束 Or_g ，且在转移过程的任意阶段 t_k ，阶段行动 $\Pi(t_k)$ 的作战力量需求 $r(\Pi(t_k))$ 不超过组织资源的瞬时约束 Or_l 。

2.3 行动-目标-效果静态 Bayesian 模型

行动规划的目的是要达到最佳的对抗效果，而最佳对抗效果的取得由当前目标对应的态势和不可控因素的概率事件共同决定。因而，确定行动-目标-效果之间定性的因果关系将是行动规划效能评估优选的关键所在。

众所周知，电子对抗是一个复杂的领域，所涉及行动、目标的数量一般较大，影响效果的因素也很多，这就决定了确定这些变量之间定性关系的难度，但可引入“间接影响(Ωe)”将变量因素相互影响关系按类别来建立相应的联系。通过建立行动-目标-间接影响-效果的 Bayesian 网来建立行动-目标-效果的静态影响图，如图 1 所示，图结点集 $V = \{a, ev, \Omega e, ef\}$ ，这些元素分别描述了行动、目标、间接影响和效果，带箭头的边集 $E = \{(a, \Omega e), (ev, \Omega e), (ev, ef), (\Omega e, ef)\}$ 描述了这些变量元素之间的因果关系。记这一静态网为 $G = (V, E, P)$ (P 描述结点的概率函数，对任意结点 $v_i \in V$ ， $p(v_i)$ 表示这一结点的概率)。

依据 Bayesian 网结点概率传递计算方法^[8]，影响图中目标对抗效能 ef_i 的达到概率 $P\{ef_i\}$ 如下式：

$$P\{ef_i\} = \prod_{j=1}^{\psi(ef_i)} P(u, j(u)), ef_i \in E, u \in \psi(ef_i) \quad (2)$$

其中 $\psi(\cdot)$ 描述可能的父结点，式 (2) 是基于

Bayesian 网条件概率独立的准则，也就是对于某一结点的父结点来说，相对于其所有的祖先节点都是条件独立的。

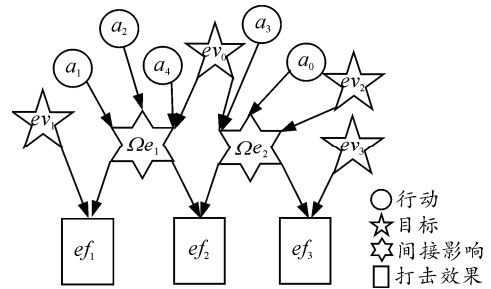


图 1 行动-目标-效果 Bayesian 网

由此，目标期望效能 E 获取的联合概率 $P\{E\}$ 可描述成下式：

$$P\{E\} = P\{ef_1, ef_2, \dots, ef_g\} = \prod_{i=1}^g P\{ef_i\} \quad (3)$$

2.4 基于目标及其效果演化的动态 Bayesian 模型

没有描述时间的自然机制是传统 Bayesian 理论^[8]的主要缺点，其具有不确定性的因果关系网会随着目标的转移、过程的演化而改变。因此，“行动-目标-效果”的影响图是动态变化的。为评估期望对抗效果受演化过程的影响，满足目标和作战力量约束转移，笔者建立动态 Bayesian 网，以描述“行动-目标-效果”在受行动序列驱使的目标转移过程中的 Bayesian 网的动态演化模型，如图 2。

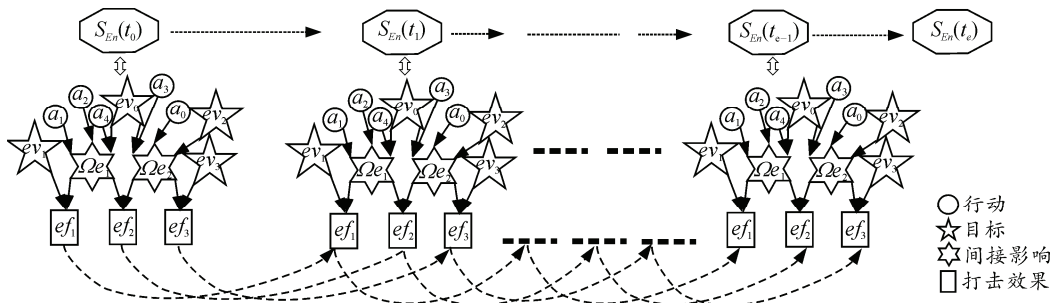


图 2 基于目标打击效果的战场空间态势演化

图 2 中虚线描绘了 Bayesian 网的部分结点(中间效果和效果)动态演化过程中的演化过程。静态 Bayesian 网中对抗目标确定了，则可选的电子对抗样式和聚合的作战力量也就确定了，把动态 Bayesian 网看作序列的静态 Bayesian 网，则这一时间段的静态影响^[9]由某一层面的对抗目标决定。

在图 2 所示的 Bayesian 网演化中，带箭头的虚

线关联了相邻阶段的“间接影响”和“目标干扰效果”，由此，对于作战目标转移过程的任意阶段 t_k ，其静态模型 $G'(t_k)$ 不同于图 1 所示的静态网 $G = (V, E, P)$ 。 $G'(t_k)$ ($k \neq 0$) 包含了前一阶段影响图 $G'(t_{k-1})$ 中的部分结点，只在初始阶段的 $G'(t_0)$ 为图 1 所定义的静态图 $G = (V, E, P)$ 。

因此， t_k 时间段的影响图 $G'(t_k)$ 可描述如下：

$$\begin{cases} G'(t_k) = (V_k, E_k, P_k) \\ V_k = \{a_k, ev_k, \Omega e_k, \Omega e_{k-1}, ef_{k-1}\} \\ E_k = \{(a_k, \Omega e_k), (ev_k, \Omega e_k), (ev_k, ef_k), (\Omega e_k, ef_k) \\ (\Omega e_k, ef_k), (\Omega e_{k-1}, \Omega e_k), (ef_{k-1}, ef_k)\} \end{cases} \quad (4)$$

行动与目标改变取决于当前战场态势与力量状态，同时当前战场态势和作战力量状态也约束着阶段目标的选择和行动的产生。

由此，行动序列 Π 的演化 $Tr(\Pi)$ 可表示为：

$$\begin{cases} S_{En}(t_{k+1}) = G_{En}(S_{En}(t_k), p(t_k), EV(t_k)) \\ Or(t_{k+1}) = G_{Or}(Or(t_k), p(t_k), EV(t_k)) \\ p(t_k) = y(S_{En}(t_k), Or(t_k)) \\ EV(t_k) = f(S_{En}(t_k), Or(t_k)) \end{cases} \quad (5)$$

式中 G_{En} 、 G_{Or} 分别表示在某一阶段的作战目标改变和作战力量约束。记行动序列 Π 演化 $Tr(\Pi)$ 的某一阶段 t_k 目标对抗效果达成的联合概率为 $P_k\{E\}$ ，则 t_k 阶段对期望效果的联合概率可表示如下：

$$P_k\{E\} = P_k\{ef_1, ef_2, \dots, ef_g\} = \prod_{i=1}^g P_k\{ef_i\} \quad (6)$$

式中 $P_k\{ef_i\}$ 表示在 t_k 阶段对目标对抗效果 ef_i 的获取概率。

2.5 基于目标的电子对抗行动序列优选

式 (1) 描述了电子对抗行动序列的产生，这一过程是在对抗目标的确定和作战力量的转移过程中产生系列可行的行动过程集合 Φ ，其可行表现在战场电磁环境演化过程的终止态是吸引态^[9]。式 (5) 对策略演化进行了描述，策略演化伴随作战目标、战场态势和作战力量的转移。式 (6) 定义了目标对抗效果的获取。

行动序列优选是以实现目标最佳对抗效果为目的，在可行的行动过程集合 Φ 中选取效果最优的行动序列的过程，并记最优的行动序列为 $\Pi^* = \langle \Pi'(t_0), \Pi'(t_1), \dots, \Pi'(t_e) \rangle$ 。假设最终目标对抗效果的评估指标为联合概率，则最优序列产生如下描述：

$$\begin{aligned} \Pi^* &= \arg \max_{\Pi \in \Phi} P_e \{E | Tr'(\Pi)\} = \\ &\arg \max_{\Pi \in \Phi} P_e \{ef_1, ef_2, \dots, ef_g | Tr'(\Pi)\} = \\ &\arg \max_{\Pi \in \Phi} \left(\prod_{i=1}^g p_e \{ef_i(t_e) | Tr'(\Pi)\} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

式 (7) 表示行动序列 Π 的演化 $Tr(\Pi)$ 对目标期望效果 E 获取的联合概率。最优行动序列 Π^* 的生成是在达到各层目标期望效果的前提下，获得各期望效果的联合概率最大。

3 总结

基于目标的战场态势演化及行动序列优选是一次军事和技术的结合，军事上体现了目标中心战思想，技术上是利用人工智能来解决行动规划问题。对抗目标层次的分解、作战力量的约束、“行动-目标-效果”的影响图以及战场态势演化对最佳对抗效果的搜索求解决定了电磁空间态势演化及行动序列优选方法成功与否。下一步研究的重点是解决基于目标的电子对抗行动规划这一途径的案例分析以及求解过程。

参考文献：

- [1] 王德鑫. 以网络为中心的联合作战计划描述与生成系统研究[D]. 国防科学技术大学研究生院, 2006.
- [2] 周阳升, 王明明. “目标中心战”路径何在[N]. 解放军报, 2013-01-10.
- [3] 毕学军, 张扬, 刘海宁, 等. 电子对抗仿真想定编辑的协同技术[J]. 兵工自动化, 2012, 31(8): 1-4.
- [4] Dean T, Kaelbling L P, Kirman J, et al. Planning with Deadlines in Stochastic Domains[C]//AAAI-93. Washington, D. C, 1993.
- [5] 张欢, 朱善安. 基于 MVC 架构的电工电子网络实验室的 B/S 实现[J]. 机电工程, 2013, 30(9): 1159-1163.
- [6] 彭小宏, 阳东升, 武云鹏, 等. 基于 EAP-GA 的联合作战行动计划[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(2): 1-4.
- [7] 郭忠伟, 张贺, 胡汪洋, 等. 一种战场电磁环境计算方法[J]. 兵工自动化, 2011, 30(6): 43-45.
- [8] Heckerman D. Causal Independence for Probability Assessment Using Bayesian Networks[J]. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, Part A (Systems & Humans), 1994, 26(6): 102-106.
- [9] 刘忠, 张维明. 作战计划系统技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 58-60.