

doi: 10.7690/bgzd.2022.11.010

基于多源情报的陆军远程火力毁伤效果评估

王 凯, 陈 春

(1. 陆军炮兵防空兵学院研究生大队, 合肥 230031; 2. 陆军炮兵防空兵学院机械工程系, 合肥 230031)

摘要: 为提高火力毁伤评估准确性, 构建一种陆军远程火力毁伤效果评估模型。在分析目标毁伤情报源和构建毁伤判据准则的基础上, 以贝叶斯网络 (Bayesian network) 为理论基础, 利用最大似然估计法 (maximum likelihood estimate, MLE) 和专家修正法确定模型的网络参数, 求解毁伤等级评估公式, 并结合实际数据证明模型的适用性。结果表明: 该模型能够准确评估陆军远程火力对打击目标造成的毁伤等级, 为精准评估陆军远程火力毁伤效果提供支撑。

关键词: 毁伤评估; 火力毁伤评估; 贝叶斯网络; 陆军远程火力; 多源情报

中图分类号: TJ01 **文献标志码:** A

Assessment of Army Long-range Firepower Damage Effectiveness Based on Multi-source Intelligence

Wang Kai, Chen Chun

(1. Brigade of Graduate, PLA Army Academy of Artillery and Air Defense, Hefei 230031, China;

2. Department of Mechanical Engineering, PLA Army Academy of
Artillery and Air Defense, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of firepower damage assessment, an army long-range firepower damage effectiveness assessment model was established. Based on the analysis of target damage information sources and the construction of damage criterion, the Bayesian network is taken as the theoretical basis, and the maximum likelihood estimate (MLE) and expert correction method are used to determine the network parameters of the model, and the damage level evaluation formula is solved, and the applicability of the model is proved by actual data. The results show that the model can accurately evaluate the damage level of the army's long-range firepower to the target, and provide support for accurate evaluation of the army's long-range firepower damage effectiveness.

Keywords: damage assessment; firepower damage assessment; Bayesian network; army long-range firepower; multi-source intelligence

0 引言

毁伤评估是作战行动“侦、控、打、评、保”中的重要一环, 是陆军精准运用远程火力达成最大作战效益的重要支撑。由于对毁伤定量的描述不够充分, 毁伤评估一直是制约陆军精准运用远程火力的难题。目前, 对目标毁伤的评估方法有基于炸点坐标^[1]、基于图像^[2]、基于信号变化等方法, 但这些评估方法对目标毁伤情报要求高, 且评估目标毁伤的维度单一, 评估结果与实际毁伤情况仍有一定偏差。联合作战条件下, 陆军远程火力得到了更多毁伤情报信息支撑^[3], 在此基础上采用贝叶斯网络理论的评估方法, 从多个维度评判目标毁伤情况, 为实现精准毁伤评估提供了重要保障。

1 战场目标毁伤情报源分析

陆军远程火力是陆军作战达成“机动作战、立

体攻防”战略的重要支撑, 是陆军火力融入一体化联合火力打击体系的重要一环, 是陆军应对威胁挑战的重要武器。火力毁伤评估的准确性很大程度上受制于目标毁伤情报的全面性。当前, 随着陆军使命任务的拓展, 陆军远程打击装备的射程不断增加, 其依托自身侦察情报力量难以支撑毁伤评估所需的毁伤信息需求。联合作战条件下, 陆军远程火力通常融入联合侦察情报体系, 打通与其他军兵种的情报共享链路, 利用其他军兵种支援的目标毁伤情报, 判断目标毁伤情况。

如图 1 所示, 对陆军远程火力毁伤效果的评估, 通常引接军事航天部队卫星侦察、无人机临空侦察、技术侦察基地、空情中心、海情中心以及特战小队抵近侦察等获取的目标毁伤情报, 综合利用上述多源情报对目标进行综合毁伤判断。

收稿日期: 2022-07-04; 修回日期: 2022-08-03

作者简介: 王 凯(1996—), 男, 山东人, 硕士, 从事军事指挥研究。E-mail: 1186296978@qq.com。

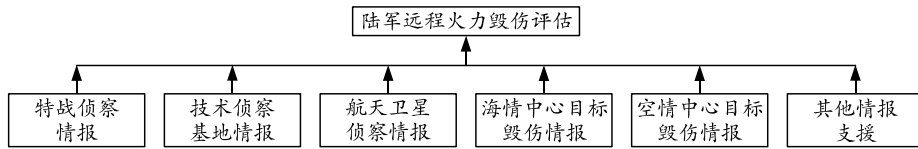


图 1 战场目标毁伤情报源

对于获得的目标毁伤情报信息可分为 3 类：1) 基于炸点的毁伤情报，包括无人机、雷达等获取的弹丸炸点坐标，以此计算目标毁伤情况；2) 基于图像的毁伤情报，主要包括卫星、无人机拍摄的目标毁伤前后照片，根据检测照片变化计算毁伤情况；3) 基于信号的目标毁伤情报，主要包括技侦基地、技侦卫星等，通过探测目标毁伤前后信号的变化，计算毁伤情况。

2 毁伤效果评估准则的构建

2.1 确定毁伤因素

目标一般有多个方面的功能支撑，决定了对目标毁伤的描述有多个不同的维度。目标不同功能的

损伤对目标整体毁伤的影响是不同的，要达成目标毁伤评估的精准性，必须确定毁伤因素^[4]。毁伤因素的划分一般依靠专家确定，通常划分为“物理毁伤、功能毁伤、体系毁伤”3 个层级。

2.2 划分毁伤等级

对陆军远程火力毁伤效果评估可以获得多源的目标毁伤情报支撑，但获取相应的目标毁伤信息还不能确定目标的具体毁伤程度。为使判定的目标毁伤程度与目标实际的火力毁伤效果尽可能接近，根据目标毁伤信息的详细程度来制定对应的火力毁伤程度等级^[2]。根据专家经验，对目标的毁伤等级通常按 5 级划分，如表 1 所示。

表 1 毁伤等级划分

毁伤等级	零毁伤	轻度毁伤	中度毁伤	重度毁伤	歼灭或摧毁
概率	0~0.06 (平均 0.03)	0.06~0.24 (平均 0.15)	0.24~0.42 (平均 0.33)	0.42~0.60 (平均 0.51)	0.6 以上 (平均 0.8)

2.3 明确毁伤权重

不同毁伤因素对目标毁伤的影响是不同的，为科学、客观地反映毁伤因素对目标毁伤情况的影响，必须充分分析各因素对目标毁伤的影响，合理确定毁伤权重。毁伤权重确定的方法一般运用专家德尔菲法或基于实验数据的统计分析法。

3 陆军远火力毁伤效果评估模型

3.1 贝叶斯网络概述

贝叶斯网络是目前不确定知识表达和推理领域最有效的理论模型之一，非常适用于运用不确定信息进行毁伤评估问题研究。贝叶斯网络是一个由代表节点及连接节点有向线段组成的有向无环图，节点代表随机变量，节点间的有向线段代表节点间的相互关系。贝叶斯网由网络拓扑结构 S (代表变量的结点及连接这些结点的有向弧线) 和局部概率分布 (每个变量结点的条件概率表) 组成^[5-7]。

1) 随机变量 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，贝叶斯网中的 n 个结点与每个随机变量 X_i 一一对应。从 X_j 指向 X_i 的有向弧线，则称 X_j 为 X_i 的父结点，用 $P(X_i|X_j)$ 表示联结强度，用 $P_a(X_i)$ 表示 S 中 X_i 的父结点集合。

2) 在贝叶斯网中，结点只依赖于它的父结点

集，每个结点还关联一个概率表。如果结点 X_i 没有父结点，则表中只包含先验概率 $P(X_i)$ ；如果结点 X_i 只有一个父结点 X_j ，则表中包含条件概率 $P(X_i|X_j)$ ；如果结点 X_i 有多个父结点 $P_a(X_i)$ ，则表中包含条件概率 $P(X_i|P_a(X_i))$ 。于是 X 的联合概率分布为：

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | P_a(X_i)) \quad (1)$$

3.2 评估模型的拓扑结构

在分析毁伤信息源的基础上，建立毁伤评估的贝叶斯网络拓扑结构如图 2 所示^[8-9]。其中： X_i 为对不同的毁伤信息源获取的目标毁伤信息依据毁伤判据库评定的毁伤等级； Y_k 为通过信息融合确定的目标毁伤等级状态。

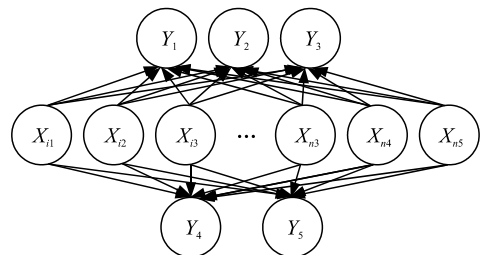


图 2 基于多源情报的毁伤评估网络拓扑结构

父节点 Y 为目标毁伤等级： Y_1 为零毁伤； Y_2 为轻度毁伤； Y_3 为中度毁伤； Y_4 为重度毁伤； Y_5 为摧

毁或歼灭。

子节点 X 为依据各毁伤情报源评定的毁伤等级： X_{i1} 为零毁伤； X_{i2} 为轻度毁伤； X_{i3} 为中度毁伤； X_{i4} 为重度毁伤； X_{i5} 为摧毁或歼灭。

3.3 评估模型的网络参数

贝叶斯网络参数可以通过专家经验、实验统计或机器学习的方法获取。专家判断受主观因素影响很大，实验统计数据可能存在错误情况，都会对参数的准确性产生影响。由于有完整的实验数据，采用最大似然估计法 (MLE) 参数学习和专家修正相结合的方法，确保参数的准确性^[10]。

运用 MLE 推算出计算给定结构的条件概率为：

$$\hat{\theta}_{x_i}^k = \left[N(x_i^k, \pi_{x_i}^j) \right] / \left[N(\pi_{x_i}^j) \right] \quad (2)$$

3.4 贝叶斯分类器设计

设陆军远程火力毁伤评估系统有 m 个状态 $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ ，通过多源毁伤情报获取到 n 个特征 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，根据贝叶斯理论，特征 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 属于状态 Y_k 的概率为：

$$R = E \left\{ L(\hat{Y}_k(X_i), Y_k) \right\} = \int P(X_i) \int P(Y_k | X_i) L(\hat{Y}_k(X_i), Y_k) dY_k dX_i \quad (5)$$

式中： $P(X_i)$ 为特征信息的分布概率； $P(Y_k | X_i)$ 为状态的后验概率。

根据最小风险估计准则，使

$$\frac{\partial R}{\partial Y_k} \Big|_{Y_k = \hat{Y}_k(X_i)} = 0 \quad (6)$$

建立单个信息特征的最大后验概率最优估计值为：

$$\hat{Y}(X_i) = \max_{Y_k} P(Y_k | X_i) \quad (7)$$

多个特征信息最大后验概率最优估计值的算法与单个特征信息是一致的；因此， n 个特征信息最大后验概率最优估计值为：

$$\hat{Y}(X_1, X_2, \dots, X_n) = \max_{Y_k} P(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (8)$$

将式(4)代入式(8)可得：

$$\hat{Y}(X_1, X_2, \dots, X_n) = \max_{Y_k} \frac{\prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, Y_k) P(Y_k)}{P(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (9)$$

假设特征属性之间条件独立，每个特征与状态 Y_k 相关联，则上式可表示为：

$$\hat{Y}_{opt}(X_1, X_2, \dots, X_n) = \max_{Y_k} \frac{\prod_{i=1}^n P(X_i | Y_k) P(Y_k)}{P(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (10)$$

$$P(Y_k | X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{P(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_k)}{P(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (3)$$

结合式(1)、(3)可表示为：

$$P(Y_k | X_1, X_2, \dots, X_n) = \frac{\prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, Y_k) P(Y_k)}{P(X_1, X_2, \dots, X_n)} \quad (4)$$

以贝叶斯最大后验概率为准则，对给定的 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ，贝叶斯分类器选择使后验概率 $P(Y_k | X_1, X_2, \dots, X_n)$ 最大的类 Y_k 为 X 的类标签。贝叶斯分类器的关键是如何计算 $P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, Y_k)$ ，各类贝叶斯分类器的区别就是它们求取 $P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}, Y_k)$ 值的方式不同。

3.5 毁伤效果评估的求解

通过不同毁伤信息源获取的目标毁伤等级特征信息，采用贝叶斯参数估计算法进行信息融合。

设其特征信息为 X_i ，状态 Y_k 的估计值为 $\hat{Y}_k(X_i)$ ，并定义 $L(\hat{Y}_k(X_i), Y_k)$ 为损失函数。根据贝叶斯估计其风险表达式为：

式(10)为基于多源毁伤情报的目标毁伤评估推理结果。通过式(10)计算出最大后验概率估计值，相对应的状态即为陆军远程火力对目标的毁伤等级。

4 实验论证及结论

4.1 实验论证

在实验中以陆军某炮兵旅实弹射击演练采集的 8 类典型目标 100 余个目标毁伤数据为样本，用笔者的贝叶斯网络火力毁伤评估模型得到毁伤评估结果，与陆军某实验训练基地火力毁伤评估专家利用毁伤构建计算和专家经验综合给出的目标毁伤评估等级相比较，两者对同一目标的毁伤评定完全一致。笔者抽取样本中 3 个目标，结果如表 2、3 所示。

表 2 专家给定目标综合毁伤结果

目标	M_1	M_2	M_3
专家综合结论	中度毁伤	重度毁伤	摧毁

表 3 模型计算结果

目标	毁伤等级				
	零毁伤	轻度毁伤	中度毁伤	重度毁伤	摧毁(歼灭)
M_1	0.05	0.12	0.49	0.23	0.11
M_2	0.03	0.08	0.27	0.53	0.09
M_3	0.01	0.04	0.17	0.32	0.46