

基于无人机人工智能算法的炮兵火力控制

韩宇辰, 王雨桐*

吉林大学数学学院, 长春 130012, 吉林, 中国

摘要: 本文提出了一套基于人工智能 (AI) 算法、利用无人机 (UAV) 实现的炮兵火力遥控综合系统。所研制的炮兵火力控制综合系统包含若干传感模块, 分别用于环境评估、信息采集与处理、规划与决策, 以及为炮兵营、师或旅指挥员生成指令。该系统的主要优势在于: 以对战场地态势、敌方武器类型及其重要度类别的快速评估和对敌方军事目标距离的判定为基础, 无需人工干预即可作出最为迅速的决策。本文还提出了一种使压制敌军所需炮兵火力强度最小化的算法。

关键词: 人工智能; 炮兵火力; 火力强度; 模型; 无人机

Artillery Fire Control Based on Artificial Intelligence Algorithm of Unmanned Aerial Vehicle

YuChen Han, YuTong Wang*

School of Mathematics, Jilin University, Changchun 130012, Jilin, China

Abstract: The article presents the developed artillery fire remote control complex using unmanned aerial vehicles (UAVs) based on an artificial intelligence (AI) algorithm. The developed complex for artillery fire control includes sensor modules for assessing the environment, collecting and processing information, planning and decision-making, and developing a command for the commander of an artillery battalion, division, or brigade. The main advantage of the developed artillery fire control system using UAVs based on an AI algorithm is the most rapid decision-making without human intervention, based on a quick assessment of the environment, the type of enemy weapons, and their category of importance, and an assessment of the distance to the enemy's military arms. An algorithm is proposed to minimize the power of artillery fire to suppress the enemy.

Keywords: Artificial intelligence; Artillery fire; Firepower; Model; UAV

一、引言

近年来, 为提高炮兵火力的效率, 自动化控制系统的应用日益广泛[1-5]。与此同时, 人工智能 (AI) 在火力控制系统中的运用尤为重要。众所周知, 21 世纪以来 AI 已经深刻改变了交战国之间的军事态势。例如文献[6-12]即对 AI 在现代战争中的影响作出了评估。

与已有方法不同, 把 AI 技术用于炮兵火力控制系统的自动化, 可以根据单位正面宽度所需的比火力强度以及前线战术层面不断变化的态势, 合理运用不同口径的炮兵武器。考虑到态势的可变性, 采用装备基于 AI 的比例—积分—微分 (PID) 控制器的无人机 (UAV), 即可实现对炮兵毁伤威力的合理控制。遗憾的是, 该主题下的多数科研成果并不对广大研究者公开; 仅凭公开文献中有限的信息, 只能推测现有炮兵火力控制系统的大致面貌。

近期冲突中无人机对火力的运用富有创新性与动态性, 纳卡地区与乌克兰的战事即为例证。文献[1]指出, 由巡飞无人机实施的远程精确打击, 以及在校射无人机引导下使用的炮兵弹药, 都非常有效; 把各类火力资源、无人机、武器定位雷达、电子战系统与火力控制系统进行自动化、网络化的一体整合, 已被证明具有极高的杀伤效能。

文献[1-5]基于世界各国武装力量的实践经验, 分析了无人机作为炮兵前进观察员的应用, 并建议把无人机引入炮兵火力支援体系, 以提升克罗地亚武装力量炮兵武器的作战能力。对小型无人机的分析表明, Orbiter 3B 系统 (机体质量 30 kg, 续航时间 7 h, 最大速度 93 km/h) 非常适合执行战术侦察, 并为中近程炮兵提供支援。

文献[4]指出, 炮兵瞄准控制技术正在快速发展, 目前的火力控制模式已完全实现自动化。该文分析了瞄准控制模式的相关技术发展, 提出了炮兵武器装备瞄准控制的 AI 发展模式, 并讨论了 AI 炮兵与计算机自动控制在信号感知、控制策略与驱动执行三个层面上的特点与差异。

阿塞拜疆武装力量已具备充分条件去发掘并优化发挥无人机的潜力: 一条自动化、网络化的传感器—射手链路已把情报、监视与侦察体系同目标打击单元连为一体; 无人机控制系统中也已具备统一的地理信息系统 (GIS) 与统一的通信协议。

本文提出一套利用具备 AI 能力的无人机实现炮兵火力遥控的综合系统。该无人化机器人炮兵火力控制系统包含若干传感模块, 分别用于环境评估、数据采集与处理、规划与决策, 以及为炮兵连、营、师或旅指挥员生成指令。本文还阐述了所提出的、用于最小化压制敌军所需火力强度的方法。

二、所提算法: 炮兵火力控制自动化综合系统

现有炮兵系统火力控制方法的主要缺陷在于: 既没有考虑前沿部队火力强度的控制问题, 也没有考虑战斗态势的可变性——敌方兵力的机动、敌方军事装备的毁伤、敌方生力军的补充。与已有方法不同, 把 AI 用于炮兵火力控制自动化系统, 可以根据单位正面宽度所需的比火力强度以及前线战术态势的变化, 合理运用不同口径的炮兵武器。据此, 采用装备 AI PID 控制器的无人机即可实现对炮兵毁伤威力的合理控制。

图 1 给出了利用无人机实现智能炮兵火力控制的 PID 控制器架构。该智能系统管理控制器的主要组成部分如下:

——传感模块 1: 负责采集环境参数 (态势) 以及所研究现象的信息, 这些信息可能影响特定的系统或过程;

——模块 2: 包含输入数据处理与整合、传感器数据综合、逻辑推理与解释、态势识别、障碍识别与威胁评估等功能块;

——模块 3: 包含作战评估、行动的规划与修正 (例如无人机飞行模式)、任务方案制定、例外处理与状态监控等功能块;

——模块 4: 包含面向监视相机、自动驾驶仪及其他自主控制器的指令生成功能块。

武器类别的重要度按其用途及在军事行动中所起的作用划分为不同的 K 类。图 2 给出了基于 AI 的无人

机炮兵火力控制示意图, 下面简要说明这一控制的原理。

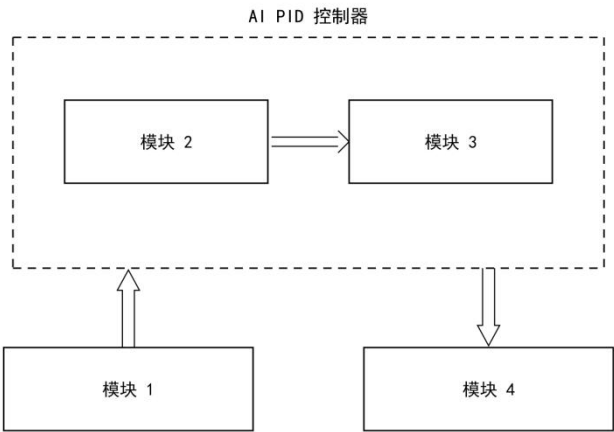


Figure 1 Architecture of AI PID Controller for Artillery Fire

图 1 用于炮兵火力的 AI PID 控制器架构

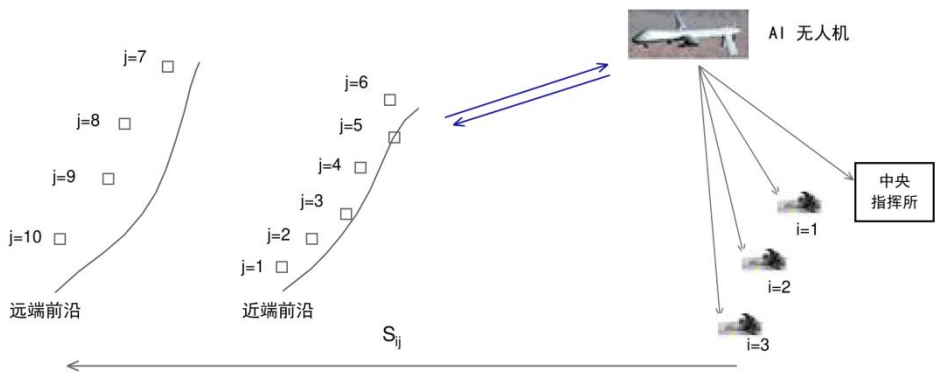


Figure 2 A Diagram of Artillery Fire Control Using AI UAVs

图 2 采用 AI 无人机的炮兵火力控制示意图

无人机结合日常地面侦察的数据, 对前沿近区与远区实施侦察。约定敌方“近”前沿为 $S_{ij} = 2 \sim 5 \text{ km}$, “远”前沿为距“我”方炮兵连 (师、旅) $S_{ij} = 15 \sim 20 \text{ km}$ 。无人机识别敌方武器的类型, 并确定其重要度类别 K_i 。

根据作战类型 (进攻或防御) 的不同, 专家对归属于这些 K 类的武器装备的重要度会给出不同程度的评估 (表 1)。表 1 中针对不同类别武器装备给出的 K_i 值具有相对性质; 随专家意见与资料来源的不同, 它们之间的相互比值可以取不同的数值。

武器的重要度 K_i 值越高, 就越应当优先将其摧毁。这一原则已嵌入所研制综合系统的控制程序之中。无人机测定“我”方每一处火炮 (迫击炮) 阵地 ($i = 1, 2, 3, \dots$) 到敌方“近”前沿 ($j = 1, 2, \dots, 6, \dots$) 与“远”前沿 ($j = 7, 8, \dots, 10, \dots$) 上每一个军事目标 (火炮阵地、迫击炮) 的距离 S_{ij} 。无人机依据 K_i 与 S_{ij} 的取值形成决策建议, 并将其发送至中央指挥所的连 (师、旅) 指挥员以及各炮兵分队指挥员。

Table 1 The Importance of Weapons

表 1 武器的重要度

类别 K	武器装备	重要度 K_i (进攻)	重要度 K_i (防御)
I	轻武器	3.3	3.7
II	坦克	100	94
III	步兵战车	69	71
IV	装甲输送车	36	30
V	反坦克武器	55	73
VI	火炮	92	95
VII	多管火箭炮	95	99
VIII	迫击炮	48	55
IX	直升机	89	109
X	防空装备	44	56

三、结果与讨论

采用具备 AI 的无人机运行的无人化炮兵火力控制系统, 其主要优势在于: 以对环境 (态势)、敌方武器类型及其重要度类别以及至敌方军事设施距离的灵活评估为基础, 能够在排除人为因素的条件下尽可能快地作出决策。由炮兵火力控制自动化问题的分析可见[1-5], 战术层面现有及未来自动化控制系统的研制, 几乎总是在炮兵系统数量受限的条件下进行的。因此, 作为炮兵连 (旅、师) 指挥员自动化工作站最优综合问题的第一个目标函数, 本文建议采用其各组成部分的总火力强度 P_0 。

该优化问题建议用如下目标函数求解:

$$P_0 = \sum_{i=1}^{n_1} P_1 \cdot x_{1i} + \sum_{i=1}^{n_2} P_2 \cdot x_{2i} + \cdots + \sum_{i=1}^{n_m} P_m \cdot x_{mi} \rightarrow \min \quad (1)$$

式中, P_1 与 n_1 为口径 1 的火炮装备 (加农炮、迫击炮、多管火箭炮) 的火力强度与数量 (表 1); P_2 与 n_2 为口径 2 的火炮装备的火力强度与数量; P_m 与 n_m 为口径 m 的火炮装备的火力强度与数量; x_{mi} 用于确定具体组成部分的选取。

此外, 为了合理运用“我”方炮兵系统的火力强度, 还可以采用动态威力法、。

设 m 为发射装置的数目 ($j = 1, 2, \dots, m$), k 为目标的数目 ($i = 1, 2, \dots, k$)。以 p_{ji} 记第 j 件武器摧毁第 i 个目标的概率, 这些数值列于表 2 中对应目标编号的第一列。以 p_{i0} 记击中各目标的满意概率 ($i = 1, 2, \dots, k$)。 C_i ($i = 1, \dots, m$) 为一发炮弹的成本。依据重要程度的不同, 这些概率写在表 2 的最后一行。

为摧毁目标, 需要把目标在各发射装置之间进行分配。以 x_{ji} 记第 j 件装置命中第 i 个目标所需消耗的弹药数 (见表 2 中对应编号目标的第 2 列); 以 C_j 记第 j 名射手所用弹药的成本, 以 N_j 记其可支配的该种弹药数量 (见表 2 的第 2 列与第 3 列)。

问题的提法。需要在满足下列条件时求出 x_{ij} 的取值:

- 1) 目标必须以给定的概率被摧毁;
- 2) 各炮兵分队消耗的弹药数不得超过其可用弹药数;
- 3) 所消耗弹药的总成本应为最小。

Table 2 Data of task
表 2 任务数据

发射装 置	炮弹成 本	炮弹最大 数量	目标 №1		目标 №2		...	目标 № _i		...	目标 № _k	
№1	C_1	N_1	p_{11}	x_{11}	p_{12}	x_{12}	...	p_{1i}	x_{1i}	...	p_{1k}	x_{1k}
№2	C_2	N_2	p_{21}	x_{21}	p_{22}	x_{22}	...	p_{2i}	x_{2i}	...	p_{2k}	x_{2k}
№3	C_3	N_3	p_{31}	x_{31}	p_{32}	x_{32}	...	p_{3i}	x_{3i}	...	p_{3k}	x_{3k}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
№ _j	C_j	N_j	p_{j1}	x_{j1}	p_{j2}	x_{j2}	...	p_{ji}	x_{ji}	...	p_{jk}	x_{jk}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
№ _m	C_m	N_m	p_{m1}	x_{m1}	p_{m2}	x_{m2}	...	p_{mi}	x_{mi}	...	p_{mk}	x_{mk}
			p_1^0	x_1	p_2^0	x_2		p_l^0	x_i		p_k^0	x_k

下面建立该问题的数学模型。把射向第 i 个目标的炮弹依次编号为 $s = 1, 2, \dots, x_i$, 其中 $x_i = \sum_{j=1}^m x_{ji}$ 。以 p_s 记第 s 发炮弹摧毁目标的概率, 显然 $p_s \in \{p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{mi}\}$ 。据此可写出计算 s 次射击后目标被摧毁概率 $P_{s,i}$ 的算法: 当 $s = 1$ 时 $P_{1,i} = p_{1i}$, 记 $Q_1 = 1 - p_1$; 则对任意 $s = 2, \dots, x_i$ 有 $P_{s,i} = P_{s-1,i} + Q_{s-1,i} \cdot p_s$, $Q_{s,i} = Q_{s-1,i}(1 - p_2)$ 。

于是, 问题的条件 1 可表示为:

$$P_{s,i} \geq p_i^0, \quad i = 1, 2, \dots, k \tag{2}$$

各炮兵分队所消耗的炮弹数不超过其可支配炮弹数这一条件, 可表示为:

$$\sum_{i=1}^k x_{ji} \leq N_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{3}$$

由问题的提法可知, 数 x 为非负整数:

$$x_{ji} \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, k \tag{4}$$

所消耗弹药总成本为最小这一要求, 可表示为:

$$\mathfrak{F}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{mk}) = \sum_{j=1}^m (C_j \sum_{i=1}^k x_{ji}) \rightarrow \min \tag{5}$$

需要求出满足条件 (2) ~ (4)、并使泛函 $\mathfrak{F}(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{mk})$ 取最小值的整数 x_{ji} 。

考虑到与无人化炮兵火力控制综合系统技术状态相关问题的现实意义, 还可以提出另一个选择自动化综合系统技术装备构成的准则——可靠性指标, 即设备的平均无故障时间。考察自动化综合系统中最薄弱的环节, 为提高其可靠性, 该准则可写为:

$$T = \min\{t_1, t_2 \dots t_k\} \rightarrow \max \tag{6}$$

四、结论

综上, 本文提出了一套利用具备 AI 的无人机研制的无人化炮兵火力遥控综合系统。所研制的无人系统包含若干传感模块, 分别用于环境评估、数据采集与处理、规划与决策, 以及为炮兵连、营、师或旅指挥员准备指令。为求解炮兵连指挥员自动化工作站的最优综合问题, 本文建议以其各组成部分的总火力强度作为目标函数; 并提出了一个数学模型, 用于在利用无人机摧毁敌方目标时最优地使用火炮阵地与弹药。

参考文献

[1] 张友军. 船舶动力系统减振降噪技术. 船舶工程, 2020, 44(03): 1-7.

-
- [2] 杨孟飞. 星载计算机容错设计技术. 中国空间科学技术, 2022, 42(02): 1-8.
- [3] Krasilnikov V N, Kozar A N, Moiseev V S, et al. Portable automated fire control systems for tactical artillery. Kazan: Fatherland, 2009.
- [4] Markov D, Kolev A, Ivanova V. An enhanced solution for automated fire control systems. Information & Security, 2022, 53(1): 59-101.
- [5] 王树国. 机器人关节驱动器高精度控制. 机器人, 2023, 44(02): 1-8.
- [6] 郝吉明. 工业烟气多污染物协同治理. 中国环境科学, 2022, 42(04): 1501-1508.
- [7] 陈发虎. 高寒冻土路基稳定控制技术. 冰川冻土, 2022, 44(02): 478-486.
- [8] 吴一戎. 合成孔径雷达成像优化算法. 雷达学报, 2022, 11(02): 201-212.
- [9] 黄维和. 天然气管网动态调度优化. 油气储运, 2024, 41(04): 361-368.
- [10] 叶列平. 再生混凝土高性能化改性技术. 建筑材料学报, 2022, 25(02): 305-314.
- [11] Bartulović V, Trzun Z, Hoić M. Use of unmanned aerial vehicles in support of artillery operations. Strategos, 2023, 7(1): 71-92.
- [12] Pandey B D. Integrating drones for long range precision fires and time sensitive targeting: an Indian perspective. Synergy, 2023, 2(2): 170-185.