

結合預測方法與模式模擬於防空作戰戰術之探討

賀增原*¹ 蘇木春** 謝沛學* 林威任**

*國防安全研究院 網路安全與決策推演研究所

**國立中央大學 資訊工程學系

關鍵詞: 預測方法、防空作戰、模式模擬

摘要

本文蒐集公情資料, 運用專業版「指揮:現代作戰 專業版(Command:Modern Operation Professional Edition, CPE) 電腦兵棋系統為工具, 模擬紅軍各式飛彈(包含:導彈、巡弋飛彈、火箭彈)外加反輻射無人機、殲六改裝無人機以及大型「偵打一體」無人機, 對藍軍發起攻擊;而藍軍的反制武器系統包含有防空飛彈系統(包含:愛國者、天弓、NASAM、陸射劍二系統、復仇者防空系統), 外加不同戰機接戰。整個防空系統戰術的運用, 包含武器部署位置、武器系統開啟與否、主射向線的角度、接戰的目標與射擊模式。將作戰排程依序輸入至CPE模擬系統中, 檢視執行飛機被攔截率、無人機被攔截率、藍軍戰機存活率、關鍵基礎設施存活率等數值。最後再將不同作戰排程輸入四種機械學習(包含:多層感知機、支援向量機、決策樹、隨機森林), 可以發覺四種方法以隨機森林測試結果較優, 四項輸出以飛彈被攔截率輸出較佳, 未來就可以透過這個模式, 將作戰想定直接輸入隨機森林, 便可以獲得所需要結果。節省大量的模擬次數與時間, 加速軍事決策的速度。

¹ 聯絡作者 賀增原(tzengyuan@gmail.com)

壹、前言

隨著無人機在戰場上的運用日益受到各國矚目[1]-[6]，當無人機伴隨各式導彈、巡弋飛彈、甚至火箭彈，則防禦者該如何就所擁有的武器展開接戰序列或者是兵力部署。本文利用CPE模擬系統(係由英商Slitherine Inc.旗下品牌Matrix Pro. Sims公司所發展電腦兵棋系統，用以執行海、空作戰、作戰計畫、行動方案分析、武器系統效益分析及兵棋推演輔助等多項工作)進行紅藍軍對抗。紅軍各式飛彈(包含：導彈、巡弋飛彈、火箭彈)外加反輻射無人機、殲六改裝無人機以及大型「偵打一體」無人機，對藍軍發起攻擊；而藍軍的反制武器系統包含有防空飛彈系統(包含：愛國者、天弓、NASAM、陸射劍二系統、復仇者防空系統)，外加不同戰機接戰。整個防空系統戰術的運用，包含武器部署位置、武器系統開啟與否、防空雷達主射向線的角度、接戰的目標與射擊模式。將作戰排程依序輸入至CPE模擬系統中，檢視執行飛機被攔截率、無人機被攔截率、藍軍戰機存活率、關鍵基礎設施存活率等數值。

接著將想定的行動方案整理離散成機器學習的輸入值，同時將CPE模擬系統執行交戰結果，其評估指標作為機器學習輸出值，作為修正機器學習的誤差值。本文機器學習包含有四種：多層感知機、支援向量機、決策樹、隨機森林

最後利用均方根誤差、平均絕對誤差與相對誤差來檢視四種方法中哪一種預測比較正確，藉由這個模式，將作戰想定直接輸入機器學習，便可以獲得所需要結果。節省大量的模擬次數與時間，加速軍事決策的速度。

貳、本文

本文中所有的資料均是公情資料，有關紅軍作戰方案，假設為D日，期程設定為15個小時，主要的攻擊目標以台灣北部為主，執行蒙地卡羅3次，各階段任務類型如下：

摘要內容以300個字為限，字體採新細明體，大小為9pt，字距為0.3pt。

2.1第一波飛彈/遠火對地打擊

運用彈道飛彈與巡弋飛彈對藍軍北部作戰區，包含有：軍用機場、港口、雷達與中程防空飛彈陣地、指管節點與重要民間通訊中心、後勤補保與反艦飛彈陣地與重要政經設施進行打擊。

2.2第一波無人機確認戰果

以BZK-005、彩虹-4與翼龍-3型無人機，自無人機基地起飛，分別沿台灣西部與東部外海繞飛偵查後返回原駐地。

2.3反輻射無人機打擊任務

由福建龍田與福建惠安基地出發的ASN-301反輻射無人機對藍軍北部作戰區開機輻射中之防空系統雷達、戰管雷達站進行加強打擊。

2.4第一波殲-6改裝無人機自殺攻擊

由福建龍田與福建惠安基地出發的殲-6無人機，侵入藍軍北部作戰區上空，誘使藍軍防空飛彈陣地開機並消耗精準彈藥。

2.5第一波紅軍軍機執行空域巡邏任務與對地打擊任務

由福建武夷山機場與浙江湖州基地出發的殲-10與殲-11，掛載AA-10、PL-10空對空飛彈於台灣海峽北部進行空域巡邏，殲轟-7A、殲-16與蘇愷30分別掛載反輻射飛彈，對藍軍北部作戰區防空系統雷達、空軍戰管雷達站進行打擊。

2.6第二波情監偵無人機確認戰果

以BZK-005、彩虹-4與翼龍-3型無人機，自火箭軍618無人機基地起飛，分別沿台灣西部與東部外海繞飛偵查後返回原駐地。

2.7第二波反輻射無人機打擊任務

由福建龍田與福建惠安基地出發的ASN-301反輻射無人機對藍軍「第三作戰區」開機輻射中之防空系統雷達、戰管雷達站進行加強打擊。

2.8第二波飛彈對地打擊任務

運用彈道飛彈與巡弋飛彈對藍軍北部作戰區的軍用機場與港口、雷達與中程防空飛彈陣地、指管節點與重要民間通訊中心、後勤補保與反艦飛彈陣地、短程防空系統等進行打擊。

2.9第二波殲-6改裝無人機自殺攻擊

由福建龍田與福建惠安基地出發的殲-6無人機，侵入藍軍北部作戰區上空，誘使藍軍防空飛彈陣地開機並消耗精準彈藥。

2.10第二波紅軍軍機執行空域巡邏任務與對地打擊任務

紅軍殲-20掛載PL-15空對空飛彈於台灣海峽北部進行空域巡邏，狙擊藍軍預警機與電戰機。紅軍Su-30MKK與殲-16分別掛載鷹擊91超音速反輻射飛彈與KAB-1500精準導引彈藥，對藍軍北部作戰區防空系統雷達、空軍戰管雷達站進行加強打擊。

2.11 第三波情監偵無人機確認戰果

以BZK-005、彩虹-4與翼龍-3型無人機，自火箭軍618無人機基地起飛，分別沿台灣西部與東部外海繞飛偵查後返原駐地。

2.12 第三波飛彈對地打擊任務

運用彈道飛彈與巡弋飛彈對藍軍北部作戰區的軍用機場與港口、剩餘的雷達與中程防空飛彈陣地、剩餘的指管節點與重要民間通訊中心、剩餘的後勤補保與反艦飛彈陣地、剩餘的短程防空系統等進行打擊。

2.13 藍軍的反制武器

藍軍的反制武器系統包含有防空飛彈系統(包含：愛國者、天弓、NASAM、陸射劍二系統、復仇者防空系統)，外加不同戰機接戰。整個防空系統戰術的運用，包含武器部署位置、武器系統開啟與否、主射向線的角度、接戰的目標與射擊模式如表1。將作戰排程依序輸入至CPE模擬系統中，檢視執行飛機被攔截率、無人機被攔截率、藍軍戰機存活率、關鍵基礎設施存活率等數值。

表1、藍軍反制方式

| 藍軍 | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|--------|--------|-----------|---|--|
| 任務 | 防空單位 | 啟動? | 主射向 | 目標類型 | 射擊模式 | 說明 |
| 防空 | BA-AD-PAC-NANGANG | Y | 2 | 3、4、5 | SLS for3; SSL for 4-5 | 註一:目標類型 Aircraft:1.戰鬥或 攻擊機、2.無人 機 Guided Weapon:3. 次音速巡弋飛 彈、4.超音速巡 弋飛彈、5.彈道 飛彈 註二:主副射向線 1主射向線(PTL) 2副射向線(STL) |
| | BA-AD-PAC-LINKUO | Y | 2 | 3、4、5 | SLS for3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-PAC-XINDIAN | Y | 2 | 3、4、5 | SLS for3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TK-DONGYIN | Y | 2 | 1、2、3、4、5 | SLS for1-3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TK-HSIHU | Y | 2 | 3、4、5 | SLS for3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TK-SANZHI | Y | 2 | 1、2、3、4、5 | SLS for1-3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TK-SHANCHIAO | Y | 2 | 3、4、5 | SLS for3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TK-WANLI | Y | 2 | 3、4、5 | SLS for3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TK-YILAN | Y | 2 | 1、2、3、4、5 | SLS for1-3; SSL for 4-5 | |
| | BA-AD-TC2-HSINCHU | Y | N/A | 1、2、3、4 | SLS for1-3; SSL for 4 | |
| | BA-AD-TC2-LESHAN | Y | N/A | 1、2、3、4 | SLS for1-3; SSL for 4 | |
| | BA-AD-TC2-SUAO | Y | N/A | 1、2、3、4 | SLS for1-3; SSL for 4 | |
| | BA-AD-NASAM-BALI | Y | N/A | 1、2、3、4 | SLS for1-3; SSL for 4 | |
| | BA-AD-NASAM-NANGANG | Y | N/A | 1、2、3、4 | SLS for1-3; SSL for 4 | |
| | BG-AVENGER-01-DONGAOLING | Y | N/A | 2、3 | SLS | |
| | BG-AVENGER-02-LINKUO | Y | N/A | 2、3 | SLS | |
| | BG-AVENGER-03-NANGANG | Y | N/A | 2、3 | SLS | |
| | BG-AVENGER-04-XINDIAN | Y | N/A | 2、3 | SLS | |
| | BG-AVENGER-05-WANLI | Y | N/A | 2、3 | SLS | |
| | BG-AVENGER-06-DONGYIN | Y | N/A | 2、3 | SLS | |
| BG-AVENGER-07-HSIHU | Y | N/A | 2、3 | SLS | | |
| BG-AVENGER-08-SANZHI | Y | N/A | 2、3 | SLS | | |
| BG-AVENGER-09-SHANCHIAO | Y | N/A | 2、3 | SLS | | |
| BG-AVENGER-10-YILAN | Y | N/A | 2、3 | SLS | | |
| 戰機 | | | | | | |
| 任務名 | 派遣基地 | 時間 | 戰機型 | 數量 | 掛載 | 說明 |
| BP_NB | 佳山基地 | 05:30~ | F-16V | | AIM-120D*2、 12 AIM-2000A*2、 AGM-84K*2 | 每批次4架F-16、1 |
| BS_TC | 佳山基地 | 05:30~ | C-130H | 4 | OECM | |
| BS_AB | 佳山基地 | 05:30~ | F-2K | 4 | AEW | |

資料來源:作者依據專家意見整理

參、模式模擬

將以上紅軍作戰方案,依序產生不同作戰排程,包含導彈發射時間、發射基地、發射幾枚、攻擊藍軍的目標是什麼,都需要在模式模擬當中設計清楚。而想定的設計召開會議邀請專家學者一同擬定。

整個紅藍軍交戰的過程均透過CPE模擬系統執行,該系統計有美國陸、海、空三軍與陸戰隊、約翰霍普金斯大學(Johns Hopkins University)、波音(Boeing)、洛克希德馬汀(Lockheed Martin)、英國皇家國防科學與科技實驗室(Defense Science and Technology Laboratory, DSTL)及英國航太等世界多國之軍事、航太、科學及學術單位使用,因此具有執行結果的可信。

CPE模擬系統執行,利用外掛軟體Tacview展現紅藍軍接戰的過程如圖1以及復仇者防空飛彈接戰無人機的過程如圖2[7]-[8]。

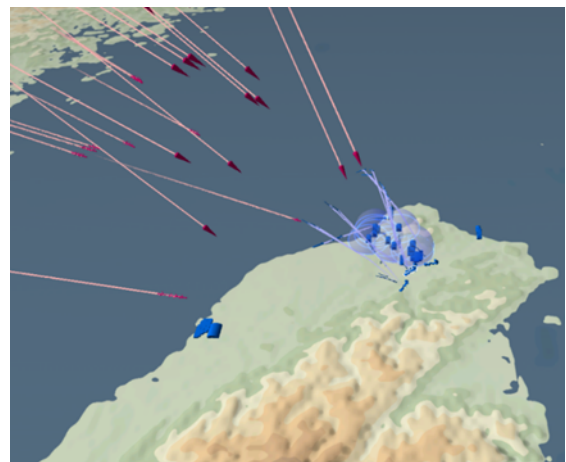


圖1、Tacview顯示紅軍導彈攻擊的場景
資料來源:作者執行CPE模擬系統

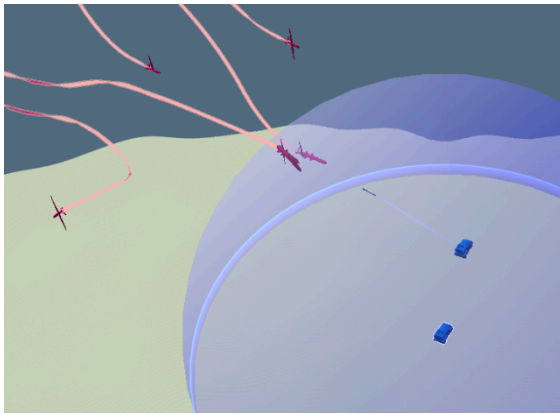


圖2、Tacview復仇者防空飛彈接戰無人機過程
資料來源:作者執行CPE模擬系統

肆、機器學習

本文機器學習包含有四種:多層感知機、支援向量機、決策樹、隨機森林。

機器學習與模式模擬彼此之間的關係如圖3。

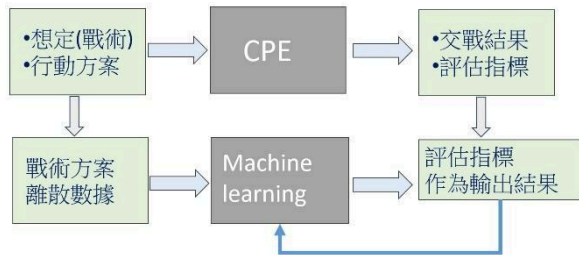


圖3、本篇論文架構圖

資料來源:作者整理

利用機器學習檢視執行飛機被攔截率、無人機被攔截率、藍軍戰機存活率、關鍵基礎設施存活率等輸

出的數值,並且利用均方根誤差、平均絕對誤差與相對誤差來檢視四種方法中哪一種預測比較正確,其方程式如下:

均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

(4.1)

其中 y_i 代表機器學習輸出值, \hat{y}_i 代表CPE輸出值。

平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|}{N}$$

(4.2)

其中 y_i 代表機器學習輸出值, \hat{y}_i 代表CPE輸出值。相對誤差(Relative Error, RE)

$$RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{\hat{y}_i}$$

(4.3)

其中 y_i 代表機器學習輸出值, \hat{y}_i 代表CPE輸出值。

伍、執行結果

依據上節模式模擬得出評估指標,與機器學習輸出結果,按照方程式(4.1)至方程式(4.3),可以得到四種方法正確性如表2至表4。

表2、均方根誤差

| | 飛彈被攔截率 | | 無人機被攔截率 | | 藍軍戰機存活率 | | CI存活率 | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 |
| 多層感知機(MLP) | 1.11E-03 | 1.10E-03 | 9.98E-04 | 4.23E-03 | 6.54E-04 | 1.68E-03 | 1.39E-03 | 1.93E-03 |
| 支援向量機(SVM) | 2.90E-03 | 2.93E-03 | 6.18E-03 | 7.24E-03 | 2.79E-03 | 2.19E-03 | 3.25E-03 | 3.88E-03 |
| 決策樹(Decision Tree) | 0.00E+00 | 3.73E-04 | 0.00E+00 | 9.51E-03 | 0.00E+00 | 1.16E-03 | 0.00E+00 | 4.87E-03 |
| 隨機森林(Random Forest) | 2.23E-04 | 3.71E-04 | 6.06E-04 | 3.02E-03 | 2.12E-04 | 1.20E-03 | 2.83E-04 | 1.68E-03 |

表3、平均絕對誤差

| | 飛彈被攔截率 | | 無人機被攔截率 | | 藍軍戰機存活率 | | CI存活率 | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 |
| 多層感知機(MLP) | 2.78E-02 | 2.87E-02 | 2.53E-02 | 5.15E-02 | 2.01E-02 | 3.18E-02 | 2.80E-02 | 3.45E-02 |
| 支援向量機(SVM) | 4.39E-02 | 4.38E-02 | 6.50E-02 | 6.77E-02 | 4.66E-02 | 3.91E-02 | 4.90E-02 | 5.49E-02 |
| 決策樹(Decision Tree) | 0.00E+00 | 1.63E-02 | 0.00E+00 | 7.75E-02 | 0.00E+00 | 2.59E-02 | 0.00E+00 | 4.92E-02 |
| 隨機森林(Random Forest) | 1.23E-02 | 1.58E-02 | 1.99E-02 | 4.53E-02 | 1.11E-02 | 2.34E-02 | 1.33E-02 | 2.98E-02 |

表4、相對誤差

| | 飛彈被攔截率 | | 無人機被攔截率 | | 藍軍戰機存活率 | | CI存活率 | |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 | 訓練 | 測試 |
| 多層感知機(MLP) | 8.12E-02 | 8.54E-02 | 5.47E-02 | 1.02E-01 | 2.12E-02 | 3.46E-02 | 4.71E-02 | 5.66E-02 |
| 支援向量機(SVM) | 1.33E-01 | 1.39E-01 | 1.45E-01 | 1.26E-01 | 4.85E-02 | 4.17E-02 | 7.78E-02 | 8.51E-02 |
| 決策樹(Decision Tree) | 0.00E+00 | 4.92E-02 | 0.00E+00 | 1.53E-01 | 0.00E+00 | 2.79E-02 | 0.00E+00 | 7.92E-02 |
| 隨機森林(Random Forest) | 3.82E-02 | 5.03E-02 | 4.43E-02 | 8.67E-02 | 1.19E-02 | 2.60E-02 | 2.18E-02 | 4.73E-02 |

由表2至表4，可以發覺四種方法以隨機森林測試結果較優，四項輸出以飛彈被攔截率輸出較佳，未來就可以透

過這個模式，將作戰想定直接輸入隨機森林，便可以獲得所需要結果。節省大量的模擬次數與時間，加速軍事決策的速度。

參考文獻

1. 洪安妮、謝志淵，“2019年沙烏地阿拉伯油田遭無人機攻擊事件研究—論陸軍野戰防空”，陸軍學術雙月刊，第56卷第573期，pp. 45-50 (2020).
2. 楊祖宇，“前線砲彈數量告急！烏軍只能仰賴無人機毀俄軍90%重裝備都靠它”，Newtalk新聞，(檢索日期：民國113年1月19日)(2024).
3. 新聞編輯，“新世代戰爭！外媒解析以色列、哈瑪斯「無人機大戰」策略”，聯合新聞網，(檢索日期：民國113年1月19日)(2024).
4. 黃淑玲，“胡塞向紅海發動迄今最大攻擊 美英海軍擊落21無人機與飛彈”，聯合新聞網，(檢索日期：民國113年1月19日)(2024).
5. 新聞編輯，“共軍無人機成擾台新主力 台海空防規則恐顛覆”，中央廣播電臺，(檢索日期：民國113年1月27日)(2024).
6. 江飛宇，“美軍設想未來6層防空網對付無人機威脅”，中時新聞網，(檢索日期：民國112年10月31日)(2023).
7. 賀增原、林傳凱、謝沛學，“模擬不同天候下雷射武器任務效能”，第三十五屆中國造船暨輪機工程研討會暨國科會成果發表會，(發表地：國防大學理工學院，發表日期：民國112年6月18日)。
8. 賀增原、林傳凱、謝沛學“運用CMO模擬雷射反制無人機威脅之研究”，陸軍後勤季刊，中華民國111年第4期，pp. 62-73 (2022).