



戰車裝填手塔頂機槍車內遙控操作可行性之研究

筆者/許弘達

提要

- 一、陸上戰鬥載具車內操作裝置及無人飛行載具等近年發展，朝遠(近)端遙控操作系統發展，有別於傳統戰車裝填手塔頂機槍車外手動射擊模式，未來可於戰鬥載具及砲塔內部直接操控觀瞄與射擊，此一具武器系統將它稱之為車頂武器工作站或遙控槍塔。
- 二、武器系統若需操作者於車外採手動操控，將造成操作者額外負擔及降低武器作戰效能，若能使武器系統與操作者遙控連動，如瞄準系統跟隨操作者連動進行自動瞄準與射擊，將減少操作者負擔及增進安全。
- 三、目前遙控聯動武器系統最著名的是阿帕契攻擊直升機之頭盔顯示瞄準系統藉由整合目標獲得暨瞄準系統與飛行員夜視系統，可將攻擊瞄準與夜視功能整合至單一頭盔中。
- 四、實驗性研究採用市面上較為常見的慣性量測單元為例，系統分析出一套植基於多軸感測器控制之武器載台，取代以手控塔頂機槍。
- 五、續依驅動裝置、射控方式、觀瞄系統、顯示系統及傳輸系統進行比較，研擬適合塔頂機槍砲塔內遙控射擊可行案，進行分析與比較，再行科研先採 CM11 作為實驗試裝，並驗測其功(性)能與可行，若獲成功，未來再移植至 M1A2T 戰車。

關鍵詞：遙控操控武器、阿帕契攻擊直升機、車頂武器工作站、慣性量測單元
多軸感測器

壹、前言

遙控操控武器裝備為各國近來來軍備開發研究的目標，包含陸上戰鬥載具及無人飛行載具等，都設有遠(近)端遙控操作系統，本軍目前僅CM11及M1戰車，以弧形滑軌架上機槍承座，裝設裝填手塔頂機槍(M240系列,7.62公厘)，當裝填手因應敵情威脅，必須離開砲塔室，於戰車外以手動搜索、瞄準及射擊，造成裝填手暴露在外風險，雖M1A2戰車加裝防彈護盾，增強裝填手車外防護力，然僅能保護前方正面約135°，如來自側後方敵火攻擊將無防護禦能力，本研究以戰車裝填手塔頂滑軌式機槍座為基礎，然裝填手位於戰車砲塔室內部，視線受砲塔鋼板影響(如圖1)，無法對外透視觀測為達到裝填手於戰車內遙控塔頂機槍操作之目標，研發新式觀瞄整合遙控槍座，配合車內、外控制與顯示器設備，可於砲塔室內進行搜索、瞄準與射擊，增進裝填手安全防護，需以下成套設備包括「全天候觀瞄槍塔、遙控操控裝置及顯示器」，使裝填手於砲塔內部直接觀察戰場景況並操控遙控塔頂機槍實施搜索與射擊。

圖1-M1A2戰車



資料來源：M1A2Sep-V4，〈Plan Of Abrams Upgrade〉，(US Detroit GDLS 02.Feb.2021)，
<https://dtmdatabase/News.aspx?id=175>，(檢索時間：2022 年 07 月 04 日) 筆者整理製作。

貳、車頂遙控槍塔發展現況

車頂遙控槍塔發展於1973年(以下,以西元紀年)贖罪日戰爭(第四次以阿戰爭)，以色列將擄獲T-55戰車將其底盤加裝自行研改的車頂機槍發射系統，成為具備強大防護力的裝甲運兵車，有別於傳統裝甲運兵車須以乘員於車外採手持射擊模式，班長(射擊士)可於車內(砲塔)內直接操作，而車頂遙控槍塔又稱之為「車頂武器工作站」(Overhead Weapon Station,OWS)；隨後，以色列為加拿大改裝M113裝甲運兵車時亦將OWS納入研發計畫，此為車頂遙控槍塔發展先河，¹近年來車頂遙控槍塔的發展乘員直接車內透過觀瞄及射控系統進行搜索、觀瞄與精準射擊，有效維護士兵安全與發揮武器效能，使各國紛紛投入車頂遙控槍塔的研發及設計，並大量運用於各式戰鬥載台上具備了觀測、監偵、射擊及戰場管理等功能，OWS為獨立武器平台，並依載台性能及作戰任務需求搭配不同武器系統，以下針對國內外近年發展成功且已部署作戰部隊之車頂遙控槍塔系統介紹如後。

一、防禦者M151遙控武器站：(如圖2)

防禦者M151遙控武器站(Protector M151 Remote Weapon Station)為一通用於軍用戰鬥車輛及固定防禦陣地(工事)的遙控武器系統(RWS)，由挪威康斯貝格防衛航天集團(Kongsberg Defence & Aerospace)研發，2004 年正式配備於挪威陸軍與空軍；美國於 2005年向其採購 700 套守護者，裝配於陸軍史崔克戰鬥旅，為步兵戰鬥車的主要車裝武器，部分輕裝甲悍馬車(HMMWV)亦有改裝，守護者主要武器為MK19- 40公釐榴彈

¹ 夏天生，〈遙控槍塔發展對步兵戰鬥車之影響〉，(高雄市·步兵學術季刊第 231 期，陸軍步兵訓練指揮部，2009 年 05 月 19)。

https://tpl.ncl.edu.tw/Nclservice/pdfdownload?filepath=lv8oirTfsslWcCxlpLbUfmcdCalP8r-hEvBrmDE13YsZMwb6*kyVfCwzok73-3wTa&imgType=Bn5sH4BGpJw=&key=inf13loql_vhTGIFt11XtDcBpnGyRm16iLhTI5RqMeVVu9OMeVVu9OyINNO4qBZJhZJhLTxWd&XmIId=006873032。(2022 年 07 月 04 日)。



機槍，或依需要裝配不同口徑武器如M2HB0.50英吋機槍等，使單一槍塔可使用多種武器，適當改裝成為飛彈發射平台。

圖2-防禦者M151遙控武器站



資料來源：KD&A<防禦者M151遙控武器站>，(Norge Oslo，KD&A Selskap 13.Apr.2001)
<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E9%81%99%E6%E8%A7%E6%AD%A6%E5%99%A8%E7>
(檢索時間：2022年07月05日)。

二、參孫遙控武器站：(如圖3)

參孫(Samson)遙控武器站(Remote Controlled Weapon Station, 以下簡稱RCWS)，另稱：Katlanit(意為：「致命」的女性詞形變化)，2000年依據加拿大陸軍需求，由拉斐爾先進防禦系統公司(Raphale Advance Defense System,RADS)與以色列國防軍(Israel Defense Forces,IDF)合作研發生產的遙控武器站，至今仍持續生產和銷售，此系統可以通過自動或遙控方式操作各類型的武器，包括5.56、7.62公厘機槍或40公厘自動榴彈發射器(Automatic grenade launcher)與反戰車飛彈或兼具觀測與情監偵察用途的全天候光電儀可提供步兵及裝騎偵蒐戰鬥車使用，同一武器系統可因作戰任務需求適時調整配備武器或觀測光電系統。

圖3-拉斐爾參孫遙控武器站



資料來源：RDAS，<拉斐爾參孫遙控武器站>，(Israel Haifa RDAS Co.11.Jun.1999)，
<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E5%8B%89%E6%96%90%E7%88%BE%E5%8F%83%E5%AD%AB%E9%81%99%E6%8E%A7%E6%AD%A6%E5%99%A8%E7%AB%99>

(檢索時間：2022年07月05日)，筆者整理製作。

三、STK- LRWS 遙控槍塔：(如圖4)

AV-81(Terrex) 配備一具新加坡自行研發的低矮式遙控武器站 LRWS(Low Remote Weapon System,LRWS)，安裝於車頂中段偏右的位置，配備同軸的CIS生產的40公厘 AGL榴彈槍與7.62公厘機槍 各1挺，遙控槍塔基部還裝有5具由電力擊發的SGL型煙幕彈發射器，觀瞄方面，RWS遙控槍塔 也裝有一套整合式光電觀測/瞄準系統，整合有日間攝影機組(DCA)、夜間攝影機組(NCA)以及效距離為90-4,000公尺雷射測距儀，右側車尾頂蓋後方裝設一具開放式旋轉槍架，可加裝一挺7.62公厘機槍，此系統亦可安裝M-113裝甲運兵車，後續研改衍生型亦可換裝12.7mm機槍或20-25mm機砲，成為星國新世代陸軍機械化單位主力步兵戰鬥車。

圖4-新加坡STK LRWS遙控槍塔



資料來源：LRWS<Terrex 8x8 Armored Viehicles>，(Singapore Technology Gies Kinetice，21.Sep.2009)，
<http://www.mdc.idv.tw/mdc/army/av81.htm>，(檢索時間：2022年08月10日) 筆者整理製作。

四、本軍40公厘遙控槍塔：(如圖5)

因應地面防衛作戰型態的改變，參考外軍遙控武器系統發展與設計，於2001年起著手「雲豹專案」的規劃與研發，後經過多次的改良精進，成功發展40公厘遙控槍塔系統，該武器系統裝配40公釐榴彈機槍與7.62公釐機槍以及四組16發M243煙幕彈發射器。槍塔具備新一代全電控伺服驅動、雙軸穩定、螢幕式熱像瞄準具及彈道計算機功能，其護眼型雷射測距達8,000公尺，可遂行全天候作戰。先進的操作模式，僅需一員即可遂行遙控操作。其先進的資訊整合系統，可於戰時縮短反應時間、快速完成接戰程序、提高首發命中率，本軍亦於2019年成功研製CM-34步兵戰鬥車裝設砲塔採用ATK- -30公厘鏈砲使機械化步兵提升整體戰鬥力。

圖5-本軍40公厘遙控槍塔



資料來源：二〇九廠，〈四〇遙控槍塔〉，(桃園市，中山科學研究院，2009年10月)，
<https://happyify.cc/amp/article/906677htm>，l(檢索時間：2022年07月05日)。

參、遙控槍塔車內操控方式

將槍塔裝置於車頂，藉由車內遙控裝置實施控制，遙控裝置區分為固定式及穿戴式遙控與慣性量測單元實驗室模擬，不論採用何種方式車外遙控槍塔與車內射控計算機(含顯示器)須以有線光纖鏈結分析、比較如後。

一、固定式：

目前遙控槍塔大都採用固定式遙控方式(如圖6)，其優點為系統整合較為簡單且單純，其觀瞄、射控系統與遙控手把相連結無須外接傳輸介面，穩定性相對提高，而本研究遙控槍塔操作對象為戰車裝填手，本身任務除彈藥裝填外，另需負責無線電設定與操作，另砲塔內部空間有限，不適合安裝固定且體積過大的遙控系統，影響裝填手活動動線。

圖6-防禦者M151的操作系統介面



資料來源：KD&A〈防禦者M151遙控武器站〉，(Norge Oslo，KD&A Selskap 13.Apr.2001)，
<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E9%81%99%E6%E8%A7%E6%AD%A6%E5%99%A8%E7>，
(檢索時間：2022年07月05日)。

二、穿戴式：

本系統最具代表性為阿帕契攻擊直升機之頭盔顯示瞄準系統(Integrated Helmet And Display Sight System, 以下簡稱,IHADSS),²其整合AN/ASQ-170目標獲得暨瞄準系統(Target Acquisition Designation Sight, 以下簡稱,TADS)與AN/AAQ-11飛行員夜視系統(Pilot Night Vision Sensor, 以下簡稱,PNVS),將攻擊瞄準與夜視功能整合至頭盔之中。其中TADS射控系統整合雷射測距/標定儀、前視紅外線偵測儀、光學望遠鏡、電視攝影機、目標追蹤儀等五個次系統,可全天候搜索、定位、追蹤目標,並導引AGM-114雷射導引式地獄火系列飛彈,進行空對地攻擊。

而PNVS則為前視紅外線系統,可顯示近距離熱影像,以提供夜間飛行所需的資料至TADS,進而強化夜間目標鎖定之能力。而IHADSS透過光電迴路將TADS/PNVS的資料連接在一起,顯示於射手頭盔顯示器進行視線追蹤瞄準與射擊,當標定目標IHADSS就可以「看」那裡,M-230鏈砲跟隨指向目標同步實施空中攻擊,而飛行員在接戰時配合射手專責操作直昇機,阿帕契攻擊直升機座艙上方為明膠防彈玻璃組成(如圖7)³,前座射手直接以頭盔顯示器搜索地空目標,並進行攻擊,採用光學定位操作者頭部轉動方向,但光學系統易受戰場環境(光線)影響失去其精準度,不適合戰車裝填手或其他乘員使用。

圖7-AH-64E阿帕契攻擊直升機座艙



資料來源：Boeing, <AH-64-E Apache Attack Helicopter>, (US Virginia Boeing Aircraft, 05.Jan.2010), <https://news.ltn.com.tw/amp/news/politics/paper/1102606>, (檢索時間：2022年07月06日), 筆者整理繪製。

² 李思平, <AH-64E死亡旋翼特輯>, (台北市, 尖端科技, 2018年07月01日), <http://www.dtn database.com/NEWS.aspx?id=1033>, (2022年01月18日)。

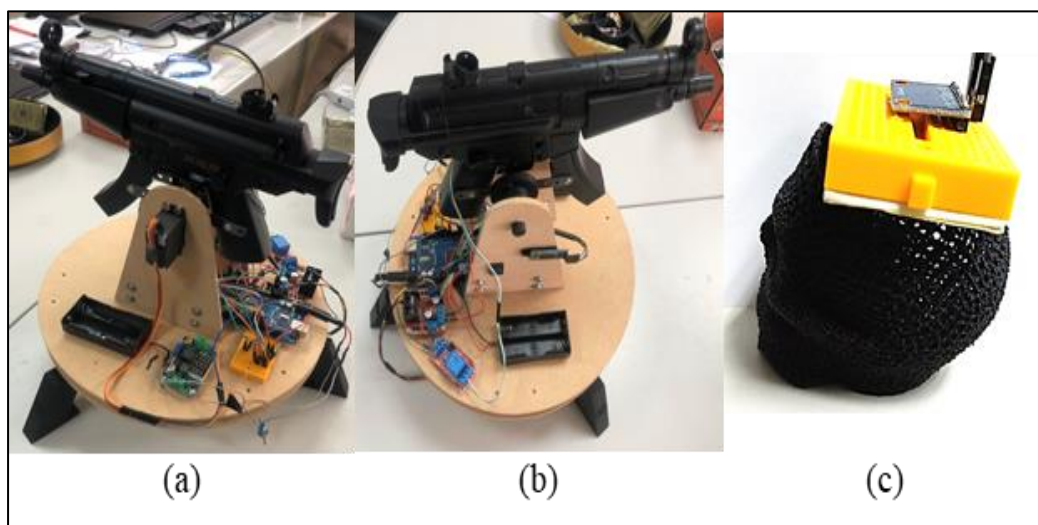
³ 同註 2。

三、慣性量測單元實驗室模擬(穿戴式)：(筆者碩士班研究成果)

戰車乘員較適合物理定位中的慣性量測單元(Inertial measurement unit, 以下簡稱,IMU)結合了三軸的陀螺儀(gyroscopes)與三軸的加速度計(accelerometers)成為多軸感測與控制系統，透過計算機可用來量測物體在三維空間中的角速度和加速度及解算出物體的姿態，轉換成士兵穿戴於頭或手部位位置，透過轉(移)動作產生三維位移向量值以遙控武器載台。

目前IMU應用運動控制的設備，如智能載具、機器人及自動化移(轉)動設備上，也使用在精密位移計算的設備，如潛艇、飛機、飛彈及航太載具的慣性導航設備等，本文結合筆者於研究所實驗室模擬驗測成果，以軸感測與多軸感測與控制系統遙控武器載台【如圖8-(a)及(b) 左、右視圖】，模擬士兵以頭部穿戴IMU遙控操控武器載台(如圖8)，為證明武器載台可隨著頭部穿戴式IMU無線遙控作動，區分垂直軸、水平軸及雙軸同步測試等三個方式進行模擬測試，本研究為實驗性質將計算機與螢幕併同IMU裝置於實驗頭部之上。

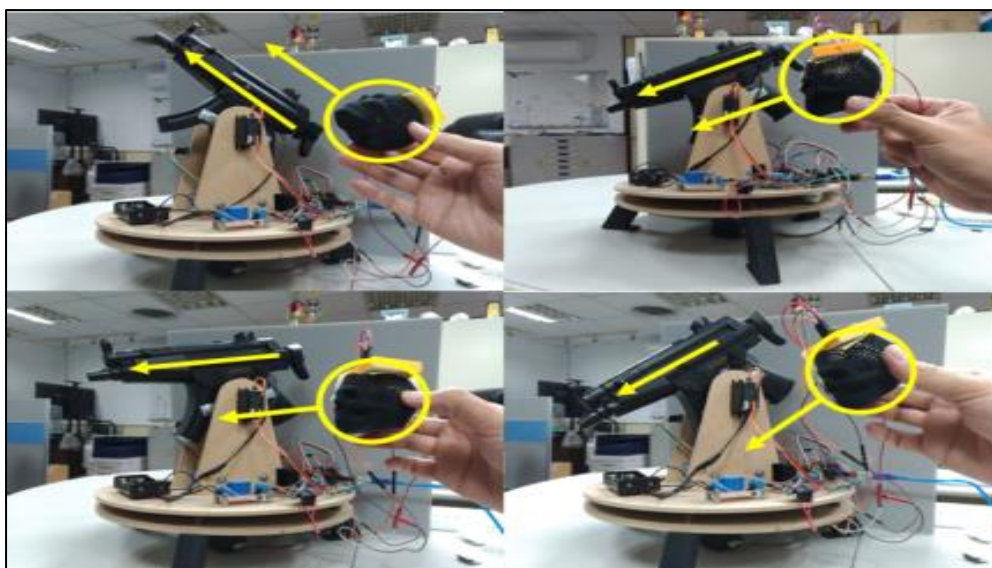
圖8-多軸感測控制載台與穿戴IMU之頭部模擬平台



資料來源：筆者實驗研究拍攝。

(一)垂直軸控制：(如圖9)

藉由穿戴IMU進行頭部垂直上下移動，產生之數位控制訊號透過計算機至電子界面儀(Electronic Interface eMeter, 簡稱,EIM)轉換為類比訊號電子具將IMU姿態轉換為伺服機控制命令，傳遞至伺服馬達帶動武器載台移(轉)動，以模擬IMU頭部模擬垂直移動時，武器載台之同步跟隨進行上下移動。

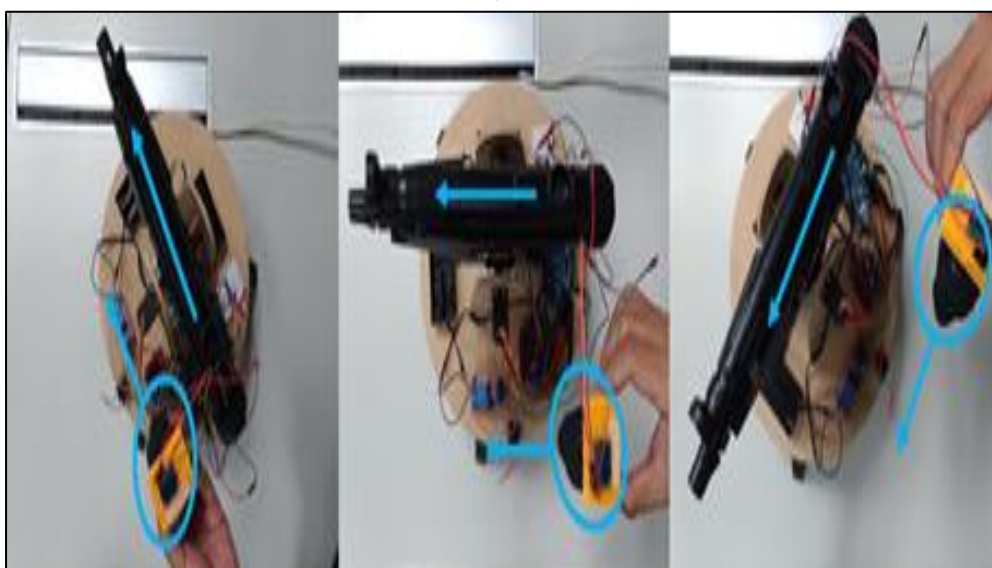


資料來源：筆者實驗研究拍攝。

(二)水平軸控制：(如圖10)

當模擬IMU頭部模擬水平轉動時，武器載台之水平位移同步跟隨進行左右轉動。

圖10-水平軸單軸作動實驗結果

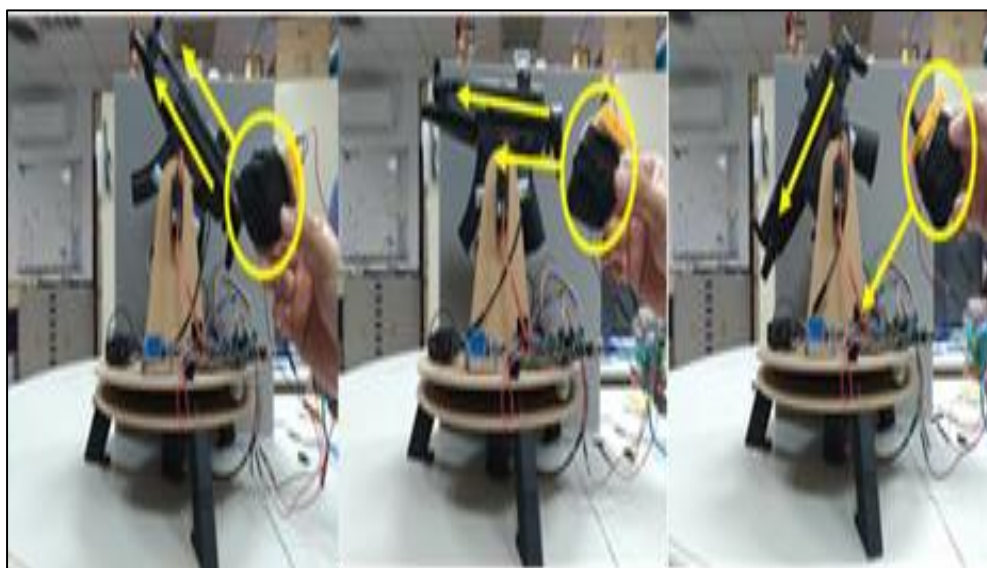


資料來源：筆者實驗研究拍攝。

(三)雙軸同步控制：(如圖11)

當模擬IMU頭部模擬垂直與水平雙軸同移(轉)動，武器載台高低及水平位移同步跟隨進行高低與水平方向移(轉)動。

圖11-雙軸同步作動實驗結果



資料來源：筆者實驗研究拍攝。

四、小結：

由上述蒐整及個人研究得知，地面部隊因應未來戰場型態改變及強化乘員防護力與提升精準射擊能力，各國均將武器載台射控系統置於戰鬥車輛內，透過車頂整合式遙控槍搭載先進光電全天候觀瞄與測距及環控系統，執行目標搜索、觀測，標定與精準射擊標，以兼顧人員防護與提升火力效能，本軍已自主成功研發40公厘遙控槍塔與30公厘鏈砲砲塔安裝於CM-33/34步兵戰鬥車，已具備完整成熟遙控槍塔工程發展技術備便，惟技術移轉於裝填手塔頂機槍遙控射擊，仍須注意下列事項。

(一)專用遙控槍塔系統：

因第三代戰車需鏈結整合主（次）觀瞄與武器系統，彈道計算機必須與多項偵（感）測系統結合，如M1戰車具備白晝鏡、熱像鏡、車長獨顯及車長武器工作站等3套4件觀瞄系統及氣象儀、測距機、傾角儀、陀螺儀、砲口前置參數儀及彈種選擇器與大氣環境狀況（自動修正或手動輸入），必需以伺服馬達進行多重整合射（砲）控，而裝填手塔頂機槍仍維持人工操作目視瞄準其射控裝置宜維持獨立遙控槍塔設計，不與戰車主射（砲）控系統整合，避免異質系統增加研發風險。

(二)保留機槍滑軌基座：

目前各式遙控槍塔採環週式設計，可對 360° 目標實施射擊，但本軍CM11及新購M1A2戰車，其裝填手機槍基座皆採用弧形滑軌主要搜索、觀瞄與攻擊目標範圍為戰車左側約 135° - 160° ，避免採用環週式設計當全週轉動射擊時，可能危及右側 0° 至 200° 範圍內裝備及其他乘員安全，基此，在塔頂機槍基座設計應維持在左側及有限度轉動範圍滑軌為宜。

(三)塔頂機槍操控方式：

由前述蒐整網路資料及文獻可知各國遙控槍塔設計多採採固定式遙控操作，使用射手握把(單、雙握把皆有)與觀瞄射控系統結合操控，士兵須於固定位置操作，而戰車裝填手任務除砲彈裝填及彈藥管理外，另需操作無線電設定、協助射手補充同軸機槍彈並排除故障，執行任務活動範圍不固定，另砲塔內部空間有限，在塔頂機槍操控方式選擇應符合裝填手工作職掌設置為宜，於後續章節繼續比較探討。

肆、塔頂機槍遙控傳輸系統介面

塔頂機槍與車內射控計算機(含顯示器)以有線光纖連結(將光纖穿艙布線經路固定於砲塔壁內側，不會因砲塔轉動將有線光線纜絞斷)在需遙控方式及使用操控握把前提下，其操控裝置與射控計算機之間控制訊號傳輸，可選擇有線或無線兩種方式，分析、比較如後。

一、有線傳輸：

有線傳輸在封閉線路，可使用光纖纜線，具備遠距及大頻寬及不受干擾等特性，使用有線傳輸需以實體纜線連接射控計算機，有線裝置雖有其可靠度高及工程發展便利性，惟裝填手本身以連接車內通話控制盒纜線(採螺旋式延伸活動距離)若再連接射控纜線雙重羈絆下造成行動不便。

二、無線傳輸：

在有線傳輸纜線侷限裝填手活動狀況下，射控指令傳輸以無線傳輸為主，無線傳輸目前成熟且運用廣泛區分為WIFI (Wireless Fidelity) 及藍牙 (Bluetooth) 等兩種，比較如後。⁴

(一)WIFI (Wireless Fidelity)：

透過WIFI無線連結多部電腦、手持設備(如PDA、手機)，常用另如家中裝設無線寬頻盒(由有線電視或通信廠商提供)，資訊設備可以透過它鏈結網際網路、控制智能家電及監看網路攝影機，具備同步、即時、多工功能，同時可免除家中線路架設不便問題。

1.優點：傳輸距離遠、傳輸速率高。

2.缺點：

(1)高功率耗損、易受到干擾及傳輸死角問題。

(2)裝置於戰車上易產生與主射控系統及無線電通信射頻干擾，⁵另需額外傳

⁴ 王奕超，〈WIFI、藍牙、Zigbee-無線通訊三強，誰主沉浮？〉，(台北市，數位建築雜誌)，http://www.ibtmag.com.tw/news_article_mobile.asp?mod=1&ar_id=24983，(2022年02月17日)。

⁵ Janine Sullivan Love，〈射頻干擾(Radio Frequency)〉，(台北市，百科知識)，干擾頻率範圍 300KHz-30GHz，<https://www.easyatm.com.tw/wiki/RF%E5%B9%B2%E6%93%BE>，(2022年08月15日)。



輸設備支援。

(二)藍牙 (Bluetooth)：

為主要通資設備無線連接附屬裝置使用，常見如穿戴式行動裝置(如藍芽耳機、手錶、手環或運動心律監控與距離計算裝置)，在短距離(10公尺內)內直接鏈結計算機，每一裝置內嵌識別碼及指定路由(當一般民用設備啟動時必須先完成裝置配對)，可收單機雙向數據往返保密效果。

1.優點：

(1)直接連結附屬設備，同步即時傳遞數據，安全性較高，可設定加密保護，跳頻可達1600次/秒。

(2)不會干擾戰車主射控系統及無線電通信，毋需額外傳輸設備支援。

2.缺點：

為傳輸距離<10公尺，且頻寬僅為1MB，但足夠戰車裝填手於砲塔室內訊號數據傳輸使用。

(三)比較：

與WIFI相比，藍牙的低功率、低成本及高度安全是其優勢，基於以上分析結果，在軍事應用上，建議採用安全性高、功率消耗低、成本低的藍牙技術來當作數據傳輸媒介較為適當，功能比較(如圖12)。

圖12-WIFI與藍芽功能比較表

	優點	缺點
WIFI (Wireless Fidelity)	傳輸距離遠、傳輸速率高	(1)高功率耗損、易受到干擾及傳輸死角問題 (2)裝置戰車上易干擾主射控系統及無線電通信
藍牙 (Bluetooth)	(1)安全性較高，可設定加密保護，換頻可達1600次/秒 (2)無干擾戰車主射控系統及無線電通信等問題	傳輸距離<10公尺，且頻寬僅為1MB

資料來源：王奕超，〈WIFI、藍牙、Zigbee-無線通訊三強，誰主沉浮？〉，(台北市，數位建築雜誌)，
http://www.ibtmag.com.tw/news_article_mobile.asp?mod=1&ar_id=24983，

(檢索時間：2022年02月17日)，筆者整理製作。

伍、裝填手遙控槍塔可行整合方案

戰車裝填手工作項目繁多，是戰車上唯一不在固定位置操作的乘員，戰鬥間必須不斷移動位置，負責砲彈裝填及儲位調整（當備彈射擊完畢，抽取蜂巢彈藥架，補充備射彈，另M1防彈爆倉外圍12發彈藥為翼穩脫殼彈，單倉備射彈為12發，戰鬥間須隨時調儲），戰鬥間隙將空彈殼移出車內，執行不發火處置、M240彈藥再補充、無線電管理與調製，塔頂機槍射擊時裝填手須至砲塔室外以人力操作與車長矮低式五〇機槍遙控槍塔(LP CROWS，如圖13)操作相較，車長具備觀瞄系統與電力伺服操作並在車內以改良式車長顯示單元(iCDU，如圖14)進行觀瞄與射擊(固定式操作握把)，裝填手塔頂機槍研改於車內進行遙控射擊，必須具備車外觀瞄，槍塔電力伺服，車內裝設顯示器(投影瞄準十字絲)及擊發開關之獨立式系統。

圖13-車長矮低式遙控槍塔

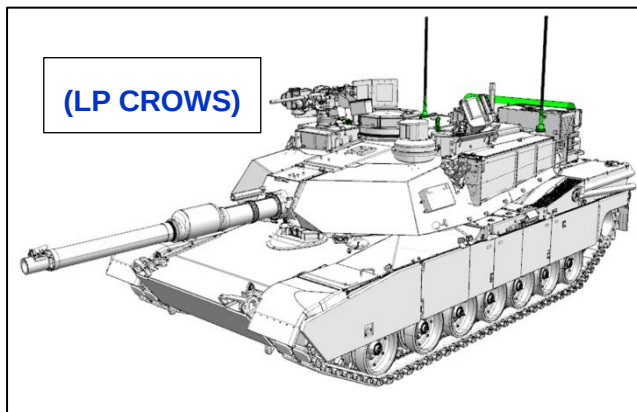
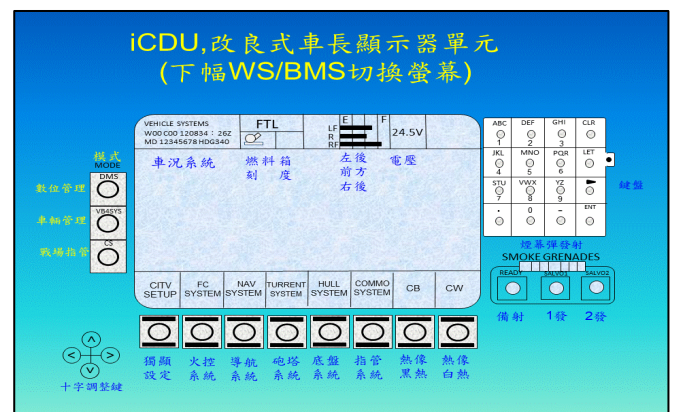


圖14-改良式車長顯示器



資料來源：General Dynamics Land System M1A2T Turret&Hull Layout，(05.Mar.2022)，
(檢索時間：2022年08月26日)

一、塔頂機槍射控現況：

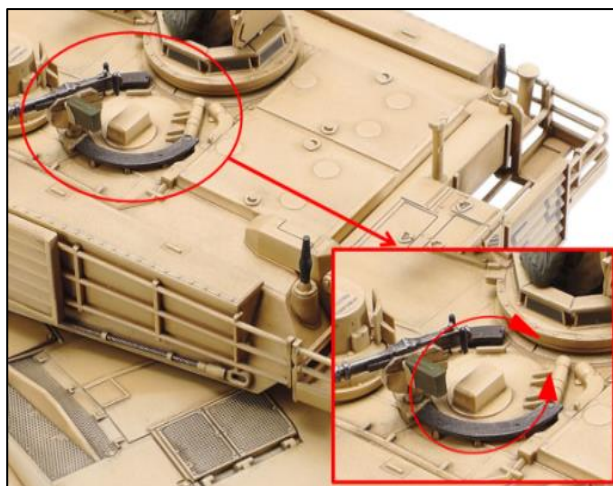
由裝填手實驗性(IMU)操控方式分析結果，可藉由頭盔轉動控制機槍槍座同步瞄準目標，阿帕契直升機30公厘鏈砲隨前座射手頭盔頭部轉動與瞄準不受水平移動限制，戰車裝填手塔頂機槍需裝設槍座與滑軌提供高低與水平有限度方向移動，CM11及M1A2戰車裝填手塔頂機槍分採135°與270°圓弧形滑軌，(如圖15、16)⁶均須以人力推動機槍座沿滑軌移動。

⁶ 李思平/黃峻民，《戰車部署2020》，(台北市，尖端科技軍事雜誌社，2020年1月)，頁134。

圖15-CM11戰車機槍滑軌



圖16-M1A2戰車機槍滑軌



資料來源：Appledaily，〈地表最強戰車M1A2T翠毀搶灘敵軍〉，(台北市，蘋果新聞網，2022年04月16日)，
<https://strtegy.style/archives/taiwan-m1a2t-tank-decisive-battle>，

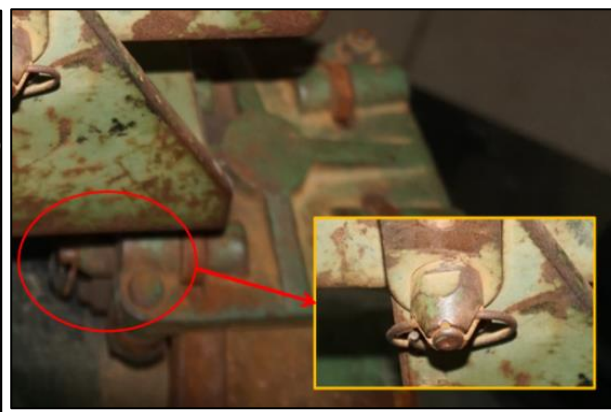
(檢索時間：(2022年03月17日)，筆者整理製作。

當機槍座推動至所望位置後使用插銷固定(如圖17、18)，防止機機滑動，戰鬥間則釋放固定銷但造成遊隙過大影響射擊穩定性，另防空高射角受限於擊發連桿超過 55° 將會夾傷裝填手，此操作方式增加體能負擔且長時暴露車外裝填手傷亡機率高影響戰車整體戰力發揮。

圖17-滑軌滾輪圖



圖18-插銷固定座



資料來源：筆者拍攝製作。

二、塔頂機槍驅動裝置選擇方案：

馬達又稱電動機，是英文Motor的譯名，其功用是將電能轉換成機械能，以驅動機械裝置，通常以電樞轉動方式驅動(如抽水馬達、傳統電扇及電力捲揚機)；隨科技進步馬達用途分類亦趨精細，傳統電樞馬達在起閉電源產生逐步加速與餘速(如關閉電扇仍會轉動才停止)，已不符自動控制設備所需「即轉與瞬停」之性能要求，現行符合自動控制機械設備需求為線性馬

達((Linear Resonant Actuator)，⁷依用途主要區分為伺服馬達及步進馬達兩種，分析比較如後。

(一)伺服馬達(Servo Motor)⁸：

伺服馬達(如圖19)適用於集控式機構，如數位化戰車射控系統可裝置1-3部伺服馬達，由彈道計算機接收感應器(如氣象儀、傾斜角、前置量及測距儀)回傳之數位信號，經解算後再以數位信號傳遞置電子介面儀，轉換為類比信號以伺服馬達控制微量修正(戰車砲轉動修正量以密位「約0.06度/1度=16.67密位」計算，修正量甚微)，用於單一武器系統較不適合，原因有三，第一、系統複雜；第二、體積較大；第三、整合困難。

圖19-伺服馬達



資料來源：最新訊息，〈線性馬達(Linear Resonant Actuator)〉，(桃園市，瑞澤電子公司，2021年11月02日)，
http://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_331，(檢索時間：2022年08月02日)

(二)步進馬達：⁹(Stepper Motor)

步進馬達(如圖20)適用於單一機構，不須裝設感測器及計算機與訊號轉換器，透過迴路控制(Open-Loop Control)以脈衝信號控制馬達速度與移動距離，當槍架到定位後藉電子鎖定防止機槍座滑動(不需固定鎖)，將滑軌設

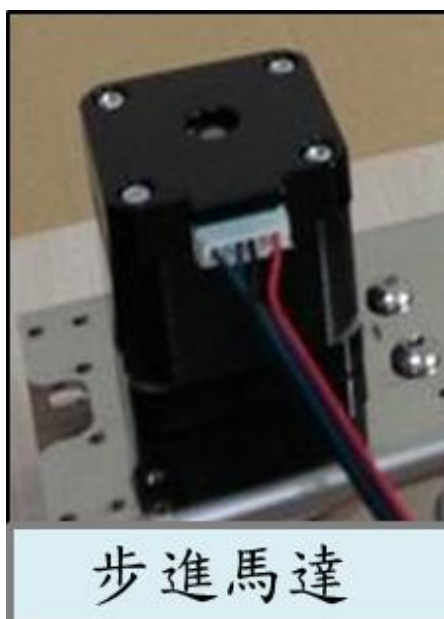
⁷ 最新訊息，〈線性馬達(Linear Resonant Actuator)〉，(桃園市，瑞澤電子公司，2021年11月02日)，線性馬達為高精度直趨式馬達，主要由管狀永磁磁鐵(Shaft)與無鐵芯馬達(Forcer)組成，
<https://www.horustech.com.tw/news/31>，(2022年08月15日)。

⁸ 教教我吧!馬姐(虛擬人物)〈步進馬達與伺服馬達誰的停止精度比較好?〉，(日本，東京都，東方馬達股份有限公司，問答集第33回，2016年03月)，伺服馬達與槍座之間須裝置感應器(Sensor)，當接收伺服放大器信號時與計算機指令比對，以回櫃信號控制槍座移動，http://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_331，(2022年08月02日)。

⁹ 同註7，步進馬達不同於伺服馬達以回饋信號控制，透過迴路控制(Open-Loop Control)，以脈衝信號控制移動速度與距離(可經設定)。

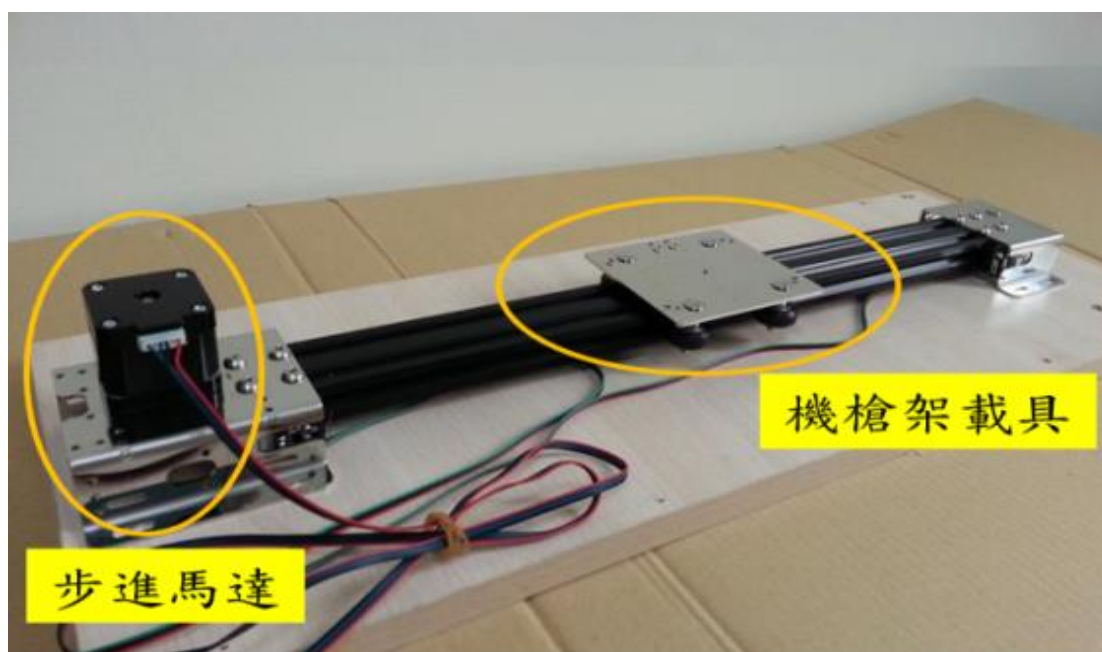
定分段控制點，使塔頂機槍穩定指向目標並保持滑軌鎖定(如圖21)，利於裝填手準確瞄準，可使用搖桿或穿戴式瞄準具進行控制。

圖20-步進馬達



資料來源：最新訊息，〈線性馬達(Linear Resonant Actuator)〉，(桃園市，瑞澤電子公司，2021年11月02日)，
http://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_331，(檢索時間：2022年08月02日)

圖21-步進馬達作動示意圖



資料來源：最新訊息，〈線性馬達(Linear Resonant Actuator)〉，(桃園市，瑞澤電子公司，2021年11月02日)，
http://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_331，(檢索時間：2022年08月02日)，
筆者整理製作。

(三)比較：

與伺服馬達相比，步進馬達的系統接線簡單、低成本及高轉距是其優勢，基於以上分析結果，在遙控槍塔驅動控制上，採用具備構造簡單、成本低廉的步進馬達作為整合機構較為適宜，功能比較（如圖22）。

圖22-步進與伺服馬達比較表

步進馬達		伺服馬達
較慢 (達高轉速相對所需時間較長)	響應性	快 (短時間可達高速2000rpm以上)
轉速中 (速度越高，扭力越低)	速度	轉速高 (最高3000~5000rpm)
簡單	接線	複雜
低轉速，高轉距	特性	高低速，定轉距
2相±5分(0.083°) 5相±3分(0.05°)	定位精度	±1pulse
低	價格	高
運送設備(物品傳輸帶等)	適用範圍	精密設備(機械手臂等)

資料來源：最新訊息，<線性馬達(Linear Resonant Actuator)>，(桃園市，瑞澤電子公司，2021年11月02日)，
http://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_331，(檢索時間：2022年08月02日)

筆者整理製作。

三、塔頂機槍操控握把選擇方案：

戰車乘員工作環境為戰車砲塔內部，遙控武器操作者須使用操控握把進行瞄準，目前操控握把可分為固定式以及手持式，以下就戰車裝填手使用立場，分析、比較如後。

(一)固定式握把：

M1戰車車長(超越與遙控槍雙握把，如圖23)及射手(H型握把，如圖24)附控制鈕與扳機配合光學瞄準具或顯示器，實施觀瞄、搜索與射擊，兩者於可調整座椅操作且視線保持於眼平位置，因此適用固定式握把，裝填手若裝設固定式握把，需增設可調整高低座椅保持眼睛與螢幕於眼平位置惟砲塔室已無空間可供裝設。

圖23-車長座席配置圖

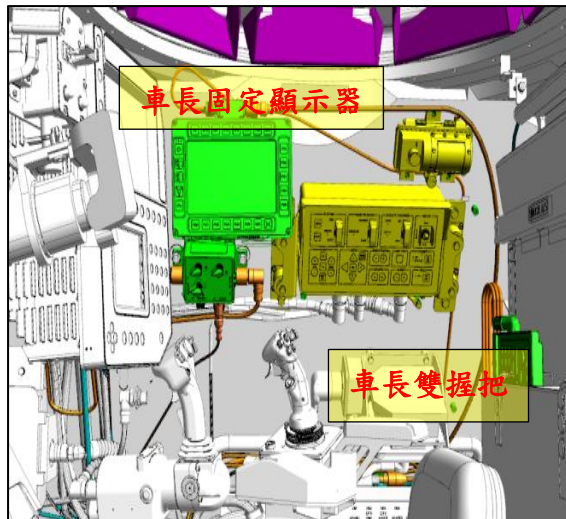
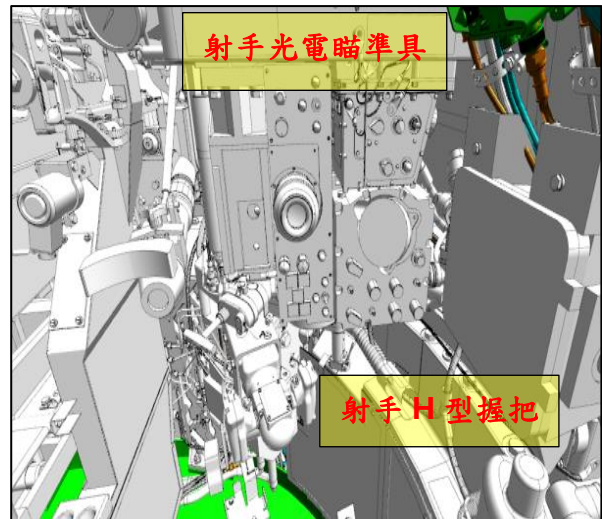


圖24-射手座席配置圖



資料來源：General Dynamics Land System M1A2T Turret&Hull Layout t,(05.Mar.2022)

(檢索時間：2022 年 08 月 26 日)

(二)手持式握把：(如圖25)

固定式握把藉固定基座，操控遙控槍塔水平旋轉與高低俯仰，操作便利且不須長時間練習即可上手，常見為航空器的操作桿(現採線控飛行)，因為固定在駕駛艙內，操作敏捷，飛機反應快速。而手持式握把，有其機動性與便利性，操作上需以手持揮動模擬水平與高低，參考Switch遊戲機手把，裝填手手持式握把參考戰車車長單握把設計，以慣用手、無名及小指，握住啟動開關，食指控制擊發開關，拇指控制四向鍵，握把則以上下擺動及左右移動控制驅動遙控槍塔，裝填手不使用時，可將其取下放置於固定架或防火服口袋內，不影響裝填砲彈等工作。

圖-25手持式握把



資料來源：Nintendo，<Switch Video Game>，(Japan Kobe Nintendo Co.Ltd)，
<https://arzshop.tw/SalePage/index/5345904>，(檢索時間：2022年08月26日)。

(三)比較：

以戰車裝填手而言，其任務除砲(槍)彈藥裝填補充外，另需操作通信設備，考量其任務活動區域及動作幅度大且快速穿梭砲塔室內，在握把選擇上手持式其跟隨機動性與隨時取用便利性等優點較符裝填手需求。

四、塔頂機槍觀瞄系統選擇方案：

觀瞄系統主要任務是將車外影像狀況回傳，進而提供武器操作者進行瞄準射擊，國內科技整合在整合觀瞄或獨立觀瞄系統研製技術上，均已達技術備便水準可直接選用安裝使用，以下就兩種系統進行分析、比較。

(一)整合觀瞄系統：

基於國防自主，採用中科院所研發之「八觀全景車用影像系統」，本裝置為CM-34公厘鏈砲車採用，於車頂上裝置1具遠距與8具近距CCD攝影機，提供車長遠距觀測與駕駛環周影像，遠距離觀測距離3,000公尺，近距離則為200公尺，其缺點為無法投影瞄準具光點以及與塔頂機槍同步操作；若整合於戰車射控系統內，必須另外調整砲塔纜線配置及修正彈道計算機內建程式碼，若採用步進馬達驅動，控制訊號須轉譯，方能驅動塔頂機槍，且目前M1(CM11則為舊世代系統)戰車主射控訊號傳輸流量已達飽和，再附加系統，整合難度較高。

(二)獨立觀瞄系統：

現行輪、履戰鬥車輛車(塔)頂武器系統多採觀瞄與槍砲一體化設計，具備「看到哪裡，打到哪裡」，兼具同步搜索、觀測、測距與遙控射擊功能，裝填手塔頂機槍採獨立設置，必須具備下列功能，第一、全天候作戰能力(含熱能成像系統)；第二、觀測距離需超過塔頂機槍有效射程；第三、觀瞄系統投影(內嵌)瞄準光環或十字絲，並具備寬、窄視界切換選擇，以利裝填搜索與射擊。

本軍研發單位可參考美軍於2022年2月底所展示的「武器瞄準鏡系列-多人武器，(如圖26、27)，(Family of Weapon Sights-Crew Served，以下簡稱，FWS-CS，)¹⁰機槍瞄準鏡系統，它具有內建雷射測距儀、彈道計算機及紅外線夜視系統，具全天候作戰能力，其利用「可調節分劃板」技術的機槍瞄準鏡，使彈道計算機不僅可以計算目標距離，還可以根據空氣密度進行調節，並可以與現有的任何機槍系統配合使用，除了上述功能之外，FWS-CS還可利用無線傳輸技術讓畫面傳送至遠端顯示器上，此時機槍武器操作者就能夠在保持隱蔽的情況下，通過顯示器指揮單一或多個

¹⁰ Davud Fredericks · <Family of Weapon Sight-Crew Served> · (US · BAE · Army-Technology nov.2016) · <https://www.baesystems.com/en-us/product/fws-cs> · (2022 年 08 月 16 日)。

武器系統執行射擊等任務。

圖26-FWS-CS機槍瞄準鏡系統



圖27-FWS-CS無線傳輸示意圖



資料來源：Davud Fredericks, <Family of Weapon Sight-Crew Served>, (US, BAE, Army-Technology nov.2016), <https://www.baesystems.com/en-us/product/fws-cs>, (檢索時間：2022 年 08 月 16 日)，

筆者整理製作

(三)比較：

獨立觀瞄系統可隨槍塔(座)同步轉動操作，可將前方景況回傳砲塔室內顯示器，達到「看哪裡打哪裡及發現敵軍立即攻擊」之目標，獨立觀瞄系統較適合裝填手使用。

五、車內顯示器系統選擇方案：

車外觀瞄系統透過有無線傳輸鏈路，可於車內顯示器畫面顯示裝填手不需探身於砲塔外即可觀察車外狀況，戰鬥間先將塔頂機槍維持在270°方向，隨著砲塔轉動，使塔頂機槍維持主要警戒與偵蒐方向，而目前車內顯示器主要區分為固定與穿戴式。

(一)固定式：(如圖28)

裝填手塔頂機槍顯示器固定於裝填位置砲塔壁，是較佳選項，如同駕駛艙數位儀表板與環週影像，不會置於駕駛室前方，因其主要任務為安全駕駛與觀察前方左、右各65°戰場景況，儀表板及環週影像視需要時才會觀看，當裝填手須察知戰車左側戰場景況或使用塔頂機槍射擊時，將目光轉向固定式顯示器，在不作射擊與觀察使用狀況下，亦可作為裝填手管理站，掌握車裝彈藥數量、記錄射擊狀況及無線電管理(含密件、頻率、呼號、密鑰及密碼)，使顯示器多功能化。

圖 29-固定式顯示器



資料來源：KD&A<防禦者M151遙控武器站>，(Norge Oslo，KD&A Selskap 13.Apr.2001)，
<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E9%81%99%E6%E8%A7%E6%AD%A6%E5%99%A8%E7>
(檢索時間：2022年07月05日)，筆者整理製作。

(二)穿戴式：

區分為整合式頭盔與沉浸式目鏡兩種，整合式頭盔多用於飛行員，顯示戰鬥飛行主要資訊，使飛行員不用分心查看儀表，進行對空、對地攻擊時，作為瞄準具使用。

沉浸式顯示器(如圖30)，已可使塔頂機槍觀瞄系統觀察影像投影其上，若加上前述慣性量測單元(IMU)，即可取代控制握把功能，以頭部俯仰左右擺動控制塔頂機槍轉(移)動，加裝射擊控制器，足以達成同步搜索、觀測與射擊之效；惟裝填手於侷限封閉砲塔空間內，因無法透視外界，取得實境對比參考點，若長期佩掛穿戴式顯示器，視線將影響砲彈裝填等主要工作，若射擊才穿戴，則會產生視覺暫留(Persistence of vision)現象，¹¹如同夜視鏡撥發時，官兵於夜間戰鬥穿戴因與平日視網膜觀看影像景深不同，產生頭暈、目眩，嚴重甚至嘔吐等不適現象，穿戴式系統適用性仍待評估。

¹¹ 張霄亭，〈視覺暫留原理〉，(台北市，圖書館學與資訊科學大辭典，國家教育研究院，2006年12月)，一般稱為正片視覺停留現象，當人眼作急速景象轉換觀看時，或使用穿戴式裝置時最易產生，後遺因人而異，
<http://term.near.edu.tw/detial/16814731>，(2022年08月08日)。

圖-30 沉浸式顯示器



資料來源：符薇兒，〈沉浸式頭戴顯示器〉，(台北市，HTC，2021年10月15日)，
<https://chinese.engadget.com/htc-view-flow-153022828.html>，
 (檢索時間：2022年03月13日)，筆者整理製作。

(三)比較：

頭戴式顯示器在運用在固定位置不需移動位置的使用者，如飛行員或以色列運用於戰車射手上，裝填手需於砲塔內實行彈藥裝填及通信裝備操作，採用固定式顯示器可在裝填手須察知戰車左側戰場景況或使用塔頂機槍射擊時，將目光轉向固定式顯示器較符實需。

六、遙控槍塔系統整合可行方案評估：

前述驅動裝置、射控方式、觀瞄系統、顯示系統及傳輸系統比較，雖各種系統與裝置各有專擅，亦有不同用途，適合塔頂機槍砲塔內遙控射擊列舉(如表1)，甲、乙兩案系統架構圖(如31、32)。

表1-塔頂機槍砲塔內遙控射擊方案比較表

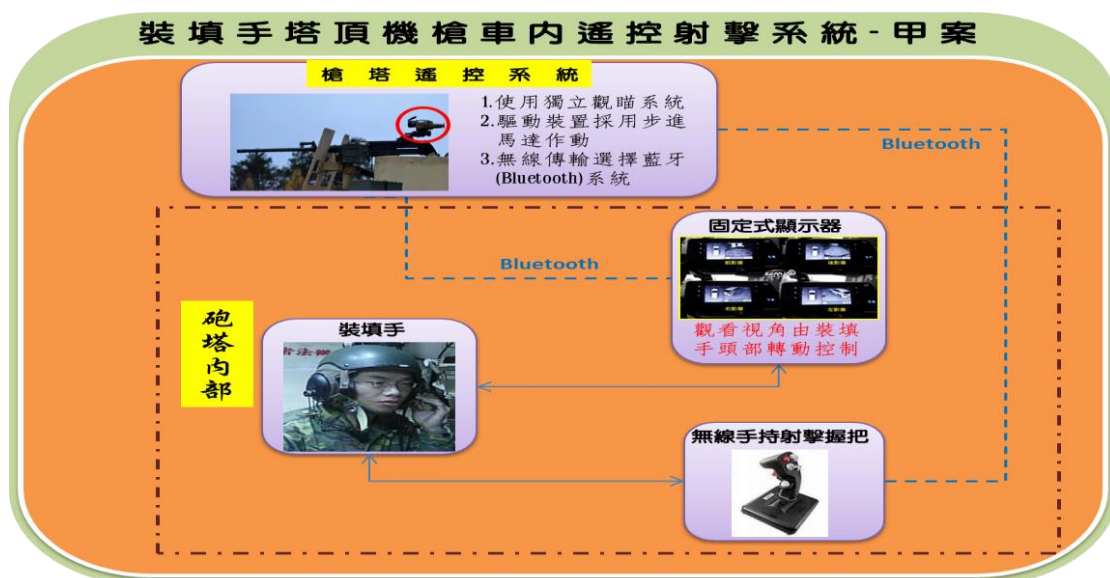
案別 項目	甲案	乙案
驅動裝置	步進馬達	步進馬達
射控方式	無線手持	固定握把
槍塔設計	獨立式	整合式
顯示系統	固定式顯示器	穿戴式顯示器
傳輸系統	無線-藍芽	無線-WIFI
選擇優序	1	2
備註	甲案為較佳，理由： 1.塔頂機槍裝置步進馬達，單一系統整合較為容易不須額外	

設備支援。

- 2.無線手持便於裝填手使用，且可隨身攜行，功能需具備控制槍塔俯仰及迴旋與擊發裝置。
- 3.觀瞄系統與槍座整合設計，觀瞄與射擊同步進行。
- 4.固定式顯示器不影響裝填手工作，且可作為裝填手工作管理站。
- 5.使用藍芽系統作為傳輸介面，簡化鏈路系統整合。

資料來源：筆者整理製作。

圖31-塔頂機槍砲塔內遙控射擊甲案



資料來源：筆者整理製作。

圖32-塔頂機槍砲塔內遙控射擊乙案



資料來源：筆者整理製作。



陸、結論

本研究於實驗階段建置一具基於多軸感測器控制武器之載台，透過慣性量測單元安裝於人體頭部做為控制訊號來源參考，並藉由系統控制板控制載台武器系統進行垂直及水平軸之目標瞄準作業，並參照戰車特性結合中科院所研發之「八觀全景車用影像系統」作為研究基礎。

進一步實況分析將車外景象以藍芽傳輸至裝填手頭盔顯示器上，以達到「看哪裡，打哪裡」之目標，經研究發現穿戴式系統(含頭盔式)影響裝填手主要砲彈裝填工作，未來塔頂機槍車外遙控操控研發需求，先以CM11作為實驗試裝，並驗測其功能與可行性，若獲成功，未來M1A2T戰車獲得獲美方授權許可，將科研成果移植於M1裝填手塔頂機槍，預期效果可保護裝填手安全及提升塔定機槍射擊精度與速度，由於遙控槍塔增加全天候觀瞄光電儀，使戰車成為全方位搜索、增加預警反應時間及消弭觀瞄死角，使裝填手專注於主要工作，避免因直行車外射擊造成傷亡，喪失作戰能力，使戰車接戰速度與效能降低，以確保全戰力發揮，成為真正「陸戰之王」。

參考文獻

一、中文部分

(一) 專書

1. 邱緒詠。《淺談美國 M1 系列艾布蘭主力戰車》。裝甲兵季刊。第 254 期 (2019 年 12 月)。
2. 毒島刀也。《地表最強戰車!M1 艾布蘭徹底追蹤》(瑞昇文化事業股份有限公司)。第 66 頁。
3. 林宏一。《戰車射擊教範(二)》。(桃園市，國防部陸軍司令部，2018 年 7 月 26 日)。
4. 李思平/黃峻民。《戰車部署 2020》。(台北市，尖端科技軍事雜誌社，2020 年 1 月)。

(二) 網際網路

1. 維基百科遙。〈遙控武器系統〉，<https://zh.m.wikipedia.org>。
2. 羅添斌。〈多個國際買家洽詢中科院列清單提外銷申請〉。自由時報。
www.news.ltn.com.tw。
3. 夏天生。〈遙控槍塔發展對步兵戰鬥車之影響〉。(高雄市，步兵學術季刊第 231 期。陸軍步兵訓練指揮部，2009 年 05 月 19)。
https://tpl.ncl.edu.tw/Nclservice/pdfdownload?filepath=lv8oirTfssIWcCxlpLbUfmcCdCaIP8r-hEvBrmDE13YsZMwb6*kyVfCwzok73-3wTa&imgType=Bn5sH4BGpJw=&key=inf13loql_vhTGIFt11XtDcBpnGyRm16iLhTI5RqMeVVu9OMeVVu9OyINNO4qBZJhZJhLTxWd&XmId=006873032。
4. 李思平。〈AH-64E 死亡旋翼特輯〉。(台北市，尖端科技，2018 年 07 月 01 日)。
<http://www.dtn database.com>NEWS.aspx?id=1033>。
5. 王奕超。〈WIFI、藍牙、Zigbee-無線通訊三強，誰主沉浮?〉。(台北市，數位建築雜誌)，
http://www.ibtmag.com.tw/news_article_mobile.asp?mod=1&ar_id=24983。
6. Janine Sullivan Love。〈射頻干擾(Radio Frequency)〉。(台北市，百科知識)。干擾頻率範圍 300KHz-30GHz。
<https://www.easyatm.com.tw/wiki/RF%E5%B9%B2%E6%93%BE>。
7. 臺灣物聯科技。〈全系列系統開發板〉。(Arduino 官網，Arduino tutorial)。
<https://blog.gtwang.org/iot/arduino-uno-tutorial/>。
6. A1-16 智慧型伺服馬達，採用金屬齒輪，提高耐用度，擁有 25Kg-cm 扭力，必可提供位置、內部溫度、電源電壓及電流值、可做為高精密度需求系統馬達使用。
https://www.pololu.com/file/0J1212/A1-16_datasheet_20151229.pdf。



7. IMU(Inertial measurement unit)，大多應用於需要運動控制設備，如載具、機器人或人體姿態感測。
<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-and-mpu6050-accelerometer-and-gyroscope-tutorial>。
8. 互補濾波器(Complementary Filter)。取高頻陀螺儀訊號積分值，同時也感測低頻加速度器訊號，將兩者分別計算數值取比例相加，用以取得更精準角度，<https://read01.com/M3O25M.html#.X2ogGWgzZPY>。
9. A1-16 馬達只需透過一組 MCU(微控制器)串接，達到各別控制之目的，可大幅降低機體設備數量及成本。
https://www.pololu.com/file/0J1212/A1-16_datasheet_20151229.pdf，
 (2022 年 01 月 19 日)。
- 10.張霄亭，<視覺暫留原理>，(台北市，圖書館學與資訊科學大辭典，國家教育研究院，2006 年 12 月)，一般稱為正片視覺停留現象，當人眼作急速景象轉換觀看時，或使用穿戴式裝置時最易產生，後遺因人而異，
<http://term.near.edu.tw/detail/16814731>。
- 11.最新訊息。<線性馬達(Linear Resonant Actuator)>。(桃園市，瑞澤電子有線公司，2021 年 11 月 02 日)。線性馬達為高精度直趨式馬達，主要由管狀永磁磁鐵(Shaft)與無鐵芯馬達(Forcer)組成。
<https://www.horustech.com.tw/news/31>。
- 12.教教我吧!馬姐(虛擬人物)。<步進馬達與伺服馬達誰的停止精度比較好?>。(日本，東京都，東方馬達股份有限公司，問答集第 33 回，2016 年 03 月)。伺服馬達與槍座之間須裝置感應器(Sensor)。接收伺服放大器信號時與計算機指令比對，以回櫃信號控制槍座移動。
http://www.orientalmotor.com.tw/teruyo_det/teruyo_331。
- 13.符薇兒。<沉浸式頭戴顯示器>，(台北市，HTC，2021 年 10 月 15 日)。
<https://chinese.engadget.com/htc-view-flow-153022828.html>。
 (2022 年 03 月 13 日)。

二、外文部分：(網際網路)

- (一)AH-64D Introduction。
<https://tomjordan35.pixnet.net/blog/post/158647316>。
- (二)Arduino。Arduino tutorial。
<https://blog.gtwang.org/iot/arduino-uno-tutorial/>。
- (三)Overview and Characteristics of Servo A1-16。
https://www.pololu.com/file/0J1212/A1-16_datasheet_20151229.pdf。
- (四) Davud Fredericks。<Family of Weapon Sight-Crew Served>。(US，BAE，Army-Technology)。<https://www.baesystems.com/en-us/product/fws-cs>。

筆者簡介



姓名：許弘達

級職：一等士官長教官

學歷：陸軍高中 92 年班、陸軍通校士官高班 95 年班、陸軍專校士官長正規班 98 年班、陸軍專校連士官長督導長班 99 年班

經歷：組長、副排長、連士官督導長，現任陸軍裝訓部總教官室通信組教官

電子信箱：hongda52099@webmail.mil.tw