

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 多載具多目標環境之內嵌式 GPS/IN 導航監控作業平台研究與設計

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-164-004-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：修平技術學院電機工程系

計畫主持人：金之業

計畫參與人員：林儒國，吳信寬

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 9 月 25 日

多載具多目標環境之內嵌式 GPS/INS 導航監控作業平台研究與設計

計畫類別： 個別型計畫            整合型計畫  
計畫編號：NSC 92 - 2212 - E - 164 - 004  
執行期間：92年8月1日    至    93年7月31日

計畫主持人：金之業  
共同主持人：  
計畫參與人員：林儒國、吳信寬（大專生研究助理）

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告    完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
    涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：修平技術學院

中 華 民 國 九 十 三 年 九 月 二 十 五 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 多載具多目標環境之內嵌 GPS/INS 導航監控作業平台研究與設計

### Embedded Operation-Platform Software Design for GPS/INS Navigation in Multi-Vehicle and Multi-Modal Environment

計畫編號：NSC 92-2212-E-164-004

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：金之業 修平技術學院電機工程系

#### 中文摘要

鑑於 GPS/INS 定位導航科技之研究已日新月異，且普遍應用於各式各樣的軍事或商業用途。然而其對多載具多目標的操控，仍侷限於某些特殊論題。本專題計畫即旨在擴展此新穎的 GPS/INS 定位導航科技，期運用於微飛機或自動導航載具機隊執行特定任務航行、多衛星的資訊感測傳輸、無人駕駛潛艇海底探勘與現今相當引人注目的行駛在公路上的自動化運輸車隊等新研究課題。此研究將採內嵌式作業平台結合多目標層級型控制邏輯、分佈式感測與驅動、集中式計算與通訊處理等理念來設計多載具多目標環境之內嵌式 GPS/INS 導航監控系統軟體。

考量多載具之導航功能，本研究係採“寬鬆編隊航行”及“緊密編隊航行”兩種方式來規劃之。寬鬆編隊航行的法則下，吾人僅規範：1.各載具接收 GPS 的定位座標，2.載具靠無線通訊互傳定位資料，3.導航處理器則計算出相對方位、座標及速度。而緊密編隊航行則規範：1.藉視像處理系統追蹤鄰近載具的定位，2.利用運動軌跡公式預測相對航行方位、座標及速度，來確保彼此皆能航行於安全範圍內。

進一步探討多目標系統架構，此乃集結所有控制點(載具之導航電腦)所提供的定位座標資料，及閉迴路控制律所計算的操控驅動參數，共同組合而成的模組架構。另高層次的相關資料運算及邏輯處置，亦須串聯所有控制點及綜合序列演算後方能執行下一步序。建構此一系統除可規劃及預測系統的控制性能，並能設限同步及非同步功能元件間的協調。本計畫提供之內嵌式軟體作業系統優點計：

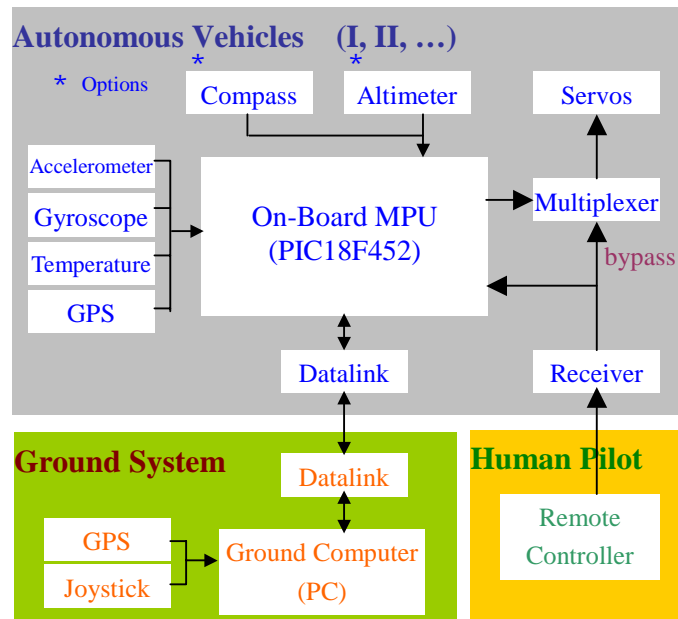
1. 對增減載具數量時，系統修調簡單且不會影響系統安全，具組合容易、驗證方便等操作優勢；
2. 借助外部時基驅動，避免系統因操控參數輸出及量測定位資料不同步時，所造成的航行中之載具抖動；
3. 即時連續閉迴路控制，確實掌握所有控制律的運算、輸出入感測/驅動作用；
4. 採平台式設計以消除過大作業迴路的遞次循環計算，不但可減少 CPU 運算時間，亦能使設計軟體的模組簡化；

採共迴路系統模擬方式，除能較易執行高性能的動態軌跡演練驗證，亦可大大地降低設計研發成本及增進系統擴充方便性。

**關鍵詞：**內嵌式作業平台，共迴路系統模擬，衛星定位及慣性導航系統  
載具自動控制設計，多載具與多目標工作環境

## 一、緣由與目的

本年度延續兩年來專題研究的執行經驗，直接藉由 GPS/INS 的科技整合來設計新世代的無人駕駛載具之自動導航或操控系統已具雛形。然隨科技進展，部份商家也已開發出某種層次的潛力商品。然產官學研仍對科技層級較高、模組設計複雜的多載具與多目標導航 (Multi-Vehicle & Multi-Modal Navigation) MVMM 系統建構有相當大之研發興趣空間[1]。除在軍事應用上多載具與多目標導航有其必要性外，亦能直接應用於機隊航行、進場管制、環保監測、區域巡邏、深海探勘及危難救助等民間用途，例如大規模災害發生，正常通訊設備損毀時，微飛機隊可為臨時通訊中繼載具，並由多架組成跨越地形障礙的通訊鏈，快速建立緊急通訊管道(參考圖一)。



圖一：整合性 MVMM 控制系統硬體架構

為達成上述多載具與多目標的 GPS/INS 整合導航平台，本研究的內嵌式軟體(Embedded Operation-Platform Software)分析須考慮應用諸多技術：

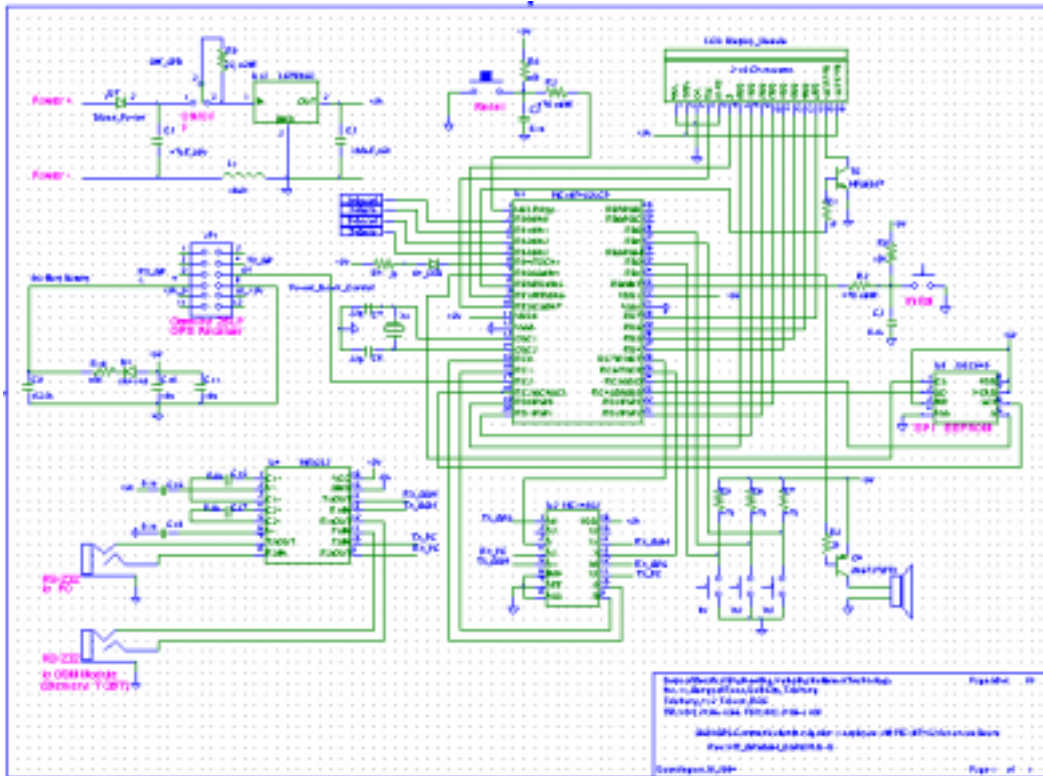
1. Hierarchical Processing of Multi-Targets：藉由層級式作業處理，分階段演算以分析控制多目標之系統參數，並利用 PC 網路(Ethernet)來模擬地面站、遙控及載具間控制器通訊協定，以作為內嵌式軟體模擬測試平台。
2. Distributed Measuring and Servo-System：載具獨立執行回饋量測值擷取，經處理後集中傳送至主控電腦。另亦接收來至遙控電腦的控制指令，作為機構伺服致動器的輸入以實際操控載具航行。
3. 3C (Computation, Communication and Controlling)：當然彼此間的聯繫必須精確的控制律運算、高品質的通訊傳輸及適宜的監控管理，方能讓系統安全無誤及快速準確的達成多載具與多目標的 GPS/INS 整合。

經由 GPS 接收器來計算虛擬測距(Pseudo-Range)及參考座標轉換，另輔以 INS 量測補償以修正運動軌跡向位及速度變率。並採整合型 GPS/INS 導航操控系統，結合傳送器訊號之頻域分析與高、低頻濾波迴路來顯現個別訊號的實際響應。

本研究的最主要目的，係配合航太學門前瞻性計畫所擬推動的微飛機發展第二階段的重點項目：導航控制系統；以提供微飛機視距外飛行與自動導航能力，並延展適用於多載具多目標，使各載具可依特殊指定路徑自動完成飛行任務。亦採前置獨立處理量化之導航 (GPS/IMU)座標定向訊息，再集總各處理迴路的關聯誤差配合相對載具間的輔助視像資訊，來降低因單項失效發散而造成不可修正的效應。

## 二、研究方法

本研究專題利用 MCU 設計一適用於多載具多目標 MVMM 導航控制系統之載具內嵌平台式監測操控系統(參見圖二),以期達成機隊航行、進場、滑行等管控或完成其他特殊任務。每一載具可結合 GPS 及 INS 等不同訊號感測器(Sensors)運作[2],且搭配新穎微小化的晶片模組來提昇系統精度。



圖二：Integrated GPS/INS Aircraft System MCU Schematic Diagram

其中含 HDP(Hybrid Data Processor)軟體模組即用來肩負修調及精算向位與速率變量，並直接藉 PIC18F452LP 晶片所具 ADC 功能設計以擷取二分量的加速度及向角變化數據[3]，不但可利用 IC 科技降低成本、縮小體積，且可增進演算控制性能。未來將搭配 CPLD/FPGA 等元件設計以 IIR 方式處理加速規輸出訊號，減緩機械震動的影響，並可依相對溫度變化、機械精度、尺度轉換及誤差偏移等校驗參數作數據微調(參見表一)。

表一：HDP/GPS Fusion Outputs

INS Sensor Readings	GPS data	Calculated values	
Calibrated accelerometers	Heading	Yaw	Roll and Pitch
Calibrated angular rates	ECEF Position	Corrected ECEF position	Corrected latitude, longitude, and altitude
Temperature	ECEF Velocity	Corrected ECEF velocity	Corrected velocity in tangent frame

載具微處理器間傳輸則藉由序列介面與主控處理器聯繫。除導航操控系統平台獨立，亦可輔以(額外的)視像處理，確實評估載具彼此間的相對位置誤差，以避免不穩定瞬時量測所造成之系統失效。另載具彼此間的訊息溝通，則需經由無線方式通訊相互聯繫。

### 2.1 多載具多目標環境之內嵌式 GPS/INS 監測操控平台軟體設計概論

基本設計概念[4],載具所必須執行的每一個操作程序皆被視為獨立的控制節點(Control Mode,  $q_i$ ),其所規範的相關局部參數(Local Parameters),仍依閉迴路控制系統結構運作。

【假設】：

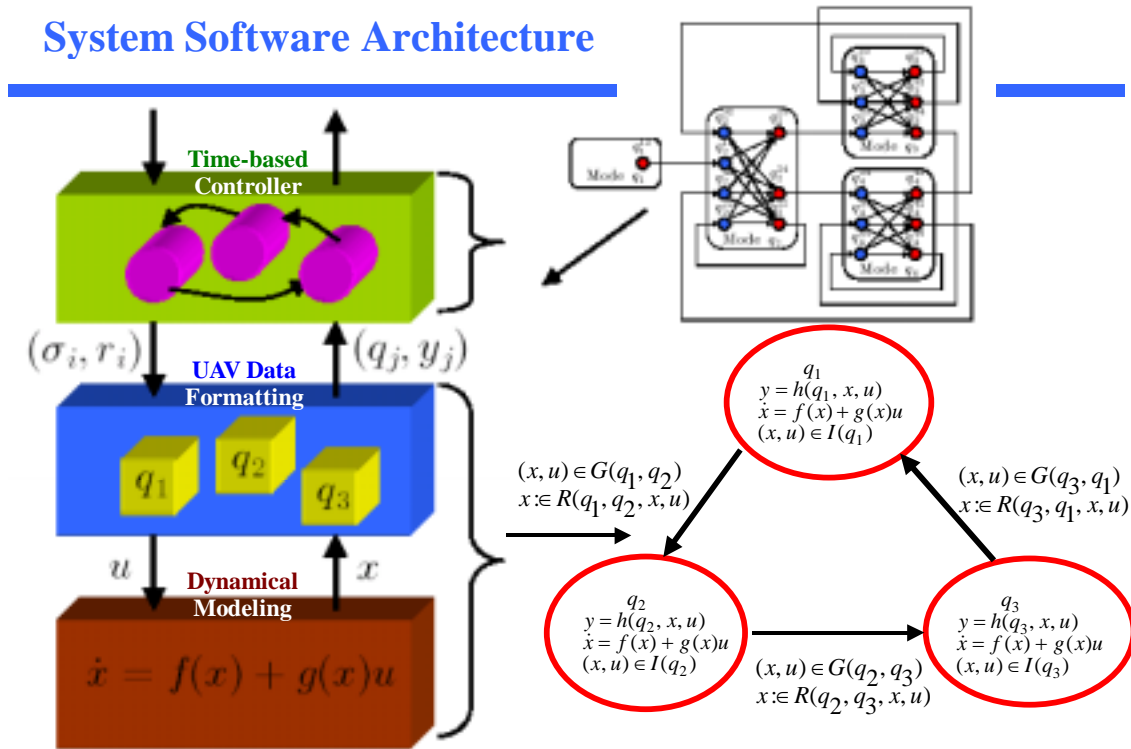
Assume  $r_i \in R_i$  and  $x(t_o) \in S_i(r_i) \subseteq X_i$ , then Guarantee that  $y_i$  approaches to  $r_i$  and  $x(t) \in X_i$ , when  $t \geq t_o$

節點與節點間，分階段規範控制律，相關輸入的控制與預測的非線性數學模型為

For control mode  $q_i$ , Given

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x) + g(x)u \\ y_i &= h_i(x), \quad x \in X \\ u_i &= k_i(x, r_i) \end{aligned} \quad (1)$$

其中  $f(x)$  表示操縱載具運動軌跡方程式 (Kinetic Trajectory Equations),  $g(x)$  則代表操控方程式 (Governing Equations),  $u(t)$  為系統計算輸入的控制設定值,  $x(t)$  為載具 GPS/INS 向位座標、及速度等態變函式參數值, 而  $y(t)$  為載具 GPS/INS 位置座標、向位及速度變率等系統量測值[5]。考慮載具間相對修調誤差及非線性關係, 此處另規範  $y(t)$  為  $x(t)$  的應變函數。當然我們務必要釐訂收斂值域[6], 以確保實際操控的軌跡與預置設定的路徑  $r(t)$  間的偏差皆能維持於規範內。(系統軟體程式建構參見圖三)



圖三：MVMM 導航控制系統軟體程式建構圖

圖三之層級作業平台，我們須設法釐訂適當的處理同步與非同步執行程式 (Synchronous and Asynchronous Component) 間的交連[7]，否則離散序差所造成的連續時間延遲與計算相對誤差，恐將很容易使系統參數發散，而無法操控多載具保持於預定的航道上飛航。

### 2.1.1 2-D 直昇機飛航模型

本文以 2-D 直昇機飛航模型[8]來推演多環境層級平台，即僅考量載具飛行方向  $x$ -座標 (定義由重心至鼻頭之向量)， $x$ -座標座標軸 (係定義由重心指向地心之向量)，其中  $x$ -軸以指向北方為參考基準， $z$ -軸則以垂直向下指向地心為標線。直昇機之航行控制輸入參數為主轉子推力 ( $T_M$ ) 與軸向航行偏異角 ( )，而系統之量測輸出參數為載具  $x$ -座標 ( $P_x$ )、 $z$ -座標 ( $P_z$ )、及俯仰角 ( )，及航行之基本運動關聯數學模型：

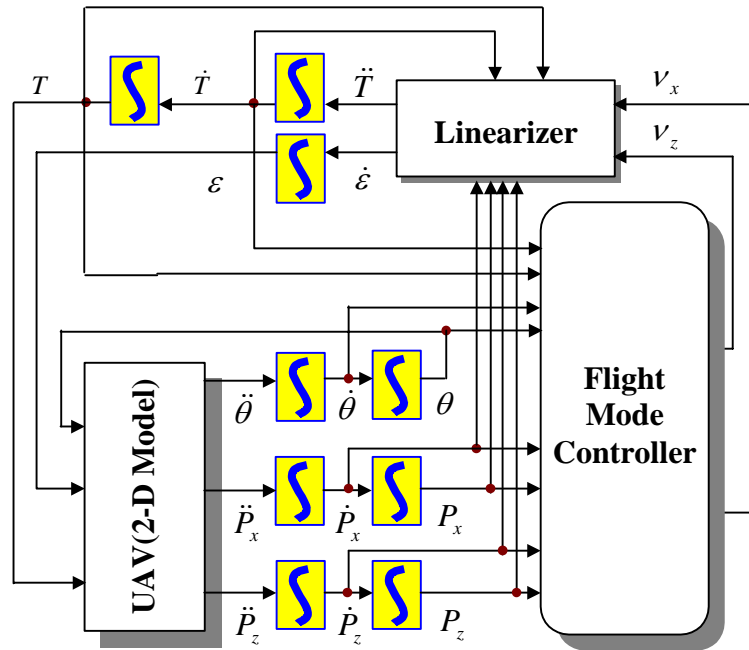
$$\begin{bmatrix} \ddot{P}_x \\ \ddot{P}_z \end{bmatrix} = -\frac{1}{m} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_M \sin \varepsilon \\ T_M \cos \varepsilon \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I_Y} (M_M \varepsilon + h_M T_M \sin \varepsilon) \quad (3)$$

其中  $I_Y$  為載具的轉動慣量， $M_M$  則為系統俯仰扭動鋼性係數(Hub Pitch Moment Stiffness)， $h_M$  乃為主轉子與載具重心之垂直間距，即可定義態變向量為  $x = [P_x, \dot{P}_x, P_z, \dot{P}_z, \theta, \dot{\theta}]$ ，系統輸入向量為  $u = [T_M, \varepsilon]$ 。

### 2.1.2 飛航組態與控制器設定

飛航組態(Flight Modes) [9]係為定義載具在各特定的控制變數下，所對應之不同運動操控狀態(見圖四)，本文定義飛航組態僅分巡航、加速/減速、爬升/俯降及定點盤旋等四類；其中加速/減速亦僅考量高度不變的情況下為之，以簡化控制變數多寡與取捨。



圖四：直昇機飛航模擬組態與控制器

另一方面，態變函式(2)操控輸入採線性回饋式控制[10]，假設態變數  $x = [P_x, \dot{P}_x, P_z, \dot{P}_z, \theta, \dot{\theta}]$  皆為可測(Measurablility)以作為飛航組態控制器的輸入，飛航組態控制器設定如下：

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{P}_x \\ \ddot{P}_z \end{bmatrix} = A(x) \begin{bmatrix} \ddot{T}_M \\ \dot{\varepsilon} \end{bmatrix} + b(x) \quad (4)$$

針對每一特定飛航組態，所設計對應之控制器為線性預測以產生最佳之輸出[11]，於預置的設定組態下，其飛航組態控制器得簡化為：

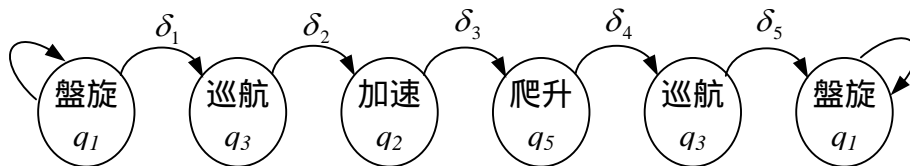
$$\begin{aligned} v_i^P &= -\alpha_{P0} (P_i - C_i^P) - \alpha_{P1} \dot{P}_i - \alpha_{P2} \ddot{P}_i \\ v_i^V &= -\alpha_{V0} (\dot{P}_i - C_i^V) - \alpha_{V1} \ddot{P}_i \\ v_i^A &= -\alpha_{A0} (\ddot{P}_i - C_i^A) \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $i = x, z$ ， $C_i^j$  為組態控制輸入偏差， $\alpha_{jk}$  為組態控制線性係數[12]，若回饋線性控制之輸入以  $u_{feedback} (v_x^j, v_z^j)$  表之， $j = P, V, A$  (Position, Velocity, Acceleration)及  $k = 1, 2, 3$ ，則相對應的飛航組態控制器輸入/輸出可簡化整理如下：

飛航組態	$q$	輸出	輸入
盤旋	$q_1$	$y_1 = [P_x, P_z]^T$	$u_1 = u_{feedback}(v_x^P, v_z^P)$
巡航	$q_3$	$y_3 = [\dot{P}_x, P_z]^T$	$u_3 = u_{feedback}(v_x^V, v_z^P)$
加速	$q_2$	$y_2 = [\ddot{P}_x, P_z]^T$	$u_2 = u_{feedback}(v_x^A, v_z^P)$
減速	$q_4$	$y_4 = [\ddot{P}_x, P_z]^T$	$u_4 = u_{feedback}(v_x^A, v_z^P)$
爬升	$q_5$	$y_5 = [\dot{P}_x, \dot{P}_z]^T$	$u_5 = u_{feedback}(v_x^V, v_z^V)$
俯降	$q_6$	$y_6 = [\dot{P}_x, \dot{P}_z]^T$	$u_6 = u_{feedback}(v_x^V, v_z^V)$

### 2.1.3 飛航組態序列模擬

本計畫模擬環境暫設直昇機由 20m 爬升至 100m 處, 所遵循的飛航組態序列為: 盤旋 加速/減速 巡航 爬升/俯降 巡航 盤旋, 構成一基本操控循環[13], 另考量最大爬升速度: 6m/s; 俯仰角度: 10° 等操控限制條件, 此特定飛航組態序列規劃如圖四。



圖四：模擬直昇機由 20m 爬升至 100m 處之飛航組態序列

此處  $\delta_i, i=1, 2, 3, 4, 5$  為系統操控事件,  $\delta_1$  可輕易由駕駛員或遠端遙控輸入加速量值, 緊接著爬升等航行動作極限則規範如下:

$$\delta_2 : ((V > 6) \wedge (|P_z - 20| < \eta_z)); \quad (6)$$

$$\delta_3 : ((|V - 6| < \eta_v) \wedge (|\gamma| < \eta_\gamma)); \quad (7)$$

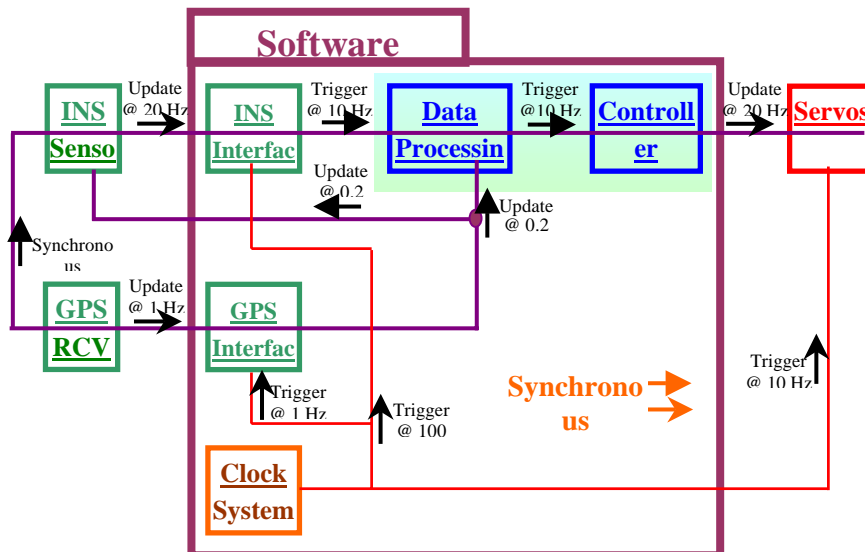
$$\delta_4 : |P_z - 100| < \eta_z; \quad (8)$$

$$\delta_5 : ((V < 6) \wedge (|P_z - 100| < \eta_z)); \quad (9)$$

其中定義航行速度  $V = \sqrt{\dot{P}_x^2 + \dot{P}_z^2}$ , 航行路徑角度  $\gamma = \tan^{-1}(\dot{P}_z / \dot{P}_x)$ ,  $\eta$  為系統精度。

### 三、實務研討與分析

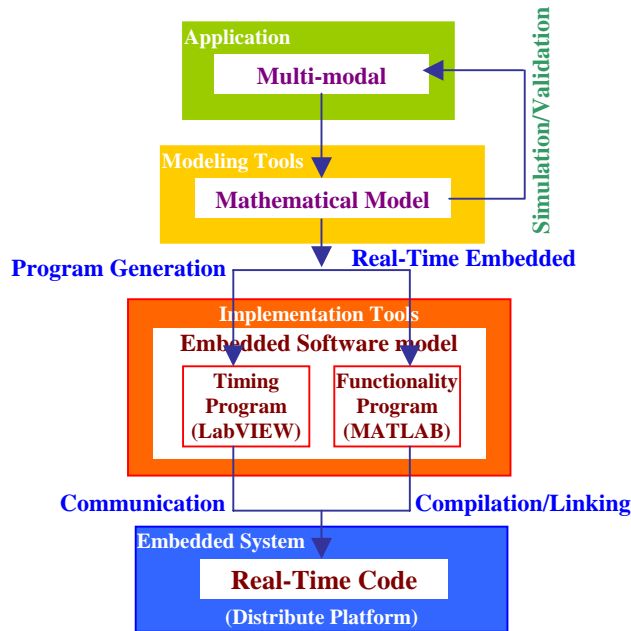
上述飛航模擬組態與控制器略分三個層級: 動態飛航控制律為連續時間函數, 飛航組態切換為離散時間函數, 時序操作硬體架構如圖五。



圖五：Hardware structure of an embedded flight control system

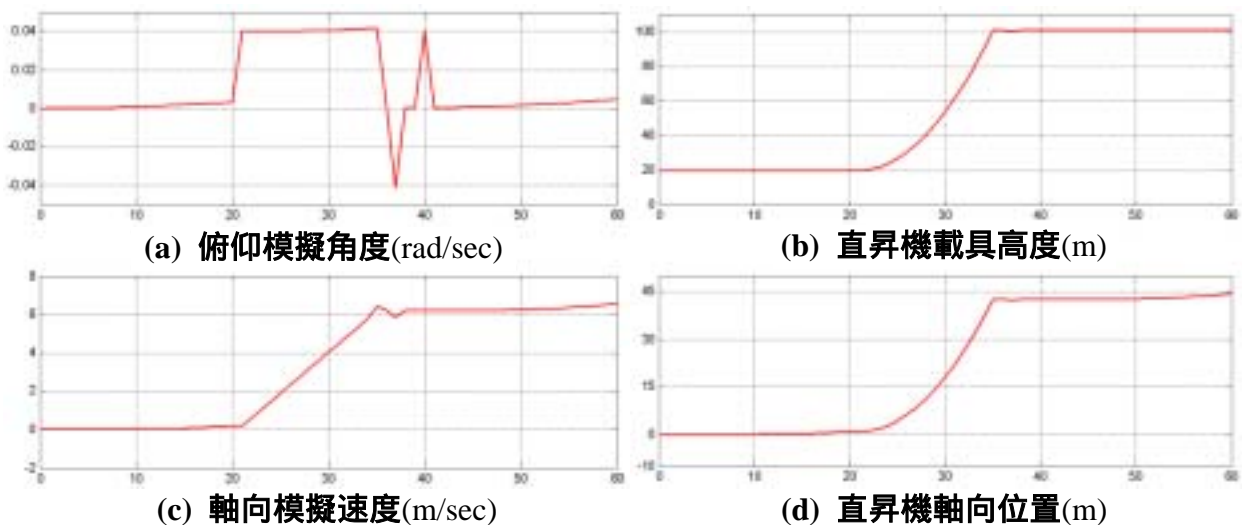


態變輸出入則遵循特定法則及驅動模組之運動極限判斷規範之，另軟體元件同步與非同步執行流程必須確實協訂，利用系統時基作精確模組之時序誤差控制，Kalman 濾波以處理 GPS/INS 導航態變方程式[14-16]。內嵌式導航監控作業平台發展概念參見圖六，內述 Multi-modal 及 Mathematic-model 將利用簡單的例題來分別說明其關聯性。



圖六：The Proposed Embedded Operation Software development process

圖七為採取本研究法以模擬直昇機由 20m 爬升至 100m 處之飛航組態  $[\theta, P_z, \dot{P}_x, P_x]$  數據圖，簡化模擬過程中前 20 秒操控系統僅維持(Idle)主轉子推力以使載具能克服自身地心引力的影響，確保直昇機可作定點盤旋而不產生 x-軸及 z-軸的加速度。爾後可由遙控操縱或設定俯仰傾角(Pitch Angle)約 0.04 rad/sec，此時  $T_M$  所造成的分力則使載具緩慢地加速至系統速度限 6m/sec，並讓直昇機循序漸進地爬升至指定高度(100 m)。此模擬所使用的操控動態數學模式仍然遵循前章節規範的公式 1~9，圖七(a)即為系統俯仰傾角的模擬結果，並於完成爬升至目標處時，瞬間壓回俯仰操縱桿以穩定載具於水平定向；圖七(b)則為載具爬升路徑的 z-軸座標變遷；吾亦可由圖七(c)看出系統乃採穩定增強載具推力作等加速度運動；圖七(d)則為直接對速度作積分以計算載具軸向 x-軸座標。



圖七：模擬直昇機由 20m 爬升至 100m 處之飛航組態  $[\theta, P_z, \dot{P}_x, P_x]$  數據：(a) 俯仰角度，(b) 載具高度(z-axis)，(c) 軸向速度，(d) 載具位置(x-axis)。

#### 四、計畫結果與檢討

本專題研究整合 GPS/INS 導航操控模組，設計多載具多目標環境之內嵌式 GPS/INS 導航監控軟體平台(Embedded Operation-Platform Software Design for GPS/INS Navigation in Multi-Vehicle and Multi-Modal Environment)。最主要目的係配合航太學門前瞻性計畫所擬推動的微飛機發展第二階段的重點項目：導航控制系統；以提供微飛機視距外飛行與自動導航能力，並延展適用於多載具多目標，使各無人駕駛飛機得分別依指定路徑，自動有效的操控來完成其飛行的任務。亦將特別採取前置獨立處理所量取之導航(GPS/INS)訊息，再集總各載具座標方位、速度等資訊。控制律設計延續 Wiener-Kolmogorov model and Non-linear Control algorithms 作控制輸出，不僅可同步操縱機隊飛航，亦能作航機進場監控管制，更符合無人載具(Unmanned Autonomous Vehicle)之操控需求。此方面的應用可大幅改善衛星導航的環境限制，且可使無人載具作較大規模的地域觀測或深海探勘，直接應用於急難救援、農業服務、軍事戰略及海域巡防等特殊服務。年內完成的工作項目計：

1. 延續 90, 91 年度專題研究心得，提升系統之擴展性以模組平台化改良為適用於多載具多目標工作環境。提供各載具即時操控及分時處理 I/O 監測及控制程序。

程式平台 (導航系統)：主要功能係提供完整的系統時序監測及操控環境，不但可規劃所有的程序週期，且可實際操作程序運作。其相關演算的導航系統輸出/入參數，皆直接連接至模組平台的定位感測儀及驅動致動器。

模組平台 (架構系統)：主要功能係緩衝定位感測儀及驅動致動器，避免其與內嵌程式軟體做直接接觸，但可獨立執行其與不同定位感測儀間的通訊協定，解調其特有的編碼、資訊內涵及時序規範，然後再轉換為應用程式介面(API)，以提供程式平台執行程式演算及監控同定位感測儀。

2. 建構內嵌式 GPS/INS 監控軟體平台，分為：Data Processor、Shared Memory、Time-based Controller、Data Formatting Library 等四項程式模組，

Data Processor：驅動定位感測儀及致動器、分時處理擷取訊號、資料直接傳輸至共用記憶體。主控電腦於此並不作編碼格式轉換，以專注動態軌跡的迴歸演算。

Shared Memory：作為同步及非同步程式處理步驟間溝通橋樑，另採循環式緩衝步序以讓系統能執行瞬時讀寫的動作。

Time-based Controller：專注於執行控制律的運算及搭配 Kalman or Wiener Filter 的誤差模組計算，以確保系統控制參數收斂於釐訂的誤差範圍內。

Data Formatting Library：允許上層控制程式能交換感測訊息，將控制參數送至驅動器。關聯的獨立數據格式都內含並藉由 C++ 語言來撰寫建構。

本計畫結果及成效及研究論述見[17-20]，對航太學門的衛星導航學術研究、國家計畫推動的微飛機發展及其他軍事或商業等應用方面之預期貢獻說明如后：

1. 多載具多目標環境之內嵌式 GPS/INS 導航監控軟體的建構平台，有效作為微飛機或無人駕駛載具的導航操控系統，所提供的功能不但可直接操控多機航行，亦可預劃航行軌跡，讓載具能執行不同的特殊任務。
2. 內嵌式作業平台的設計理念大幅的降低監測或操控系統開發時間，而研發軟硬體成本相對的低廉。係採 Matlab or C++ 語言建構控制律及量測訊號的讀寫動作。若改良為圖控互動式設計環境以提升教學訓練、偵誤除錯、反覆測試及性能驗證等多項優異特色。
3. 酌情與評估應用理論研究的成果申請設計專利或與國內工業合作，採數位處理

(DSP Technology)降低成本，軟體模組(Software Modules)更可與微處理器或單晶片搭配。開發 e-世代產品提昇工業競爭力，抑或結合衛星網路電腦、個人通訊輔助裝置(PDA)等實質效益，加速航太通訊導航產業升級。

4. 未來將採數位視像處理技術來處理緊密編隊航行(Tight Formation Flight)以確保安全間距，計算出個別載具的適宜路徑軌跡，以輸出導航操控參數。輔助功能可大幅提昇衛星導航、偵測操控等整合系統的重覆性、可靠度，確保航管及飛航安全及作為下一世代導航的專屬配備。

## 五、參考文獻

- [1] T. John Koo, George J. Pappas and Shankar Sastry, "Multi-Modal Control of System with Constraints", *Proc. of IEEE 40<sup>th</sup> Conference on Decision and Control*, pp. 2075-2080, Orlando, Florida, USA, Dec. 2001
- [2] C. Y. King, "Non-linear navigation architecture of integrated GPS/INS for autonomous or remote pilot vehicles", *Proceedings on ION NTM 2004*, Session E3, pp. 1137~1142, San Diego, California, USA, Jan. 26~28, 2004.
- [3] "PIC18FXX2/XX8 FLASH Microcontroller Programming Specification", *The MICROCHIP Technology Inc. Report DS39576B*, 2002.
- [4] J. H. Taylor and D. Kebede, "Modeling and Simulation of Hybrid Systems in MATLAB", *Proc. of IFAC World Congress*, Vol. J, pp. 275-280, San Francisco, USA, July 1996.
- [5] T. Henzinger and C. Kirsch, "The Embedded Machine Predictable, Portable Real-time Code", *Proc. of the Conference on Programming Language design and Implementation*, ACM, pp.315-326, 2002.
- [6] D. H. Shim, T. J. Koo, F. Hoffmann, and S. Sastry, "A Comprehensive Study of Control Design for an Autonomous Helicopter", *Proc. of IEEE 37<sup>th</sup> Conference on Decision and Control*, pp. 3653-3658, Orlando, Florida, USA, Dec. 1998.
- [7] A. Benveniste, P. L. Guernic, and C. Jacquemot, "Synchronous programming with events and relations: The Signal Language and its Semantics", *Science of Computer Programming*, Vol. 16, No. 2, pp. 103-149, 1991.
- [8] T. J. Koo and S. Sastry, "Output Tracking Control Design of a Helicopter Model based on Approximate Linearization", *Proc. of IEEE 37<sup>th</sup> Conference on Decision and Control*, pp. 3635-3640, Orlando, Florida, USA, Dec. 1998.
- [9] T. J. Koo, F. Hoffmann, H. Shim, B. Sinopoli, and S. Sastry, "Hybrid Control of Model Helicopter", *Proc. of IFAC Workshop on Motion Control*, pp. 285-290, Grenoble, France, Oct. 1999.
- [10] H. Theiling, C. Ferdinand, and R. Wilhelm, "The fast and precise WCET predications by separated cache and path analysis", *Real-Time Systems*, Vol. 18, No. 2-3, pp. 157-170, 2000.
- [11] P. J. Mosterman, "An overview of Hybrid simulation phenomena and their support by simulation packages", *Proc. of 2<sup>nd</sup> International Workshop on Hybrid Systems: Computation and Control*, LNCS 1569, pp. 165-177, Springer, 1999.
- [12] F. A. Faruqi, "Non-linear mathematical model for integrated globe position and inertial navigation systems", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 115, pp. 191-212, 2000.
- [13] K. Altisen, G. Gosseler, A. Pnueli, J. Sifakis, S. Tripakis, and S. Yovine, "A frame-work for schedule synthesis", *Proc. of IEEE Real-Time Systems Symp.*, pp. 154-163, 1999.
- [14] 金之業, "LabVIEW 即時全球定位系統顯示與座標轉換之應用設計", 2004 通信電子科技與應用學術研討會, Session A5, Paper ID: CECA059, May 28, 2004.
- [15] C.Y. King, " Non-linear navigation architecture of integrated GPS/INS for autonomous or remote pilot vehicles", *Proc. on ION NTM 2004*, Session E3, pp. 1137~1142, Jan. 26~28, 2004.
- [16] C.Y. King, "整合型 GPS/INS 自動導航之非線性操控系統研究", 2003 年中國航空太空學

會/中華民國航空學會學術研討會, Ref: B2, Dec. 19, 2003.

- [17] C.Y. King, "Virtual Instrumentation-Based System in a Real-Time Telemetry of GPS/GIS", *Proc. on IEEE RAST2003*, Session S6B, pp. 379~384, Istanbul, Turkey, Nov. 20~22, 2003.
- [18] 金之業, "全球衛星定位測距最佳化設計", 2003 航空電子科技與應用研討會, 空軍軍官學校, 台灣高雄, Oct. 17, 2003.
- [19] C.Y. King, "Study of a Concise Programming for GPS Positioning and Navigation", *Proc. on CAC 2003*, C10-4, pp. 548-553, March 13~14, 2003.
- [20] C.Y. King, "Study on a real-time LabVIEW prototype of the GPS system", *AMTE 2002 IEEE/ASME International Conference*, A103, Chia-yi, Taiwan, Aug. 11~14, 2002.

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 多載具多目標環境之內嵌 GPS/INS 導航監控作業平台研究與設計 Embedded Operation-Platform Software Design for GPS/INS Navigation in Multi-Vehicle and Multi-Modal Environment

計畫編號：NSC 92-2212-E-164-004

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：金 之 業 修平技術學院電機工程系

### Abstract

In order to implement the well-developed GPS/INS navigation technology being applied successfully for some special destinations; such as: unmanned aerial vehicles performing mission collectively, satellites for distributed sensing, autonomous underwater vehicles performing exploration, and/or autonomous cars forming platoons on roads, this research is proposed to study the state-of-art designs such as hierarchical control of multi-agents, distributed sensing and actuation, computation/communication and embedded software.

For multi-vehicle navigation, two concepts as loose formation and tight formation flight being applied. In a loose formation flight, we concisely defined that GPS provides global positioning information to vehicles; wireless network is used to distribute data between vehicles; and navigation computer on each vehicle calculates their relative orientation, distance and its velocities. Furthermore, vision system is provided to track neighboring vehicles and motion algorithms running to estimate the relative orientation, distance and velocities to navigation computer, which is organized in the tight formation flight.

Consequently, the multi-modal systems are designed as a collection of control modes by given a continuous control system and each high-level task is specified as a sequence of control modes. Such a system will facilitates a predictable closed-loop performance and bounded interaction between asynchronous and synchronous components. Advantages of this embedded platform are allowing compatibility and validation for the safety critical systems, avoiding jitter by triggered timing device, real-time control block for handling all process resources and all I/O procedures, platform-design eliminating the large-loop iterations and restricting design space via new forms of regularity and structure for low cost and first-pass success. Finally, this project will involves a novel testing skillfulness of using hardware-in-loop simulation to evaluate a high performance maneuvers under on-line GPS/INS navigation.

**Keywords:** Embedded Operation-Platform, Hardware-in-loop Simulation, GPS/INS  
Autonomous Vehicle Design, Multi-Vehicle and Multi-Modal Environment