

# 虛擬 模擬環境 技術探索指南



您的虛擬模擬之旅從這裡開始

**數位模擬環境**的主要目的是以3D合成化環境來令人沉浸於訓練體驗。其方法是以第一人稱互動式的想定及環境來顯示真實情境以進行訓練、實驗及學習。

### 訓練

數位模擬環境非常適合應用在一些以實體裝備進行訓練時會造成高成本或高風險的訓練上。數位模擬環境亦可達成在現實中很困難或不可能實現的訓練環境。

### 進行研究及實驗

舉例來說，研究員使用進階駕駛模擬器來研究駕駛在分心或受影響的狀況下的反應。

**當駕駛邊開車邊打字時遇到緊急狀況時的反應能力為何？**

### 開發技術流程(TTP)

數位模擬環境可以應用在開發及測試即將啟用的新系統的應用策略、有效技術及安全操作程序。

### 集成人因系統(人機系統整合)

樣板系統能夠快速地替開發中的系統建立人因測試環境。研究員可使用即時的數位模擬環境來評估工作量，設計使用者及實體操作介面，並且以不同條件及壓力進行實驗。

**操作手能在只有一個控制站的情況下控制多架UAV嗎？**

### 虛擬載具之型式



### 測試

可以用模擬的方式對新系統執行更有效、更廣泛的初始測試。飛機製造商在組裝飛機時使用工程用飛行模擬器來測試實體飛行系統及控制介面。許多飛行系統的測試流程可以使用模擬器來達成，甚至可以取代各種需要專業測試飛行員的試飛演練，從而降低成本及風險。

### 研發環境(研究和開發)

數位模擬環境常用於檢驗諸如車輛、飛機等新裝備是否擁有更高的安全性、生存能力及性能。

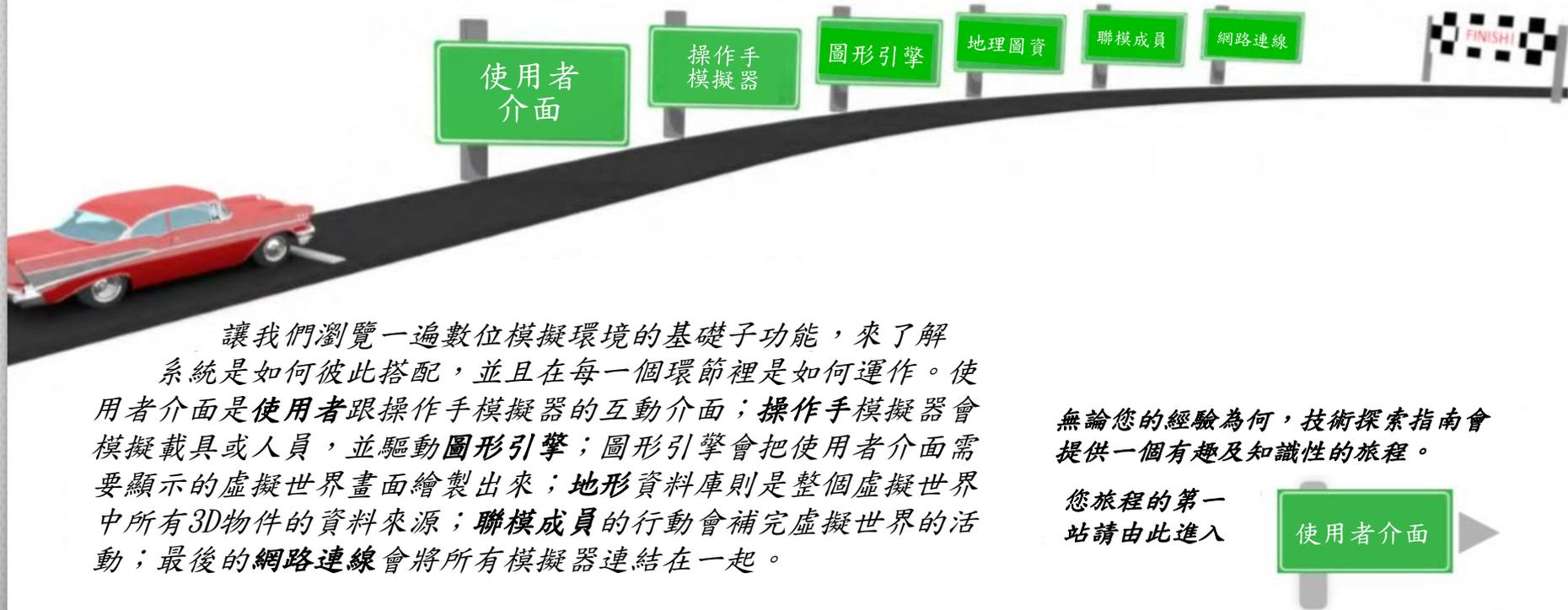
**在裝甲車的車身周圍加裝攝影機及感應器是否能提高對周遭危險的偵測能力？**

還有許多的載具型式及其相關人為特性議題，可以被討論與實現。其他未能顯示在圖上的載具，需由您決定所想要的模擬載具後來開發。

## 需要了解這些元件是如何提高模擬器的仿真程度

模擬器的仿真程度需求取決於學習目標、研究目的、檢驗項目及訓練科目。舉例來說，熟悉一架飛機的駕駛手感的難度遠高於學習如何在飛行中與控制塔台做通聯。前者需要一個擁有動態平台及高反應率顯示系統的超擬真模擬器；而後者只需要一個簡易型的飛行模擬器即可。

整個系統的仿真程度由所有子功能的仿真程度綜合而成。



**使用者介面**，有時候也稱作人機介面，在模擬器中屬於實體裝備的一部分，讓使用者能夠控制模擬器及感受虛擬環境的回饋。

A red classic car is shown from a rear three-quarter view, driving on a road that curves to the right. Above the car, a series of green rectangular signs are mounted on poles, receding into the distance. The largest sign in the foreground contains the text '使用者介面'. The subsequent signs contain the words 'ip', 'ge ator', 'The rrain', 'Other ederates', and 'The Network'. A checkered flag is visible on the right side of the road in the background.

## 使用者介面

使用者介面會連接及控制操作手模擬器，同時圖形引擎會建立虛擬世界的視角然後呈現在使用者介面的顯示畫面中。

## 操作方式

使用者的操作方式可以是簡單的，譬如鍵盤滑鼠、觸控面板、遊戲控制器，或者是複雜的車輛實體模擬器。

鍵盤滑鼠



在仿真程度最低的狀況下，例如「加/減速」、「左/右轉」、「按喇叭」之類的操作功能可以對應到鍵盤的按鍵、滑鼠點擊或移動。好處是可以使用非常低成本的電腦硬體來達成。

遊戲控制器



下一個級別是遊戲控制器，他會具有四向控制器、按鈕或切換器、甚至像是方向盤、飛行搖桿、推進器控制桿等專用控制器。這些控制器可以擺放在桌上或夾在桌側來對應實際操作載具時他們的相對位置。

人體工學控制器



再進一級，控制方式會更符合人體工學設計。也就是說，這些控制器會被安裝在框架或裝備中相對於操作手來說正確的位置。

沉浸式座艙



最好的狀況是，整個操作介面會具備所有完整功能的控制器並且在安裝在正確的位置，整個操作艙具備與實際載具非常相似的儀表顯示與外觀。

使用者介面的仿真程度很直接的反應了模擬器整體的真實感。介面必須提供必要的控制跟回饋來達成訓練目標的需求而無須多做其他的花費。

取決於載具的種類，你可能稱呼它為「駕駛艙」、「座艙」還是「艦橋」，這個使用者介面仿真程度的獨特性讓操作手能沉浸在逼真的載具環境中。符合人體工學的控制器令人看或感覺真實，而艙室外殼給人一種在載具內的感受。

駕駛艙



## 回饋

回饋是指從模擬環境中反饋給受訓者的刺激訊號。在五官的感受中，視覺、觸覺及聽覺都非常重要。

### 顯示-視覺

視覺回饋是目前為止最重要的部分，它提供了對模擬環境來說必要的視野及理解方式。我們將視覺回饋分為兩個部分：視覺場景生成，這部份我們將在圖形引擎的章節討論、另外就是將這些場景呈現給使用者的顯示設備。

筆記型電腦  
(平板電稿)



單一顯示器



多顯示器



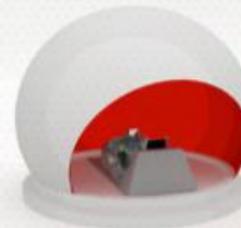
頭戴式顯示器



環景投影



球型投影



頭戴式顯示器的獨特之處在於，他們使用相對來說較少的畫素，透過將顯示器戴在使用者的頭部並隨著使用者面向的方位改變顯示畫面的方向來讓使用者感覺身歷其境。儘管頭戴式顯示器已在模擬業界使用了超過20年，但對於虛擬實境(VR)的興起主要歸功於例如Oculus及HTC Vive等產品的技術進步。

## 體感-觸覺

在最低階的狀況下，鍵盤及滑鼠不提供任何的體感回饋。遊戲控制器可以提供少量由模擬環境控制的震動效果作為物理回饋。高級一些的仿真模擬器可以提供推力或拉力的模擬從而更準確的模擬真實設備。最高階的狀況是使用實際或仿造的設備來提供與實際載具相同的感受。理所當然，擁有與實際載越相近操控感的模擬器，它的成本就越高。

無



震動



壓力



準確感壓



## 另一部分的體感是全身(或車輛底盤)的動態感

無動態感



小型動態平台



全艙動態平台

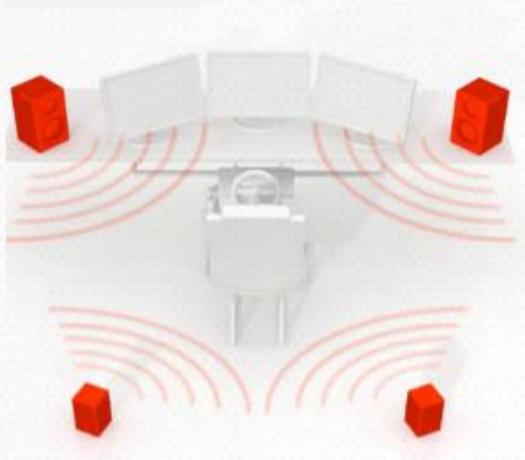


介面的仿真程度應符合訓練目標。培養飛行的駕駛手感必須要有一個完整的沉浸式駕駛艙。一個與實際裝備幾乎完全相同的模擬器能讓複合式訓練內容更加真實。搖桿控制器可能適合用於某些種類的訓練，例如感測器或武器系統的操作。鍵盤滑鼠可適用於暫時接管原本由電腦控制的載具的操作。

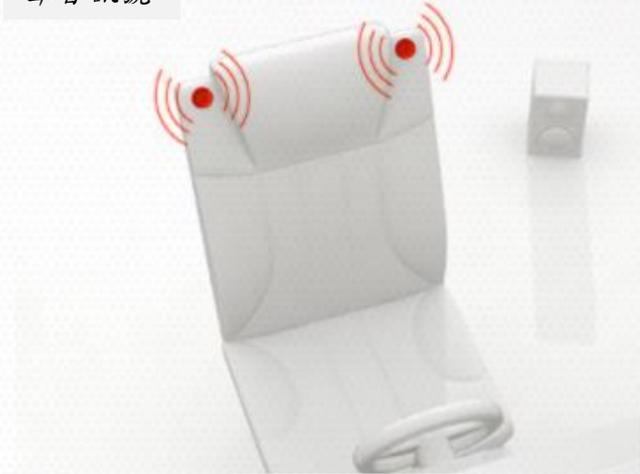
## 聲音-聽覺

音效是模擬器提供沉浸感的重要來源。人物模擬器將一些像是腳步聲、說話聲和車輛噪音等環境音放到人物附近。而駕駛模擬器則透過加入汽車喇叭聲、警笛聲和靠近車輛的人等聲音讓模擬更加逼真。另一方面，對飛行員來說他聽不到外界的聲音，但飛機有發動機的噪音及聲音警示系統來提醒駕駛員。當受訓者需要跟其他操作手通訊時，可能需要耳機和麥克風。

環境音



聲音訊號



通訊



模擬器可能需要提供像是越靠近越大聲的3D空間音效，或是有方向性的聲音來提供空間感。或者像是在提供警示音效時，聲音可能來自實體車輛模擬器的某個喇叭。

**操作手模擬器**(主要是指載具模擬器或虛擬角色)是用來模擬使用者正在操作的載具或者人物。操作手模擬器需要塑造運動狀態、感應器、武器及其他所有系統來呈現它所代表的載具或者人物。



操作手模擬器

圖形引擎

地理圖資

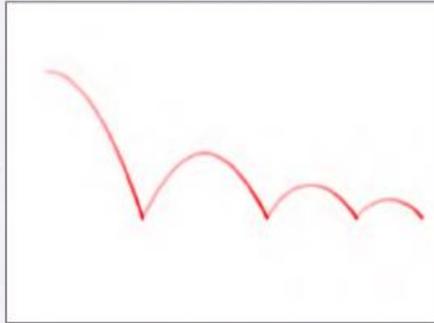
聯模成員

操作訊號從使用者介面輸入並經過計算後會模擬操作手的內部模組，像是載具或人物的變化，並且造成與其他實體或者環境的交互作用。這些變化都會呈現到圖形引擎及其他反饋系統中，讓使用者看到、聽到、並感覺沉浸在整個環境中。載具或人物的狀態或者新的事件也會透過網路傳輸，所以其他聯合模擬成員可以將這個模擬器的狀態正確的顯示在他們自身環境的視角中。操作手模組會計算，或者透過圖形引擎計算與地形的互動來偵測載具或人物是否碰撞到任何東西，或者進入到其他實體的視線中。

## 動力學-物理vs效能

視覺車輛或人物在虛擬環境中移動的方式取決於它的車輛動力學。模擬模型的仿真能力很大程度受到其套用的係數/參數或模組的複雜度的影響，無論它是定性效能取向模型或者物理取向模型。

物理



物理取向的模型會考慮車輛的物理特性(如質量、剛度)和施加在其上的力量(如推力、摩擦力、風、升力、阻力等)來模擬它的行為。物理取向的模型會以複雜且大量的計算負載為代價來達成更高仿真度，及更高精準度的車輛或人物操作。

以汽車為例子：物理模組不會用「前進」作為輸入訊號，而是以「更多動力」當作訊號來讓引擎增加轉速進而將力矩施加到車輪上，最後套上磨擦力來求出汽車實際的加速方式。為了讓物理取向模組更實用，它必須非常精確的定義模組，這會增加許多建模工作的成本和複雜度。

效能



效能取向的模組會建立載具的定性及定量參數以得到正確的行為模式。這些模型可以非常的逼真，並且有很好的計算效能。例如，定義一個載具的模型有「前進」、「左轉45度」、「停止」等移動輸入訊號。這些模型的運動會受到一組參數的約束，像是最大速度、最大轉向速率和剎車速率。模型可以利用這些簡單的參數來加速到最大速率，而其仿真程度足以用來產生一個可行的模擬器。透過增加參數能提高模型的仿真程度。舉例來說，模型可使用土質來限制它的移動速度：最大速度=載具最大速度X土質機動力係數

## 恰當的模型 取決於需求



如果是為了讓教官控制一個作為射擊訓練目標的CGF實體進到預定位置，或者為了訓練駕駛艙操作程序而飛行中的飛機，使用效能取向的模型以非常足夠。



在艙門砲手模擬器中會需要用到物理取向模型來正確的模擬直升機運動方式，因為砲手要在複雜的機動過程中練習瞄準。如果模擬器是為新飛機設計提供實時飛行測試，這確實非常需要使用物理模型且根據被測試載具的特定性能特徵，進行驗證。

**武器、感測器及其他子系統模組**  
操作手模擬也負責模擬車載或人物攜帶的武器、感測器及其他子系統。這些系統的仿真程度可與動力學相同或者不同，取決於模擬器實際上的需求。

在訓練空中作戰時，飛行模擬器可能具有物理取向的飛行模擬及效能取向的武器模擬。或者相反的，武器射手模擬器可能會有物理取向的武器模擬及效能取向的飛行模擬。



### 將傷害及狀態發送至網路

在分散式模擬環境中，每一個模擬器都會計算對自身的傷害並將狀態發布至網路中，使所有聯模成員都能收到及時回饋。

**圖形引擎(Image Generator, IG)**為呈現模擬世界的場景，並提供虛擬的沉浸式視野的技術。圖形引擎就像虛擬世界的「眼睛」，在模擬器產生的虛擬世界中，利用一個或多個圖形引擎，作為不同視角或不同波長感測器的輸出視窗，這些感測器包含電子光學(Electro Optical, EO)、紅外線(Infrared, IR)、夜視鏡(Night Vision for Goggles, NVG)或者是雷達。



圖形引擎

地理圖資

操作手模擬器會發送座標及方位到圖形引擎，以顯示環境中的每個畫面，圖形引擎用地形資料庫的數據繪製指定角度的場景，並將影像資訊傳送至使用者介面中，來顯示適當的畫面。圖形引擎會收到來自所有其他聯模成員、或操作手模擬器，或者網路上的更新資料及事件。

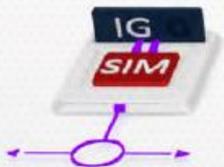
## 連接到操作手模擬器

圖形引擎可以作為模擬應用程式的一部份在電腦上運行，或是作為獨立分割的電腦系統並與操作手模擬器互相通訊。無論利用何種方式連線，操作手模擬器必須不斷地向圖形引擎發送座標及位置，以便圖形引擎可以即時的顯示成像。

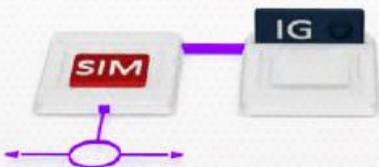


圖形引擎和模擬器擁有不同的連線方式。第一種為整合型(Integrated)，模擬器跟圖形引擎可以整合成單一應用程式，透過應用程式界面(API)呼叫並控制圖形引擎。第二種為主機型(Host)，模擬器可透過專門的連線如電腦圖形引擎介面(Computer Image Generator Interface, CIGI)，搭配介面控制文件發送指定訊息與圖形引擎通信。第三種為網路型(Network)，透過分散式模擬網路架構如分散式互動模擬(Distributed Interactive Simulation, DIS)、高階模擬架構(High Level Architecture, HLA)等模式進行連線。

整合型圖形引擎



主機型圖形引擎



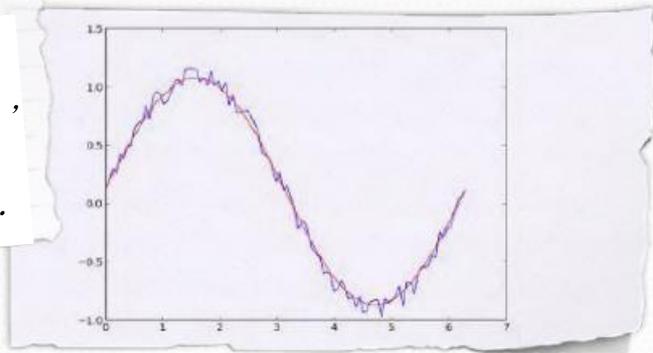
網路型圖形引擎



## 平滑化

有些時候模擬器與圖形引擎的更新頻率並不相同，圖形引擎會將連續的座標及方位資料平滑化，避免發生影像顯示抖動的問題。

例如：模擬器輸入頻率可能是50Hz，但圖形引擎的執行頻率則為60Hz...



## 任務功能

一些操作手模擬器有表示自己的地形和環境，其他人則依靠圖形引擎來「看」這些地形及環境。圖形引擎可透過物件碰撞偵測(Intersection tests)之運算幫助判斷，例如飛機的起落架與地面接觸時，或是車輛前方的保險桿碰到其他物件時，這些運算結果都將透過「任務功能」傳送至操作手模擬器中使用。



如果你有足夠的年紀，你應該曉得裝在車輪擋泥板上的「**機械式盲點偵測器**」，這與模擬器中的物件碰撞偵測非常類似。



在模擬器中，飛行載具必須要在起落架加上物件碰撞偵測功能，好讓降落時能夠感知與地面的距離並開啟起落架；或是加在機翼兩端以在空中或滑行時進行碰撞偵測。

## 渲染

圖形引擎最主要的工作就是渲染出虛擬世界中連續不斷的影像，這些影像必須讓操作者“不至於不相信”模擬的真實性，並專注於訓練任務上。

渲染場景需要處理非常多的事情，圖形引擎渲染場景的速度越快，電腦將3D世界（包含地理資料庫、3D模型或其他實體、天空或特定效果）轉換為影像每幀所需的2D圖片處理能力就越強。



所需的圖形引擎硬體數量取決於：需要的畫面幀數頻率、顯示畫面視窗數、地形資料庫及3D模組複雜度、大氣、天空及水的渲染以及特定效果。

## 幀數頻率

幀數頻率，或者畫面更新率指的是每秒圖形引擎調整虛擬世界中的位置，並呈現新視角場景的次數，使用赫茲(Hz)作為頻率測量單位。一般而言電影產業的畫面更新率約落在每秒24次畫面更新率(24Hz)。你還記得觀看「真善美」或是「星際大戰」等好萊屋電影時，當鏡頭橫向移動，會有畫面卡頓不流暢的情況，這是因為人感知畫面是否連貫的底線約為24Hz的關係。

透過動態模糊等多通道效果，改善了低幀率畫面卡頓的問題，然而此效果在即時性的圖形引擎中較少被使用。60Hz通常被作為即時模擬的標準，特別是讓使用大型外接實體器的操作者，感覺身體移動與視線中的感受是一致的。

針對受訓者在學習飛行時的最佳模擬器，模擬器最佳的沉浸式幀數頻率為60Hz或以上。

然而另一方面，透過允許操作者實際扮演角色的模擬器設計，在電腦生成(Computer Generated Forces, CGF)的模擬環境下增加使用者操作行為，可將畫面更新率調降至30Hz或以下而不減少沉浸感。

隨著科技的日新月異，顯示器逐漸能支援高畫面更新率的需求，而商業版的Oculus VR - Oculus Rift甚至能達到90Hz的畫面更新率，讓使用者更有操作的真實感。

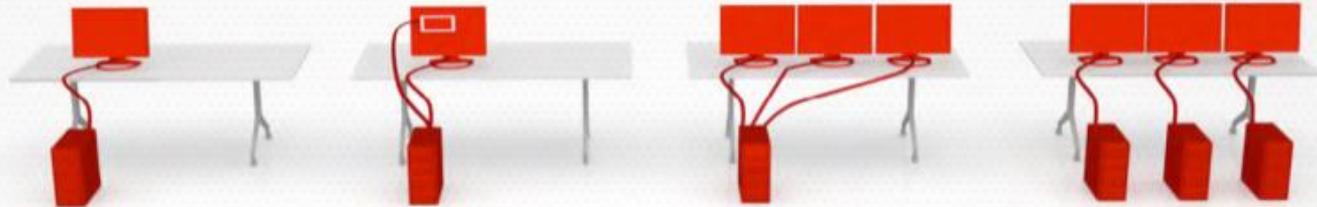
請在VT-MAK網站([mak.com](http://mak.com))  
中觀看以下兩者的不同比較



你還記得觀看「真善美」或是「星際大戰」等好萊屋電影時，當鏡頭橫向移動，會有畫面卡頓不流暢的情況，這是因為人感知畫面是否連貫的底線約為24Hz的關係。

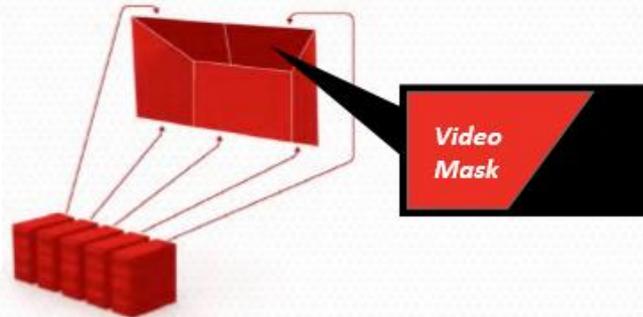
## 影像頻道/顯示

圖形引擎必須產生影像訊號並顯示在每個使用者介面中，如果介面只有單一顯示器及單一輸出顯示視窗，那麼圖形引擎可以搭配單張顯示卡運作於單台電腦上，在「單獨」頻道上產生影像。如果顯示卡有足夠電源提供二或三個頻道渲染出足夠的幀數頻率，那麼這些頻道便可輸出至一、二甚至到三個畫面上。為了獲得最佳效能，通常將幾台電腦組合串接在一起，每台電腦分別渲染出一個頻道。



## 無縫顯示

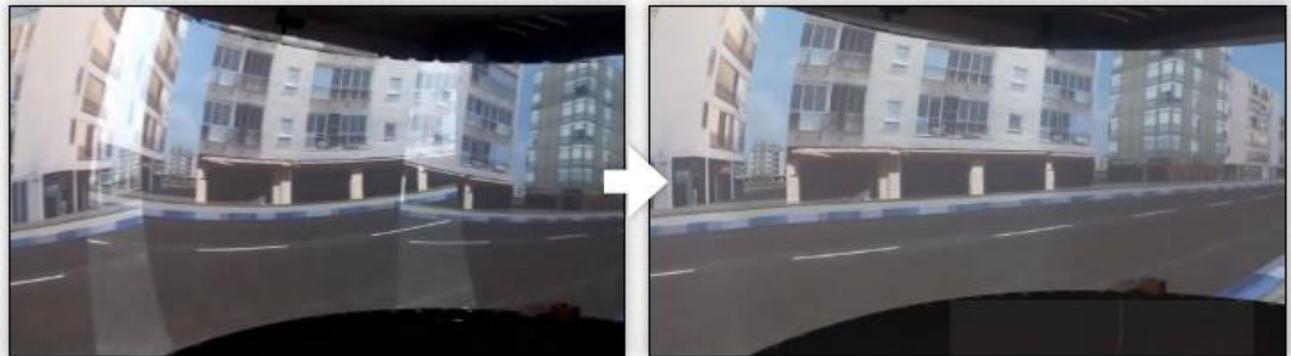
為了讓畫面能無縫顯示，會遮住多個圖形引擎的頻道，好讓顯示畫面不超出顯示器形狀的邊界。



## 變形校正

變形校正專門用來調整圖形引擎的影像，好配合顯示畫面的曲面做顯示。

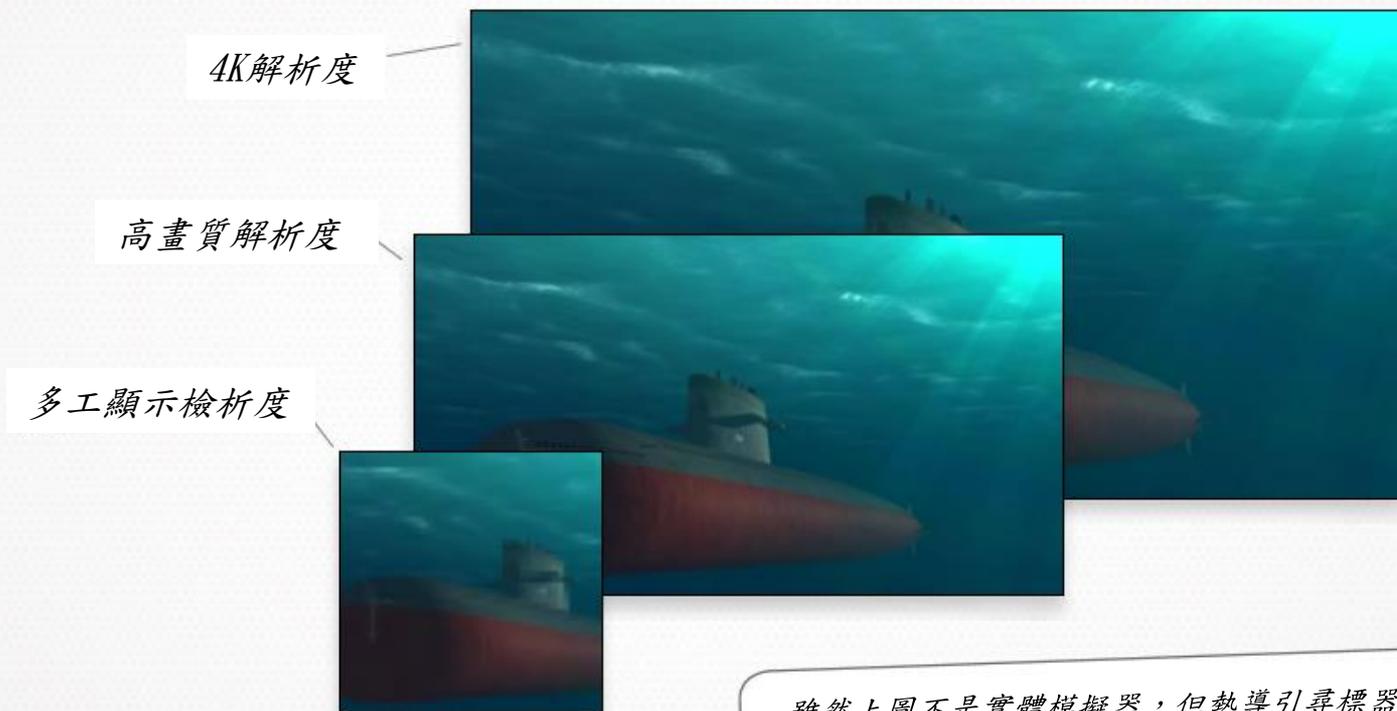
請點選右邊的圖片連結，顯示Ben Gurion大學人因工程中心針對變形校正的影片展示。



## 像素解析度

圖形引擎輸出的像素(圖像元素, Picture-Elements)多寡, 是評斷圖形引擎性能的重要因素, 典型的電腦顯示器解析度為1920x1200或2300萬像素。圖形引擎必須計算出將場景的哪個部分渲染到每個像素中, 也根據場景的光影、顏色、紋理、物件材質、數量、空間密度以及物件和觀察者之間的任何特殊效果, 進而算出每個像素的顏色。

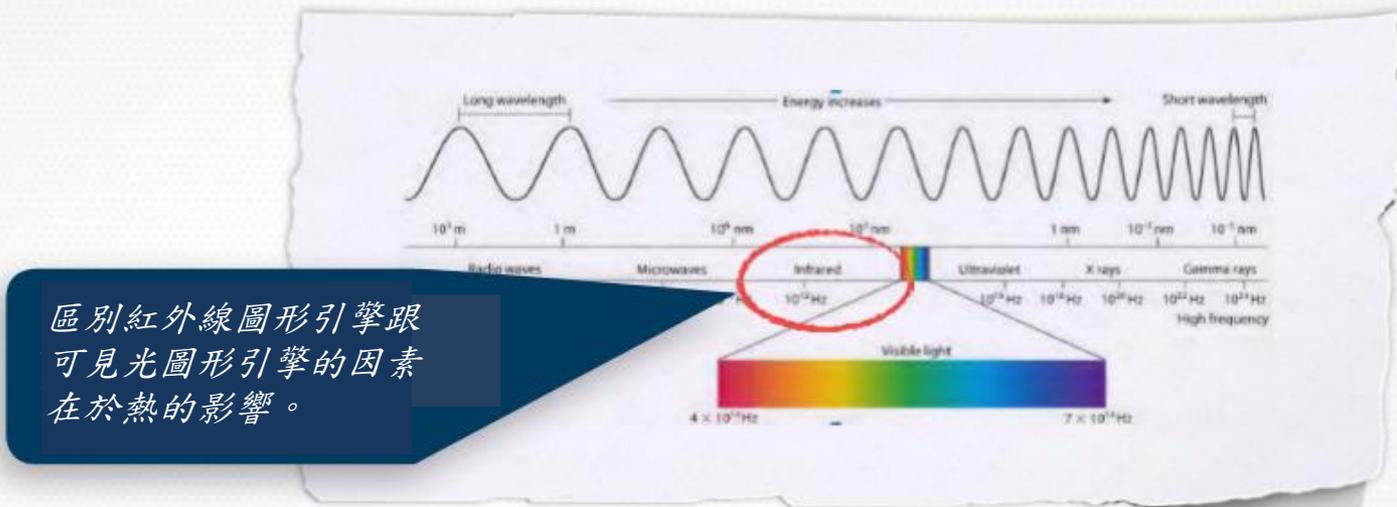
所以渲染出4K顯示畫面(3840x2160或800萬像素), 要比標準高畫質(HD)顯示之解析度(1920x1080或200萬像素)還需要更多的顯示卡運算效能。多工顯示用來顯示飛機駕駛艙內移動中的地圖或感測器圖像, 這些畫面可能需要較低的解析度, 例如512x512或50萬像素。



雖然上圖不是實體模擬器, 但熱導引尋標器可以透過實體迴路模擬(Hardware-in-the-loop, HITL)技術, 顯示出鎖定的熱影像, 其圖形引擎的獨特優勢, 在於僅須渲染出幾個紅外線感應的影像, 即可找到要尋找的鎖定熱點。由於需要顯示的影像非常小, 甚至可以達到240Hz的超高幀數頻率。

## 感測器

除了在黑暗、陰天、主體被遮蔽住或遠處之外，我們都習慣看到可見光。由於感測器同意我們在這些不利條件下「看到」，因此感測器在虛擬模擬當中是非常重要的部分。圖形引擎需要負責渲染出日光以及能感應其他波長光(電磁能量)的感測器影像。



區別紅外線圖形引擎跟  
可見光圖形引擎的因素  
在於熱的影響。

當光從光源(太陽)輻射時，一部分能量會從世界上的各種物體材質中反射，一部分則被物體吸收後又被物體輻射出來。在白天陽光照射下，我們主要看到的是物體的反射光。而不同材質或多或少會反射出不同波長的光，這些不同波長的光讓眼睛看起來像是有不同的顏色。紅外線感測器能感測出比可見光更長的波長，所以感測器能「看到」更多能量，而這些能量就跟我們「感覺」到的熱量一樣。感測器的圖形引擎將熱源，或者稱為幅照度(Irradiance)，渲染在灰階圖像中並顯示出來，這種影像我們稱之為「白熱」，代表比較熱的地方會用比較白的影像來顯示；相對的，我們也可以將影像以「黑熱」，也就是比較熱的地方會用比較白的影像來顯示，這完全由操作者來決定。

### 光學感測器的物理

在電腦圖學中，我們看到的很多事物都是物理的表徵。例如藝術家可以創作出表達房屋顏色的作品，用顏色詮釋光線反射房屋的光影。由於紅外線感測器是「看到」熱源，因此需要更多資訊來模擬建築物的熱量。要達成此效果為基礎的方法是將熱源的數值繪製成光影，就像我們使用顏色一樣。但由於人們通常不會這樣看，所以很難透過繪畫來獲得正確的景象。有數種技巧建立感測器的效果，但首先我們先針對物理光學感測器作探討。

## 物理性光學感測器：紅外線感測器,夜視鏡

透過物理學的方法製作物件的紋理，該紋理代表物件的不同材質，這個過程稱為材質分析；接著由圖形引擎解析這些材質確定熱量。儘管這樣的做法需要花費一些時間解析物體結構，但會使得結果更加精確，因為這種物理模擬會考慮到冷、熱溫度作為函數，在不同時間、日期、緯度的影響。



材質：  
 ■ 屋面板瓦  
 ■ 乙烯基壁板  
 ■ 木質裝飾  
 ■ 混凝土  
 ■ 窗戶

一旦材質被解析後，即可使用材質的紋理，在不同波長範圍內的感測器中渲染出影像。



長波紅外線。8-12微米波段可有效感知物件所散發出的熱度，此類感測器適用於偵測人體與車輛，因為這兩者相較於周遭環境，在遠距離與低光源條件下的溫度會較高。



中波紅外線。3-5微米波段對於發射能量與反射光都相當敏感，故適用於辨識被長波紅外線所偵測到的物體。

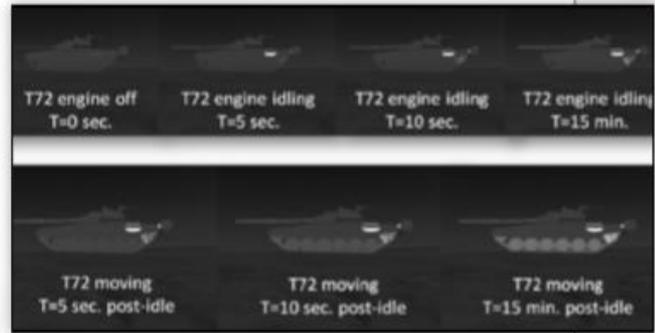


夜視功能，通常用於夜視鏡(NVG)，對於可見光與近紅外線光（波長剛好超過可見光範圍）相當敏感。NVG是透過放大低光源的方式運作，而非透過偵測熱源的方式運作。

利用這種物理性方式，可以模擬出光線在各種波段中的效果，使得物理性圖形引擎可在具有新功能或理論的感測器上，進行實驗與訓練。

## 利用加熱與冷卻

世界上有些物體會主動產生熱能，例如車輛引擎、建築物內部與人體。熱能可顯示物體內部運作的狀態，紅外線建模適用於發現產生熱能的物體，同時也能辨識這些物體的運作時間。舉例而言，在模擬搜尋與救援的情境下，紅外線感測器能分辨出有生命跡象的物體。或是在追蹤逃離現場的犯人時，也能藉由感測引擎的熱度，將其所駕駛的車輛與周遭停放的車輛區別開來。



## 效能性感測器

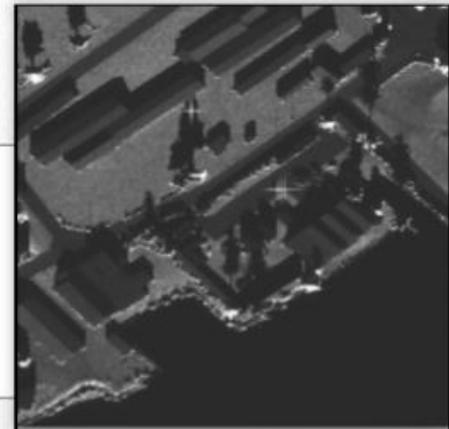
效能性感測器無須經由建模或物理性模擬，即可產生用於特定感測器圖像。最簡易的技術是將圖形引擎生成的圖像亮度轉換為單一灰階（或綠階）圖像，接著加入層次、增益和模糊效果。此技術可生成具有代表性的感測器影像，但不建議用於重要性較高之精密偵測或辨識。

在效能性感測器當中，可將熱感應的效果加入車輛模組的材質內，如此不須經由物理模擬運作，便可讓場景內的車輛引擎看似正在運作。



## 雷達

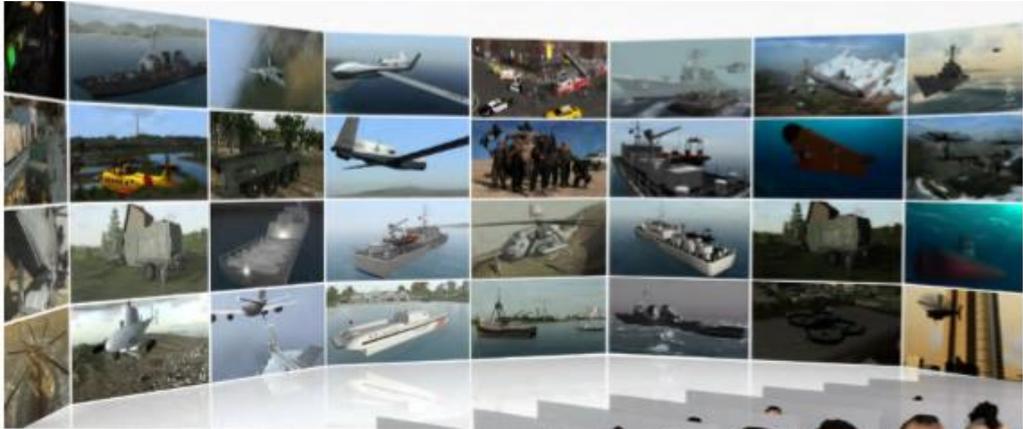
合成孔徑雷達（Synthetic Aperture Radar, SAR）採用側視雷達系統，利用機載平台的飛行路徑模擬極大範圍的天線或電子光圈，並且生成遠距離區域的高解析度圖像。雷達特別適合用來「看穿」雲層後面的物體。



## 場景內容

### 地形資料庫、3D模型、人物角色

地形資料庫定義了虛擬世界的產生方式，地形資料庫的設計會對圖形引擎的性能造成很大的影響。組成地形的幾何體及3D模型的密度必須由圖形引擎的幀數頻率來決定，因此，高幀數頻率的模擬器必須減少並仔細控管地形和3D模型的細節；而低幀數模擬器則有機會增加地形的細節。有許多方式可用於建立地形資料庫，以滿足不同模擬器的需求，之後會有相關篇幅專門討論該主題-地形。



圖形引擎附帶一個非常大的3D模型及人物角色資源庫，這些資源庫可用來描繪出模擬世界中的實體物件。



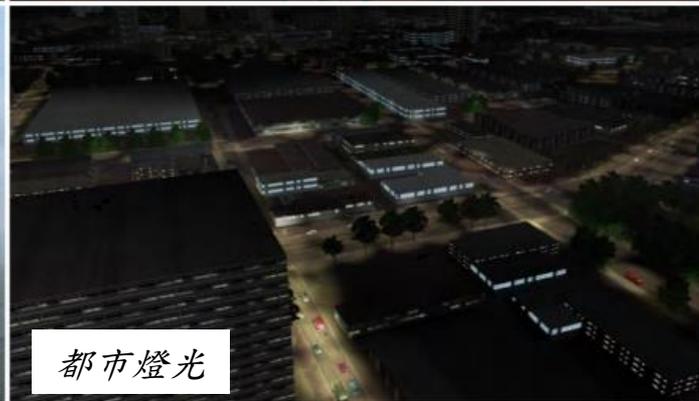
### 大氣環境、天空和水的渲染

在一個場景中，除了地形資料庫和移動的實體物件之外，還包含了大氣環境、空氣，有時還有動態移動的水文。圖形引擎必須負責將這些環境因子給繪製出來。由於它們的顯示會根據一天中的時間跟天氣而有非常大的變化，因此會用幾種不同的模型來實際模擬環境。

星曆模型決定了太陽及月亮的位置，而太陽及月亮則將光線投影到場景中，它不僅可以藉由圖形引擎的天氣模型，也可以藉由外部天氣模擬的天氣模型，提供雲層覆蓋、空氣密度、風向、風力、以及海象狀況。

## 特效

在模擬環境中發生事件時，圖形引擎會根據事件狀況產生相應的特效，其中最能吸引目光的是武器射擊、爆炸、火光和煙霧效果。



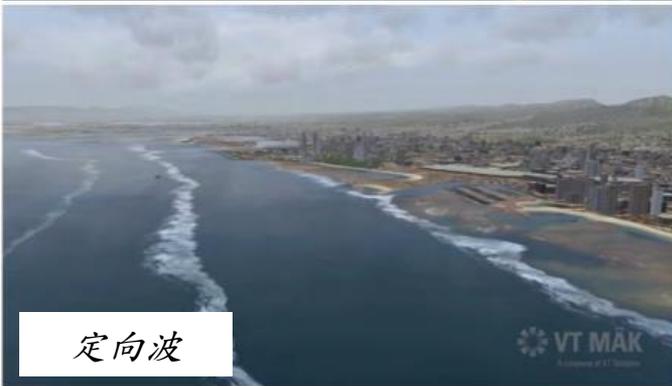
# 特效



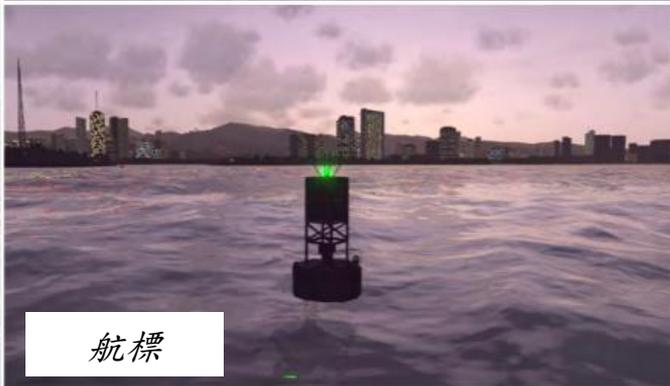
光照



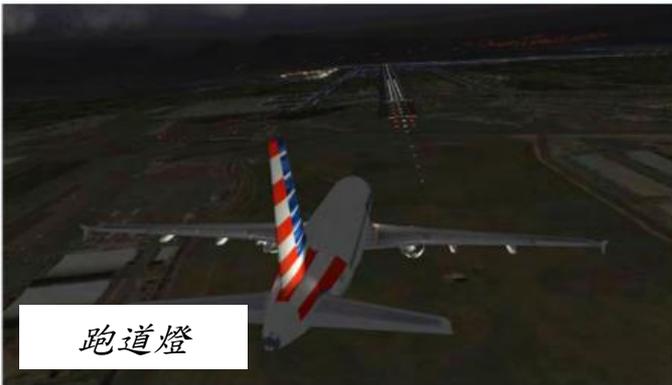
水痕



定向波



航標



跑道燈



區域光  
(路燈)

**地形**資料庫是個虛擬模組，它在我們進行景觀模擬時會用到。它的地形特徵、品質及內容，定義我們在模擬環境中可以做到什麼事；它的地理覆蓋範圍，定義了可以操作模擬時的範圍大小；而它的解析度與細節層次，定義了環境內可互動的真實度。

圖形引擎必須依靠地形資料庫提供場景以建立虛擬環境；操作手模擬器必須依賴地形資料庫來定義車輛或人像在虛擬世界中可以或不可以到達的地方。



地形資料庫會對整體系統開發、效用、性能以及成本造成相當大的影響。在這個世界上，去評估一個獨立地形資料庫的系統使用需求是容易的，但是在一個分散式系統，地形資料庫的運用就更為複雜了，它包含各種不同供應商提供的不同模擬器，而且要能對應現實世界的細節。

本章節會從**內容、關聯、覆蓋範圍**以及**成本**這四個觀點來探討地形資料庫。

## 地形之內容

我們希望虛擬世界能像現實世界一樣豐富及細緻，最好是能一模一樣讓操作者如同身歷其境，或至少讓他們不致於不相信，而可以專注在教育

模擬訓練課程所需要的地形資料庫是由這個世界的特性所決定，並且表現在地形上，沒有必要用一套地形系統來滿足不同模擬訓練工作。

### 什麼對虛擬世界的是重要的？

要建立什麼特徵、內容與複雜地形到地理資料庫之內，是根據現有模擬技術及模擬器的需求而決定。例如艦橋模擬特別需要動態的洋流模組、標示航道的浮標及港口建築像浮橋或碼頭等的細節。又譬如，在空對空戰鬥訓練中需要非常長的視野距離，但在地表顯示細節上只需要能表現出導航資訊、高度與速度感即可；而駕駛/武器手的訓練則需要像掩體、遮蔽物、障礙物…等地表細節來做**互動**。



# 地形之內容

## 特製地形資料庫

下例在說明地形資料庫是怎麼配合特定的訓練環境去設計它們的特性。對訓練任務重要的是，從被訓練者使用虛擬環境時，必須看到相關的世界及其訓練必須的地形主題。

### 艦上作業—離岸訓練

對一個在開放水域的船艦模擬(例如飛行器降落指揮人員訓練)，如果有需要地形的話，僅作為背景提供。

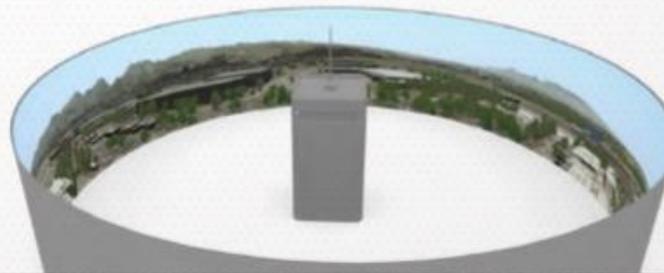
像這個，簡單的高程模組配上低解析圖像或仿真材質就足夠了。



重點是船的3D模型，可能再加上圖形引擎渲染動態海洋，及操作手模擬器或其中一個聯模成員進行模擬訓練。

### 視野受位置影響

當模擬操作於航空交通管制塔，視野位置受到塔的限制，因此在一定距離的地形可以是一面牆，牆上是機場空域的照片。



# 地形之內容

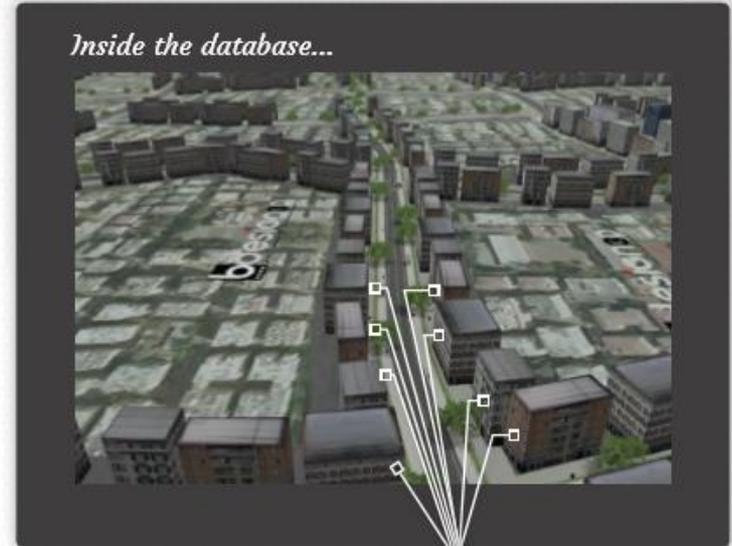
## 視野受道路約束

這個地理圖資，是駕駛模擬需要的地方才應用的仿真合適案例。從駕駛的視野來看，這個世界既豐富又有吸引力。但從地形上方往下看時，很明顯地圖資只建了駕駛員能想得到的景物。



DRIVING 'TOWN DAY -  
DRIVING 'TOWN NIGHT'

Created by: BDesign3D  
Location: Geo-typical  
Format: Openflight  
Coord Sys: Local Flat Earth  
Coverage: 4.2 Km x 4.2 Km



當行駛於路上時，  
在上圖所標出來  
的部分，呈現如  
左邊的兩張圖。



## 地形之內容

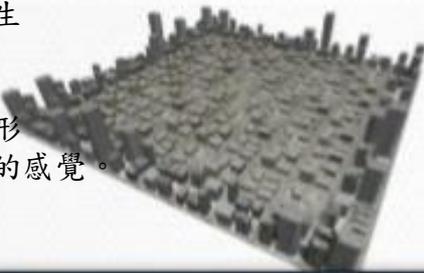
### 場景內自由行動

對於包含地面活動的想定，譬如車輛或行人在城市的移動，以情監偵任務 (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance, ISR) 舉例，地理圖資必須建模以用於地面視角與空中感測器的俯瞰特寫鏡頭。



以下面這個地理圖資被建為一個有局部座標系統的场景，如此可以替簡單的想定來提供內部視野。為使它看起來像一個大城市裡的場景

，系統會產生較高的建築物在場景邊際，提供地形有延伸出去的感覺。



相對地，地理圖資建立的另一種场景，它是在大範圍地形資料庫裡的地理參考圖資，提供有較寬廣範圍的地理內容，譬如提供給空中操作，飛行器之進入點、行經路線與脫離點之场景。



#### BROOKLYN

Created by: VT MAK  
Location: Brooklyn, New York  
Format: OpenFlight  
Coord Sys: Local Flat Earth  
Coverage: 1000m x 500m



#### VT-THE WORLD ONLINE - BROOKLYN

Created by: VT MAK  
Location: Brooklyn, New York  
Format: OpenFlight  
Coord Sys: Geocentric Cartesian  
Coverage: 500m x 1000m, H Earth

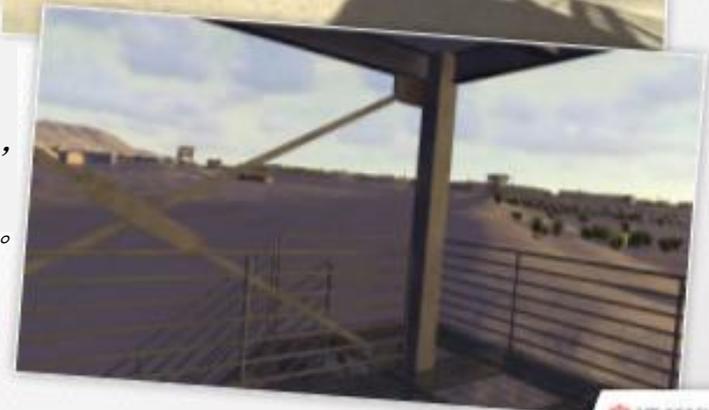
## 地形之內容

### 室內與隧道的導航

地理圖資的場景模組可以有建物與隧道內部結構，來支援操作需求。地理圖資有兩個部分，以滿足圖形引擎和操作手模擬的需要，圖形引擎需要描述外型幾何與材質的3D模組，用於隧道內外以及橋下；操作手模擬則需要導航網格，以便告知他所碰撞到的對象。導航網格實質上是沒有材質的幾何圖資，而它是利用拓樸結構，來組合網格提供導航。



這些圖片是根據南加州地形，所建立的城鎮戰(Military operations in urban areas, MOUT)高細節地理圖資場景，這是整個世界地形資料庫的一部分。城鎮內有實際的地面輪廓、多層建築及地下隧道。它非常適合那些需要高解析材質和植被支援人型角色與地面載具模擬的地上訓練；較大的區域提供合適的視野距離，以進行空中操作、監視與飛進出城鎮。



RANGE 200

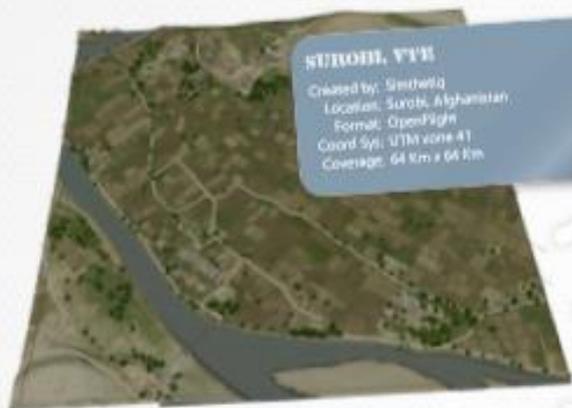
Created by: VT MAX  
Location: Twentynine Palms, CA  
Format: COB  
Coord Sys: Gocentric  
Coverage: High-res detail insert into whole Earth



# 地形之內容

## 公路/越野操作

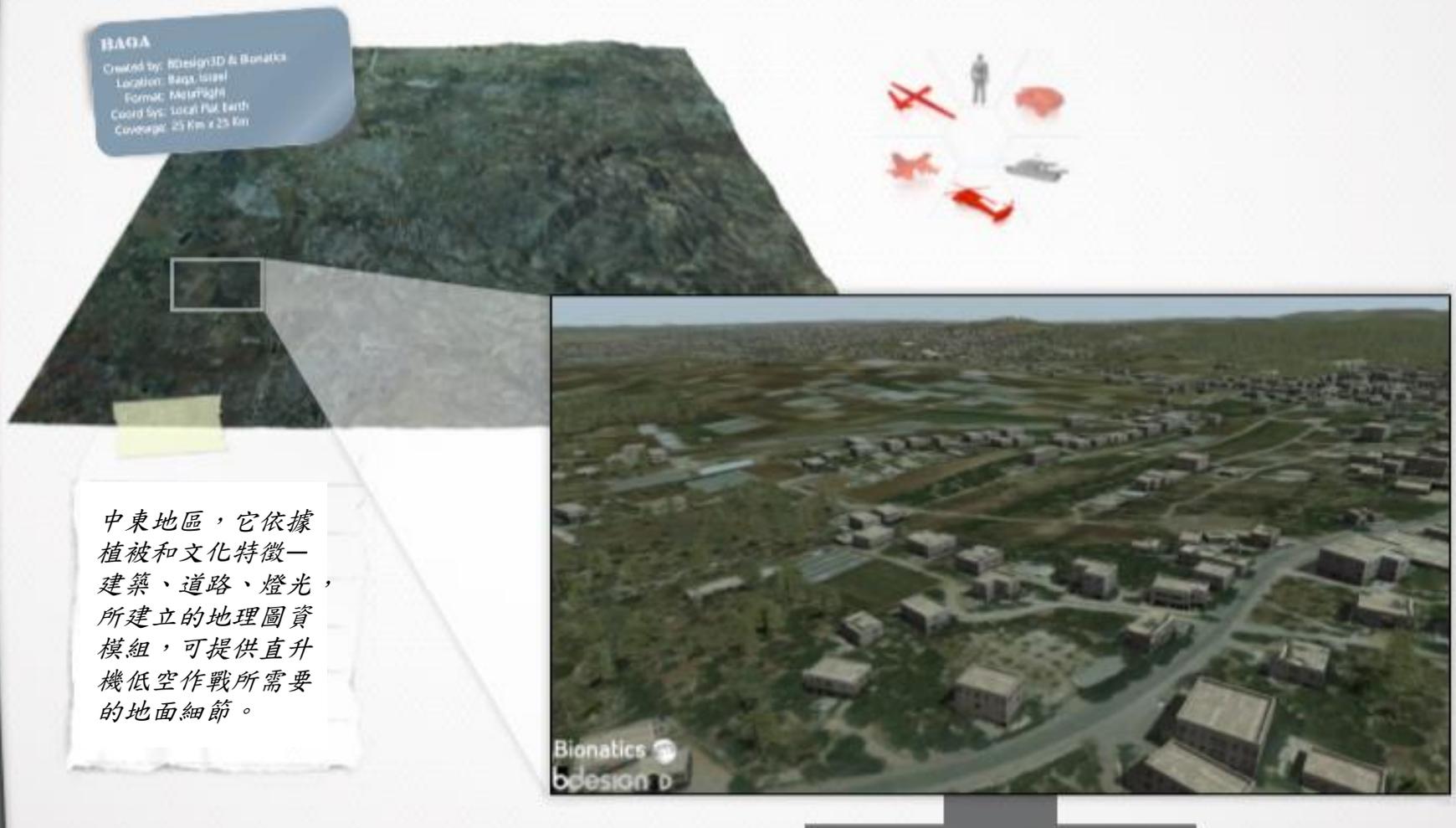
當地形資料庫擁有障礙物，像是石牆或是種植成排的作物時，將使越野駕駛更具挑戰性。這種仿真地景的村莊有著非常詳細的人工模組，以支援地面駕駛操作及低空直升機的情監偵操作。



# 地形之內容

## 直升機操作

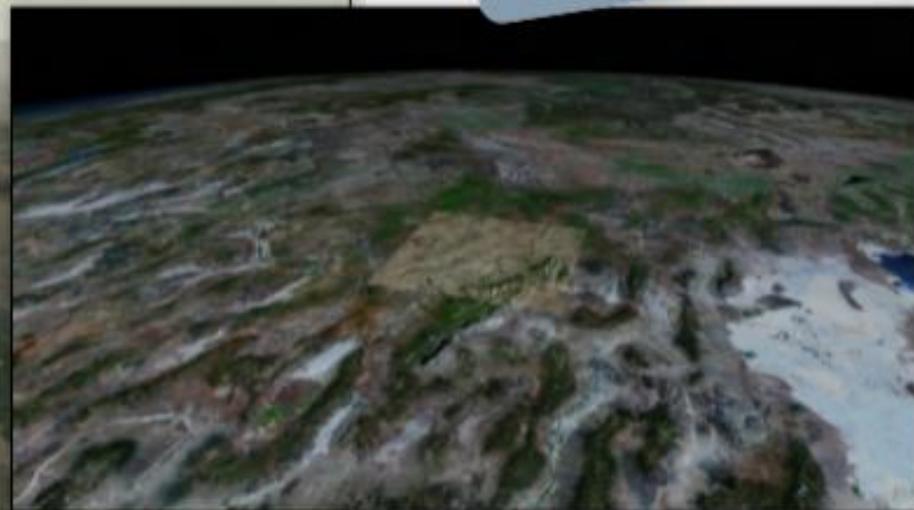
直升機需要具備高細節的地理圖資，以支援靠近地面的操作及在高空時較寬廣的視野距離。



## 地形之內容

### 固定翼飛行器

固定翼飛行器飛行訓練包含滑行、起飛、降落，它需要高細節機場內部與周邊的地理圖資模組；飛行器在高空飛行及空對空操作訓練時，也需要長視野距離內的地理圖資模組。



# 地形之內容

## 夏威夷—多用途設計

這個夏威夷地理圖資設計可以支援各種操作，譬如下列的圖示，是由在島嶼放上高細節的大賣場，之後加上高解析的高程及圖層，串流樹木與建物後，再由程序化生成水與建築物，形成的密集都市建築群，並可以顯示日夜模擬操作而使用的動態燈光。



在機場嵌入程序化生成的照明系統。地理圖資的輪廓是依據測得地下水深，來取得輪廓外型，再由圖形引擎動態顯示水的部分，用於海水的深淺模擬及沿岸狀態。

### VR-THE WORLD ONLINE - MAUI KAUAI

Created by: VT MAK  
Location: Honolulu, Hawaii  
Format: Streaming Terrain w/ OpenFlight sites  
Coord Sys: Geocentric, Geoidian  
Coverage: 20 Km x 20 Km, in Earth



# 地形之內容

Hawaii — A Multi-Purpose Design (cont'd)



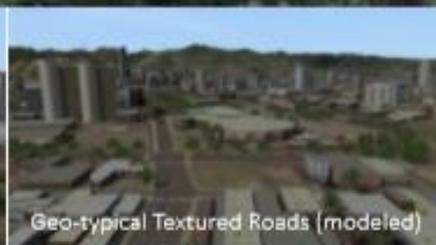
Detailed Roadways



Dynamic Lights



Geo-specific Roads (Imagery)



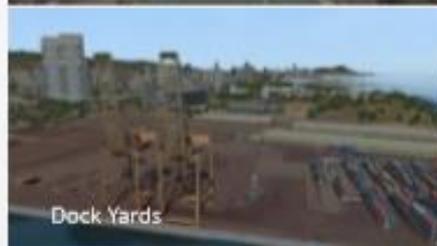
Geo-typical Textured Roads (modeled)



Building Interiors



Warehouse District



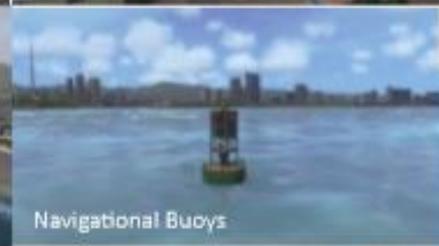
Dock Yards



Vegetation Detail



Bathymetry



Navigational Buoys



Pedestrian Ways



Airport Site



Airport Lighting Systems



Street Furniture

## 地理圖資技術

### 區塊分割技術

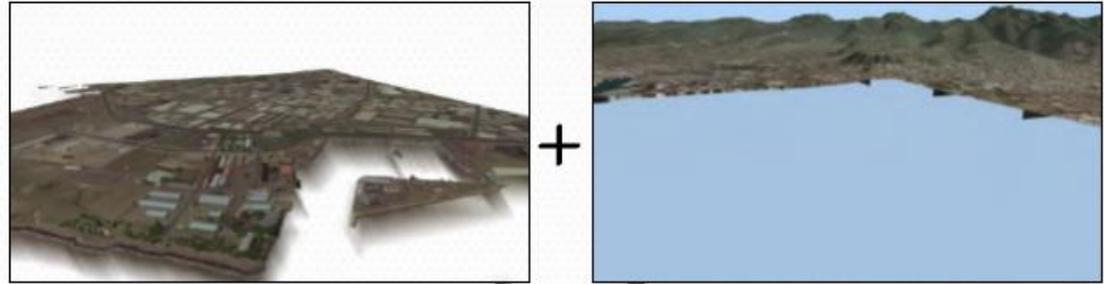
區塊分割技術能讓一個較大的地形在使用時，可以將高解析度及需要大量細節的地形，放置在地面上以利操作，像是飛機降落、滑行與停止、飛機駕駛/射擊手訓練，或者飛機在情監偵任務時，把探測器指向地面觀測的時候。地形資料庫在離陸時會提供更長的視野距離及地形，以利於起飛降落。

在右圖裡，區域被很合適地切割/混合了周圍的地形特徵。

空洞部分被定義於地球模組，讀取地面模組後會填滿它。

樹跟建築則是從伺服器串流後，動態放置在地形環境上，它們也在地面模組上。

平滑的從地面模組整合成地形環境。



# 地形之內容

## 都市叢林

建築群有著一定密度與高度時就有稱呼其為「都市叢林」。當需要持續追蹤的目標開車或走在街上時，這些建築在操作情監偵系統時是個挑戰。有很多方式可以製造都市峽谷，像是手製模型，或是則是從地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 或照片取得建築的參數。

這有兩個例子(VT-MAK製作)，它們用地理資訊系統的資料來定位每個建築，並提供屬性且經過演算程序後，繪製成3D建築物。

這個地形(VT-MAK製作)是使用攝影測量技術—大量的空照圖—用geo-specific材質貼圖來建構3D建築。

pera-  
could



**HAWAII**  
Created by: VT MAK  
Location: Hawaii, USA  
Format: GIS data from state of Hawaii  
Technique: Streaming building extrusions



**HAWAII**  
Created by: PLW Modelworks with imagery from Pictometry International  
Location: Hawaii, USA  
Format: OpenFlight  
Technique: Photogrammetry



**NEW YORK CITY**  
Created by: VT MAK  
Location: New York City, USA  
Format: GIS data from Open Street Maps  
Technique: Streaming building extrusions

Start

User Interface

Ownership

Image Generator

Terrain

Federates

Network

FINISH

# 地形之內容

## 現地實景模組或仿真地景模組

「現地實景」是一種地形資料庫，代表一個真實存在的地點；而「仿真地景」看起來很像真實的存在，但沒有對應實際的地點或事物。當你需要在真實的世界地域進行模擬互動，或者在熟悉的地域操作時，你需要的是現地實景的地形資料庫，任務演訓是一個現地實景地形資料庫被運用的典型案例。而當你模擬目標需要在任何地方進行時，則仿真地景地形資料庫較為合適，例如用虛擬模擬來訓練道路駕駛，它並不需要特定真實存在的道路。

仿真地景：沙漠村落



現地實景：夏威夷檀香山



即使“現地實景”地形資料庫代表地球上實際的地點，像是模擬夏威夷的檀香山，也不需要把所有細節都放進資料庫。例如檀香山地形模組的個別建築都在正確位置上，但是用“仿真”建築模組來表現建築物即可；也就是說，它的位置能與當你在模擬器裡經過建築時看起來有真實感就好，沒有必要的做出跟現實檀香山一模一樣的建築物。

可能與直覺不同，但某些仿真地景模組技術比現地實景更常被用到。例如，由於影像包含短暫的假影(Artifacts)，像是汽車在路上的圖，在模擬交通事故上非常有用。

現實道路 (圖層)



仿真道路 (模組)



**實際地點用仿真建築**  
串流VR-The World地理圖資伺服器取得建築占地面積與空間檔案，再參照檔案設定並以VR-Vantage圖形引擎及時運算，加上一些自製仿真建築模組。

**實際地點用現地建築**  
使用Pictometry International公司的航空照搭配PLW Modelworks公司的模組化技術，來把仿真建築被替換為夏威夷的3D現地實景模組。

大部分的地形資料庫都是由仿真地景模組技術與現地實景組合而成。

# 地形之內容

## 串流地形

地形資料庫通常是在離線狀況下，透過圖資編輯工具所建立，以單一大容量檔案或者具有地理關係的圖磚形式載入模擬器。串流地形則是利用了現在電腦與圖形處理器(Graphic processors, GPUs)卓越的運算能力。基本上，將經過離線圖資編輯工具處理的「原始資料」，會依需要載入執行的模擬器，虛擬環境中的3D模組就會自動產生。

**高程**資料定義了地表的起伏狀況，再將**影像**覆蓋在地表上，建立地形的外觀視覺。

高程及**影像**所使用的網格資料，可以利用已知特性針對地表進行即時的預測與處理。

**向量資料(Vector data)**描述地表面上的地物，如包含形式以及高度屬性的建築外廓、港灣浮標的位置、路燈的位置、公園長椅、及其它「街道附屬品」等。向量資料的屬性是不規則的，它用動態方式建立與表現向量地物，將城市與村莊一點一點的堆疊起來，由於向量資料容量大小與3D模組相較下小了許多。

圖形引擎與模擬器會依據所需要的區域資料，分別製作圖層視覺景象，及測試交會狀況。

使用來自開放式社群編輯資料(Crowdsourced data, 如Open Street Maps, OSM), 串流建築方式能以非常低的成本，建立全世界各地高細緻化的建築。

高程與圖層



串流樹木



串流建物

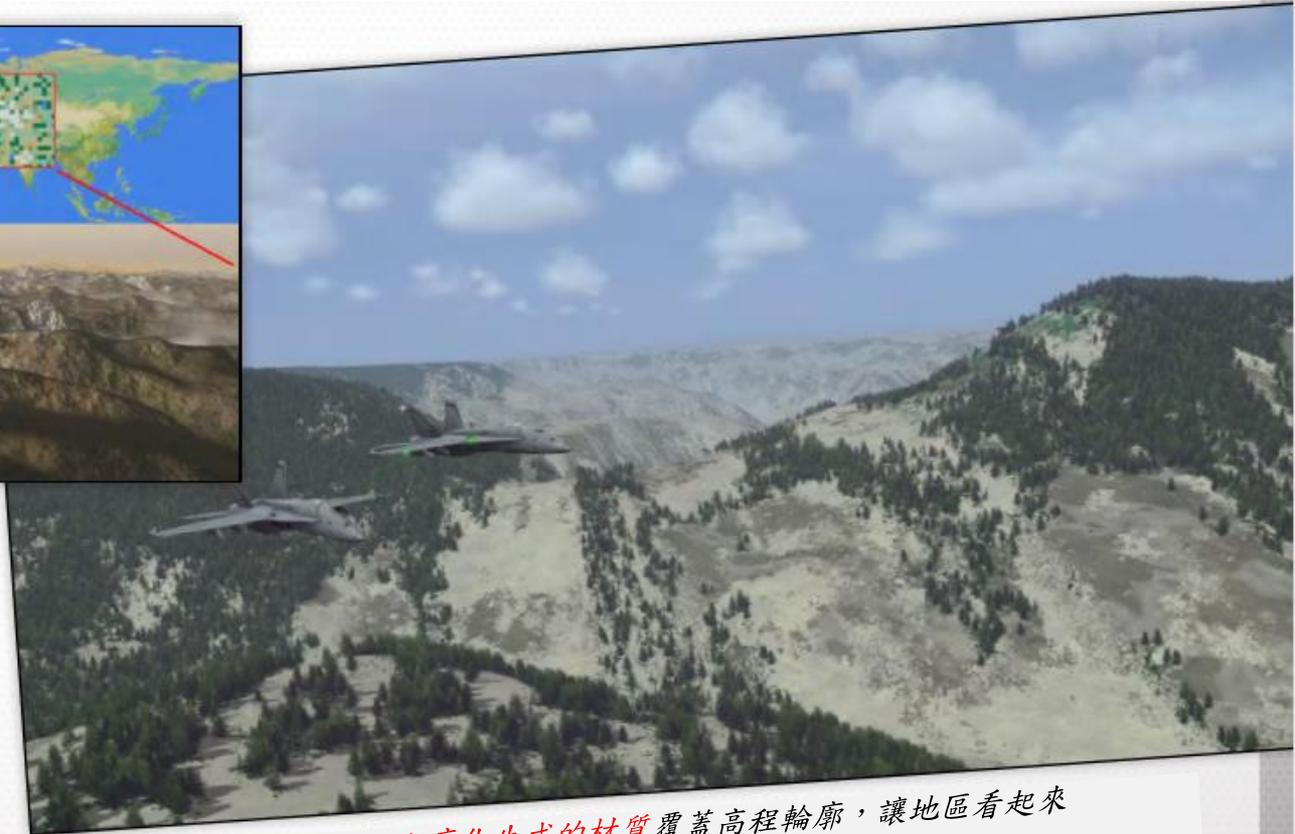
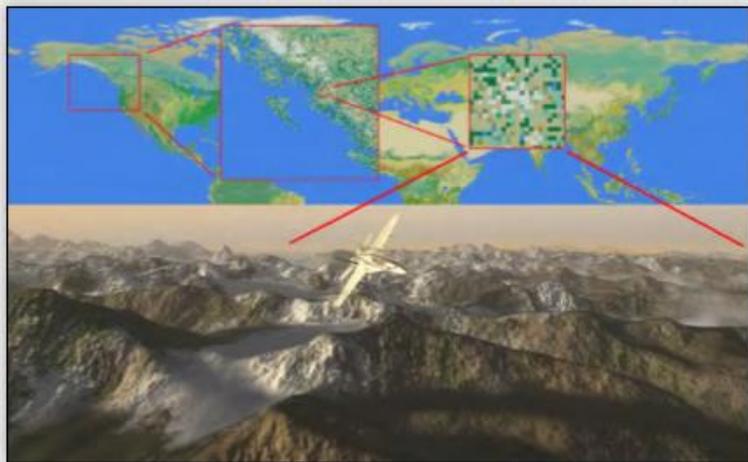


## 地形之內容

### 程序化地形

程序化地形是個創新技術，它從特定現地實景取出一些地域特徵，用演算法進行融合與配對地形材質及模組，來表現更為豐富且自然的高解析地理圖資。

**土地覆蓋分類**定義了21種地形，如森林、沼澤或苔原等等地形，這些地形遍及整個地球的生物群落。這些簡單的分類是依據位置、高程以及坡度訊息被輸入到演算法中，並且建立起來的超高解析地表材質及植栽配置。



程序化生成的材質覆蓋高程輪廓，讓地區看起來更為自然，而不需要取得攝影圖像。

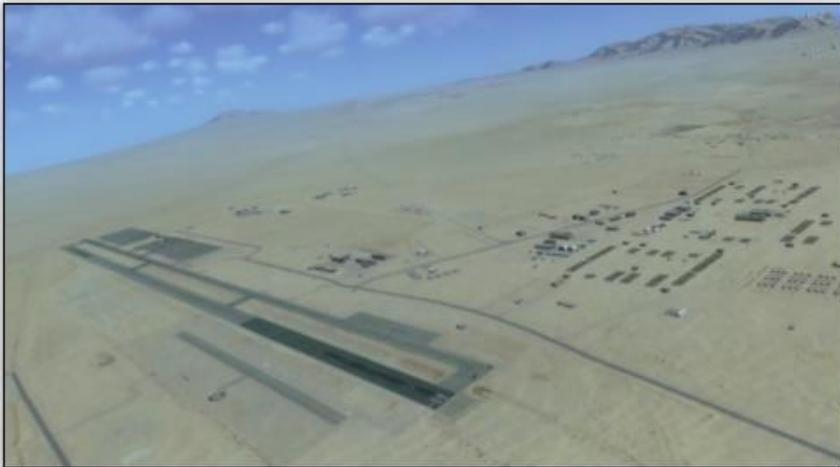
## 地形之內容

程序化地形生成樹木創造出樹木的自然分佈，為在某個高度飛行的飛行員提供高度和速度提示，而不需要放置數百萬的樹木或定義整區域的樹叢。



程序化地面細節為第一人稱人物角色模擬提供足夠的解析度。

另一種程序化技術將機場重要資料予以參數化，並建立機場和跑道的3D幾何結構；因此，它只要一個小資料庫就能提供足以在全世界的機場滑行、起飛和降落的能力。



## 地形之關聯性

關聯性的重點不是每個系統取得「一樣」的資料，而是每個系統取得「合適」的資料，讓所有參與者感覺他們在同一個虛擬世界中進行協同操作，所以，沒有任何系統會比本系統更有戰術優勢。

當有兩個或更多的模擬器加入同一個模擬時，它們的位置與狀態必須相符，例如：如果模擬器A在路上開車，模擬器B也得顯示車輛被駕駛於同樣的路上。只要一點設定就可以完成上述的工作。每個模擬器必須將它的位置與狀態傳送到網路上，它再接收其他模擬器的相同資料。雖然網路連線部分的問題已經有很好的解決方案，但每一個聯模成員都必須重新定位地理圖資與地形資料庫裡所有物件之間的關聯性。關聯性的另一個重點是一種讓地形資料庫表現出這個世界—建築、樹木、光、地面、水體...等等一的方法。重要的是這些項目可以在各種不同類型的系統間變化。每種系統的表現方式需要配合它的使用需求，每個系統的表徵必須適切符合它的使用狀態，而整體的系統需要有足夠的相似，如此才不至於造成互動之間的不正確表達。

不同的圖形引擎依賴且以略微不同方式來使用視覺屬性：一張戰術地圖的顯示，只需要足以畫出地圖的資訊；光學感應器則需要額外的資訊來描繪不同材質的熱能；操作手模擬則需要知道物理幾何是否會與任何東西發生碰撞；電腦生成的AI實體則需要導航圖來計算路徑。



# 地形之關聯性



地形設計  
是系統等  
級的工作

地理圖資的設計與製作方式，決定了哪個模擬器能夠被使用，這不是一個小問題，因為大部分的地形資料庫都是為使用最佳化而設計的專用系統。當把新系統加入聯模並且維持它的關聯性，來達到系統的性能時，地形格式就會是重要議題，例如為一個2000年代模擬器製作的地理圖資，可能用開放格式像是OpenFlight，但它的格式與結構或許不符合現在使用的效能需求，但仍然可以支援串流地理圖資。前述情況，對於決定繼續使用舊版，或是使用新的高效能格式是可以做選擇的。相反地，如果要使用一個舊的圖資到新的或不同的模擬器時，就要把現代的動態資料庫做成靜態離線版。

## 需要多少關聯性?

地形的許多特徵都會影響關聯性，但有些差異並不重要。實現關聯性是一個廣泛的系統問題，它需要理解所有參與者以及會用到的系統類型。例如兩種仿真的地形資料庫，請參閱現地實景與仿真地景的說明，它們根據道路位置進行關聯，但用不同的模組來表現建築物。

當聯模具有不同性能特徵與格式功能，重要的是不要劣化高階模擬器去配合精準度稍微差一點的模擬器，即使對模擬結果沒有不利的影響。

## 準確性 VS 一致性

在進行虛擬模擬時，關於這個世界的地形建模，一致性是非常重要的，如此所有參與者在虛擬世界中有了共同框架可以參考。虛擬世界與現實世界的匹配程度取決於模擬器的目的，仿真地形一點也不符合現實世界的位置，但是對於使用這些的聯模，所有模擬器需要使用一致的地形資料庫。

與現實世界互動時需要準確性，若是生命體參與聯模，他們操作時無法避免與現實聯想；在這些模擬中，主要關注點是地形資料庫模組中的準確性。

# 地形之關聯性

## 坐標系統

地形資料庫是由幾何體組成，它使用坐標來定義世界上的精確位置，這些坐標在坐標系統環境中具有意義。雖然有很多種坐標系統可供模擬使用，但是大致上可以分為兩種：「平面地球系統」與「圓形地球系統」。對軟體開發者來說平面地球系統較容易處理，因為它的上方永遠與Z軸對齊；圓形地球系統的上要從地心指出，但這表示著上對於XYZ笛卡兒坐標軸來說，是不斷變化的。

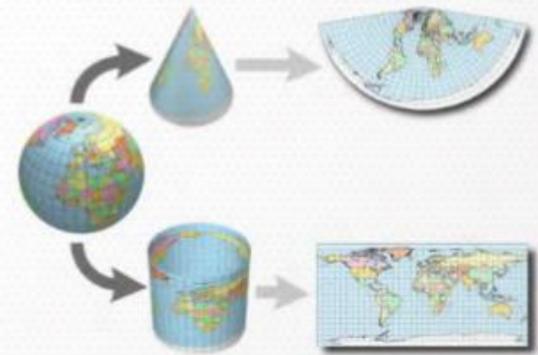
建構地形資料庫的原始資料經常以平面地球系統來定義，也是大家所熟知的地圖投影。

平面地球系統的地圖投影常被用來做地形資料庫：**墨卡托投影 (Universal Transverse Mercator, UTM)** 常用於軍隊製圖；**藍伯特正圓錐投影法 (Lambert Conformal Conic, LCC)** 常用於航空與海事圖表；簡單的**局部地球平面**投影，則用於地球曲度不明顯的小地理圖資。

地形資料庫是依據其中一種坐標系來建立的。長久以來只要是廣為人知的系統，操作手就能夠在設計者所選擇的坐標系上工作，然後轉換操作手模擬器的位置到地理圖資坐標系上，以提供給圖形引擎。當操作手模擬器透過網路來發送它的位置給其他聯模成員時，它會將坐標轉換到坐標系並定義為動作。分散式模擬中使用的通用標準是基於1984世界大地坐標系 (World Geodetic System of 1984, WGS-84) 的笛卡兒地心坐標系。

具有經度、緯度和海拔的大地坐標系，可以指定地球上的任何位置；但是當地形資料庫的長度單位大致相等時，需要建立為笛卡兒地心坐標系。將長度約為111KM視為一個緯度單位，相對應地將長度1m視為另一個高度單位，這就是為何可以將笛卡兒地心坐標系，用來作為地球圓形地形的資料庫坐標系。

在任何座標系統定位，可以被轉換與顯示成經緯度及高度，方便呈現給使用者。



圓形地球系統		局部地球平面			
笛卡兒地心坐標系	其它	蘭伯特投影法	墨卡托投影法	局部地球平面	其它

## 地表覆蓋

地形資料庫的大小，更準確地說是地理覆蓋範圍，是很重要的議題，因為它定義了模擬可操作的區域。覆蓋範圍還包含坐標系的技術問題(Technical concerns)，以及表示世界所需要的大量資料。

### 坐標系的限制

地形的地理覆蓋範圍，限制了哪種坐標系可以被使用。所有坐標系都可以精確製作微小地形；但隨著地形變大，所有地圖投影都會有所失真。

局部地球平面投影適合用在小區域上，例如城鎮或小城市。

UTM系統實際上是60個區域的集合，各個都有自己的橫軸墨卡托投影。每個區域適合約6個經度(約為600KM)；大地形資料庫可能不相鄰接，因為它需要多個UTM區域。

藍伯特正圓錐投影用於航空與航海圖，因為它涵蓋大片地區，例如國家或小型大陸。

要用在世界規模的地形資料庫，需要像笛卡兒地心坐標系這種世界坐標系。



## 地表覆蓋

### 對資料容量大小的影響

要建立真實世界詳盡的地理圖資，就需要越多資料來描述真實世界。地理圖資庫建立的策略，決定需要多少資料。一般而言，地形越詳實就需要越多資料。如果地理圖資使用現地實景影像，地理覆蓋範圍與需要影像數量有直接相關，地理覆蓋範圍與需要影像數量有直接相關；如果地理圖資使用程序化技術來建立地形外觀，資料容量大小明顯減少，甚至為數千倍分之一。保守估計，GOOGLE在地球影像中，光是一個圖層就要200TB。程序化技術所建立的影像，能涵蓋任何區域，以任意解析度顯示所蒐集的資料，資料容量僅需數百MB。

### 對資料結構的影響

如果地形資料庫需要大量磁碟空間，通常會分割成方格形式的圖磚，根據運行環境的需要，分配到系統記憶體的分頁檔。就地表坊覆蓋範圍和磁碟空間而言，圖磚的大小會影響地形的運算效能，大型資料庫可能需要數千個單獨的圖磚。



### 本地VS網路儲存

模擬器都必須連接到地形資料庫，可以藉由將地形資料庫複製到每一套模擬器的本機硬碟；或在集中式伺服器上儲存地形資料，並讓模擬器透過網路獲取資料。本地儲存的主要優點是快速存取資料，缺點是從地形資料庫複製檔案到本機需要大量的時間；集中式伺服器的主要優點是管理大型地理圖資，含提供近乎及時存取修正資料的能力；缺點是需要設定與連接網路。

集中式伺服器對串流地形較有利。

## 地形之成本

地形資料庫很貴，但絕對物超所值。地形資料庫收集並整理原始資料讓圖資工具或準備串流使用。美術被要求製作建築或其他模組，如果它是離線製作，工具需要被一次又一次執行直到結果滿意，性能也達到需求；如果它是串流或程序性，自從可以改參數立刻在執行環境獲得測試結果後，處理速度大幅提升。

### 現地實景 VS 仿真地景

一般來說，現地實景的成本會比仿真地景高。如果你有考慮到它需要多少原始資料，原始資料必須提供一圖層像素、輸出道路、建築與浮標...等等。仿真地景技術則只要有適合表現世界就可以重複使用，一棟房子模組可以在數十或數千甚至更多地方被使用。假如房子需要個別建立模組時，它需要更多原始資料與製作每個模組的時間，也需要更多硬碟空間去存放模組。

\$ Saved

### 匹配技術與需求

對於可互動並使用仿真度較低的周圍地理圖資時，專注投入在製作場景模組，比較符合預算需求。用程式化技術創造地形元素，代替原始資料模組化，當結果符合模擬需求時，可以節省金錢與時間。

\$ Saved

### 資源

地理資訊的可用性正在提升中，政府提供越來越多免費或小額分攤費用 (small distribution fees) 的地理資訊資料；開源社群製造出的街道圖與建築資料數量也讓人驚豔。比自己購買再整理新資料，使用這些資源可以大幅降低成本。

\$ Saved

### 重新建構與重複使用

成本效益最好的方法就是拿其它專案建好的地形資料庫，比起重新製作一個新的，可以省下大量的成本。但你還是需要權衡，把現有的東西調整成客戶需求也不見得便宜。

\$ Saved

## 結論...

上述情況可以驗證「付出多少，得到多少」，如果願意花費時間與金錢，就可以更接近你的需求；如果你接受別人為了其他目的，所收集的資料或建立的資料庫，你就有機會節省大筆開支。

從虛擬模擬器的角度來看，虛擬環境中其他的內容都算是”其他聯合模擬成員”，大致上可以區分為兩種類型：系統內部的虛擬模擬器(管制官操作圖台、狀況發布/電腦產生的操演方以及其他操作手圖台)；或者是其他在模擬環境中的LVC(Live, Virtual, and Constructive)實體，這些實體可以是其他模擬系統、電腦控制的架構模擬、或者是在載具儀表偵測範圍內的其他操作手。



在分散式的模擬環境中，每一個聯合模擬成員各自負責自身的模擬運算。然而，當它與網路連線時也會影響到包含自身、圖形引擎及所有擬成員的環境。

設計一個包含了模擬器的訓練系統有很多種方式。如果操作手有隊友的話(在交戰時位於同一方的其他操作手)，則可以將他們視為「藍軍」。「紅軍」是由對立的部隊組成，而「白軍」通常指的是中立的角色、訓練支援人員或是觀察分析員。

其他模擬器(每一個組成都包含這個文件中所描述的組件)可以參與進模擬中。舉例來說，在一個訓練設施內進行「四機編隊」的快速噴射機組合操作。每一個

模擬器都會在自己的視野中看到其他人在虛擬世界中所呈現的狀態。這個訓練設施也可能會连接到位於不同城市的設施，像是坦克群、直升機、或其他連接

在網路上的聯合模擬器等，他們也都會以「其他聯模成員」的角色呈現在虛擬世界中。

**網路連線可以擴充至包含實際角色 - 在儀表範圍內的車輛可以將其位置及狀態輸入進網路中，所以他們在虛擬世界中可以被看見及互動。**

在藍軍或紅軍中的其他模擬器可能是「建立的」- 由電腦產生及控制的，而不是模擬器中的操作手或者範圍內的實體載具。如果運作良好，在模擬器中的受訓人員就不會分辨出實體載具、虛擬操作手及電腦模擬單位之間的區別。這就是LVC模擬器的目標。

「白軍」可以透過不同的方式參與模擬，並且能直接或被動間接的在模擬中影響受訓者。

管制官使用具備CGF的管制工作站來控制模擬環境，例如改變天氣、或者造成某一個操作手的機械故障。

CGF、威脅點、或者其他人工智慧可以加入側翼部隊、對手、中立平民及旁觀者陣營。

生物伺服器將人類角色添加進環境中作為友軍、敵軍及中立平民。

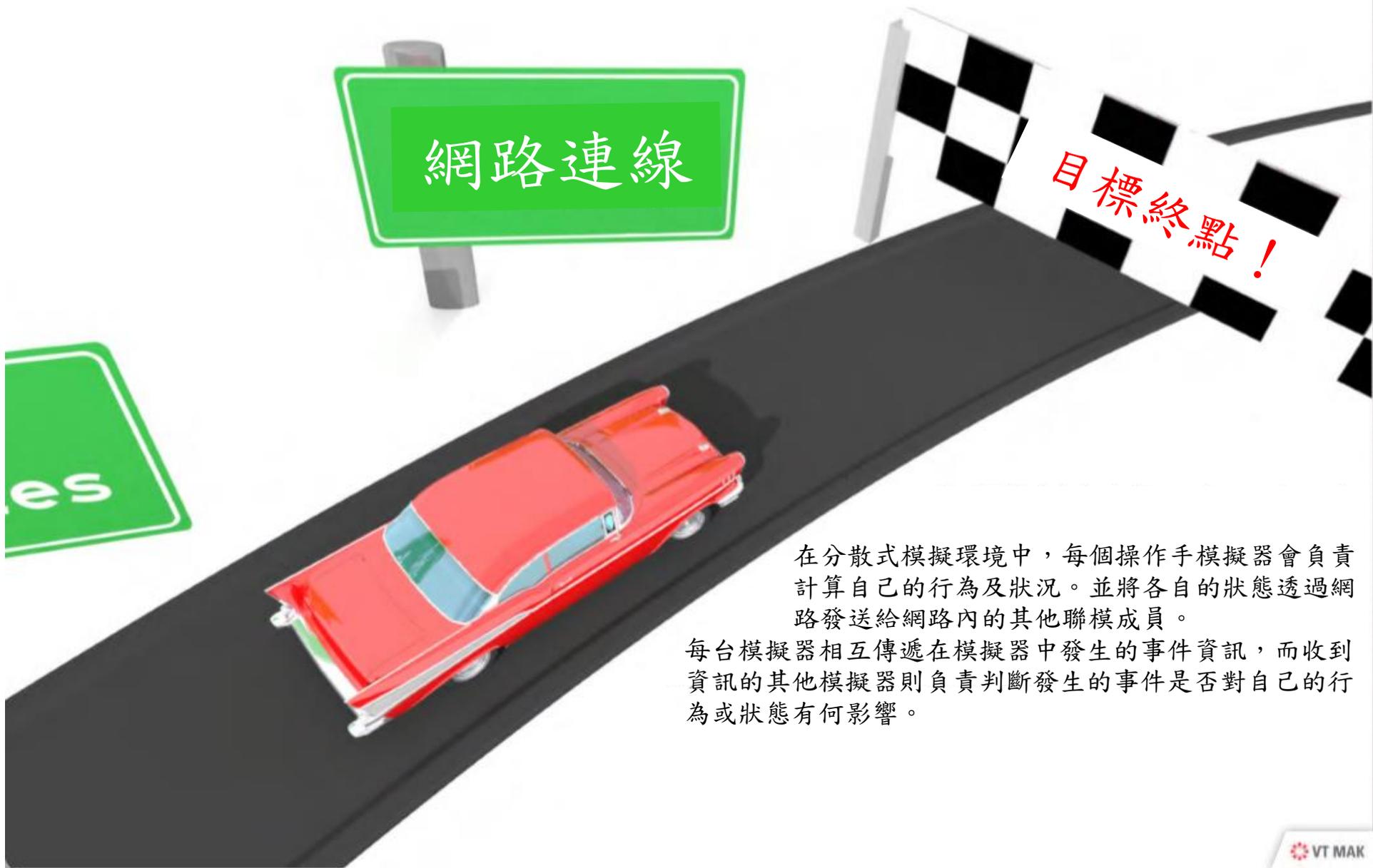
觀察者功能透過視覺化系統(有時候被稱為「隱形視角」)，以零干擾的方式提供態勢資訊給觀察官及貴賓。

管制官及分析官使用data logger來記錄模擬活動及標記重要事件，以便向受訓者呈現事後評估(AAR)資料或簡報。也可以使用工具來分析模擬過程，並且向管制官提供效能分析及提示。

「白軍」角色可以使用模擬器加入模擬中作為實體，以增加場景的複雜性或訓練任務中的影響。



**網路連線**將虛擬的模擬器串接進模擬世界當中，使用區域網路(LAN)將並排放置的模擬器(聯模成員, Federates)，在單一特定的空間內串連在一起；或者，使用廣域網路(WAN)，可連接與設備相距非常遠或地球另一端的模擬器。

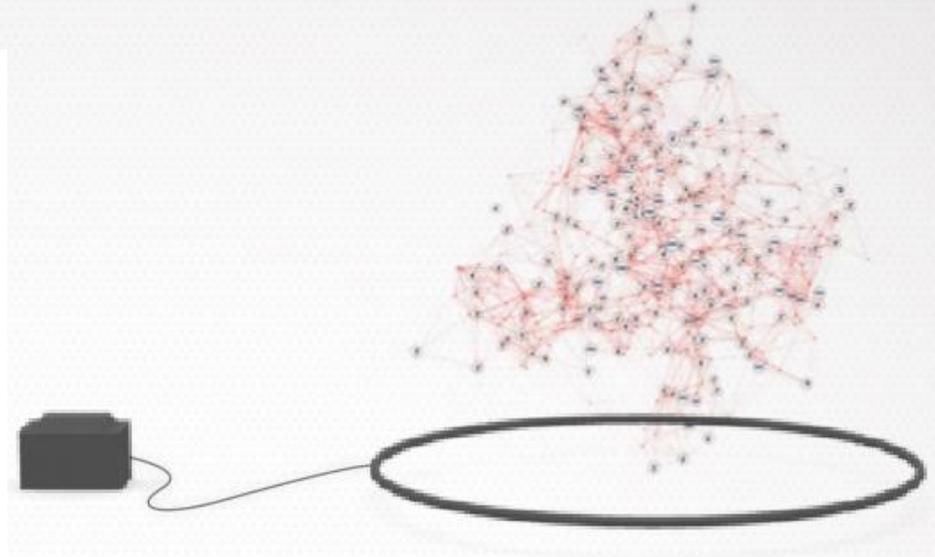


在分散式模擬環境中，每個操作手模擬器會負責計算自己的行為及狀況。並將各自的狀態透過網路發送給網路內的其他聯模成員。

每台模擬器相互傳遞在模擬器中發生的事件資訊，而收到資訊的其他模擬器則負責判斷發生的事件是否對自己的行為或狀態有何影響。

## 網路介面

網路介面是用來連接網路，發送自己的座標位置及狀態，並接受其他聯模成員**回傳**更新資料的軟體模組。該軟體條列出所有內容，好讓主機模擬器及/或圖形引擎，了解在虛擬環境中還有什麼其他內容。操作手模擬器將使用這些知識內容，確認跟其他實體物件碰撞以及互動的影響。圖形引擎則使用這些資訊渲染出每個實體物件的3D模型，以及描繪出互動的特效，譬如武器開火以及爆炸。



## 模擬器之間的溝通

兩個模擬器之間交換的資訊訊號稱為「物件」以及「互動」；物件是實體(如輛載具、人物、飛彈...等)在模擬器中持續存在的訊息，任何加入此模擬器的聯模成員都必須要知道這些資訊，在模擬器當中，網路上傳送的訊息大部分是物件的更新資訊；**互動**則是描述事件的網路訊息，這些事件包括模擬過程中發生的事情，例如武器射擊或飛彈爆炸，這些互動是短暫的，它會發生直到結束。

在模擬器中，為了確保有效的操作，模擬器必須了解其他模擬器傳送來的物件及互動資訊。這些集合串接在一起的模擬器稱為聯模成員，他們會有統一的參數模型，包括物件、互動以及各自的屬性，它們要定義出統一參數模型的方法不只一種，幸好有很多種標準能幫助我們定義參數模型。

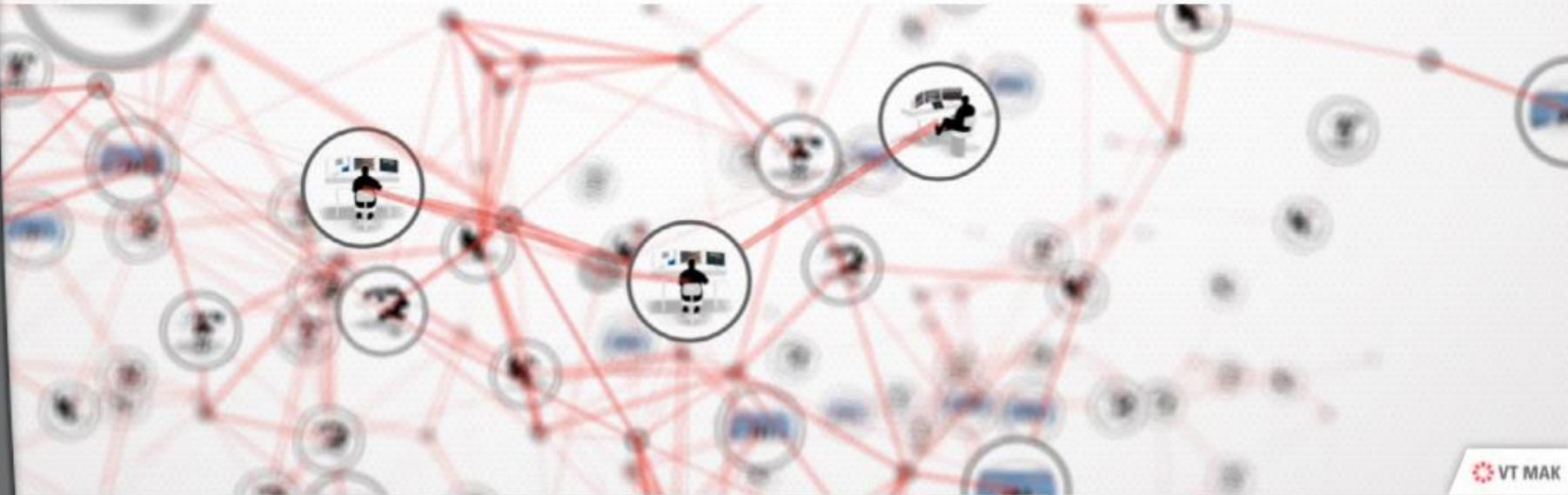
## 互用性標準

早期(1990年)，當模擬器之間第一次透過分散式互動模擬網路架構(DIS)串接在一起時，政府單位、學術界及相關行業團體皆齊聚一堂，定義出參數模型、將參數模型資訊編碼成封包，這個方法稱為協議數據單元(Protocol Data Units, PDUs)。第一個分散式互動模擬標準的出現，使得互用性成為一種有效且可以被預測的科學，隨著模擬網路複雜度的增加，模擬器需要連線的物件、互動種類也隨之增加，使得新型態的模擬器連線架構也應運而生，稱為高階模擬架構(High Level Architecture, HLA)。這兩套標準是透過多年的經驗及合作發展而來，進而被SISO(Simulation Interoperability Standards Organization)、IEEE等組織正式規範及採用。

## 聯模參數模型

參數模型是分散式互動模擬標準的一部份，用較為口語的方式來解釋定義，就是每個成員都知道其他成員在討論什麼。而高階模擬架構的其中一個特點是，允許模擬設計者去定義自己的參數模型，稱為聯模參數模型(Federation object model, FOM)。

在分散式互動模擬標準中，與物件及特定互動之間相互通信，最常被使用到的就是高階模擬架構聯模參數模型。由於分散式互動模擬標準是用來解決虛擬模擬器連線而制定的標準，因此聯模參數模型又稱為即時戰略/術層級聯模參數模型(Real-time Platform-level Reference Federation Object Model, RPR-FOM)。許多不同種類的聯模參數模型以RPR聯模參數模型作為基底開發，並加入聯模成員特定的物件及屬性。在最新版的高階模擬架構HLA-Evolved中，支援不同聯模成員之間，皆可共享基礎聯模參數模型的模組化聯模參數模型，這些共享的聯模參數模型可讓其他聯模成員將自己的物件及互動加入其中。



## 標準定義

### 分散式互動模擬(DIS)

1995年分散式互動模擬協議於首次成為IEEE標準，其正式名稱為IEEE 1278.1-1995。1998年份分散式互動模擬標準附錄出版後，將分散式互動模擬擴展至包含集合、環境特徵、雷區等新的數據協定單元(Protocol Data Unit, PDUs)。該附錄亦屬IEEE標準定義，稱之為IEEE 1278.1a-1998。由於IEEE擁有分散式互動模擬標準之版權，因此其副本只能由IEEE處取得。IEEE 1278.1-1995的IEEE產品代碼是SH94351，而1278.1a-1998的產品代碼是SH94604。

雖然IEEE分散式互動模擬標準包含了各種有關分散式互動模擬的PDU結構訊息，但各種分散式互動模擬的數值與列舉資料卻被認為過於浮動，或是相對於更新緩慢的IEEE標準而言，有著過於快速的變化。例如不時地引進新武器系統，新開發的無線電編碼，甚至是國家名稱的改變。因此，這些數值與列舉資料由仿真互用性組織(Simulation Interoperability Standards Organization, SISO)在名為仿真互用性列舉參考(Reference for Enumerations for Simulation Interoperability)的單獨文件中進行維護。該文件可從SISO網站取得，並可在該網站上找到最新版本的網路連結。

### 高階模擬架構(HLA)

高階模擬架構是目前模擬器互用性中的最新標準，高階模擬架構不同於分散式互動模擬中的網路協定(有線標準)，而是制定了一組應用程式介面(API)的標準架構。聯模成員透過高階模擬架構提供的應用程式介面進行通信。

被稱為RTI(Runtime Infrastructure)的軟體，它是用以實作高階模擬架構的API，負責將數據從一個聯合模擬傳送到另一個聯合模擬。與分散式互動模擬相同，IEEE擁有高階模擬架構標準之所有權。最新版本的高階模擬架構為IEEE 1516-2010，又稱HLA Evolved。高階模擬架構標準共由三個文件所構成，皆可從IEEE取得。

#### 持續創新

HLA的下個版本HLA4  
正由標準制定委員會開發中。

#### 持續創新

DIS的下個版本DIS8  
正由標準制定委員會開發中。

#### IEEE 1516.2-2010

IEEE建模與模擬(M&S)之高階模擬架構(HLA)標準-參數模型格式(OMT)規範，用以描述高階模擬架構中參數模型格式之定義。而參數模型則決定在高階模擬架構下，聯模成員之間需交換那些數據。

#### IEEE 1516.1-2010

IEEE建模與模擬(M&S)之高階模擬架構(HLA)標準-聯合介面規格(Federate Interface Specification)定義了包含API在內，由HLA RTI所提供的各項服務。

#### IEEE 1516-2010

IEEE建模與模擬(M&S)之高階模擬架構(HLA)標準-該框架與規則作為實現與使用高階模擬架構的規則和定義。

## WebLVC通訊協定

WebLVC是一項即將成為官方標準的通訊協定。WebLVC專門用於支援網路客戶端應用程式、傳統建模與聯合模擬(可能使用DIS, HLA, TENA或其他分散式模擬結構)之間的交互通信。WebLVC所定義之標準協定,可用於將模擬對象屬性加以編碼成JavaScript Object Notation(JSON),並透過WebSockets與DIS / RPR FOM語義的內置編碼進行交換。

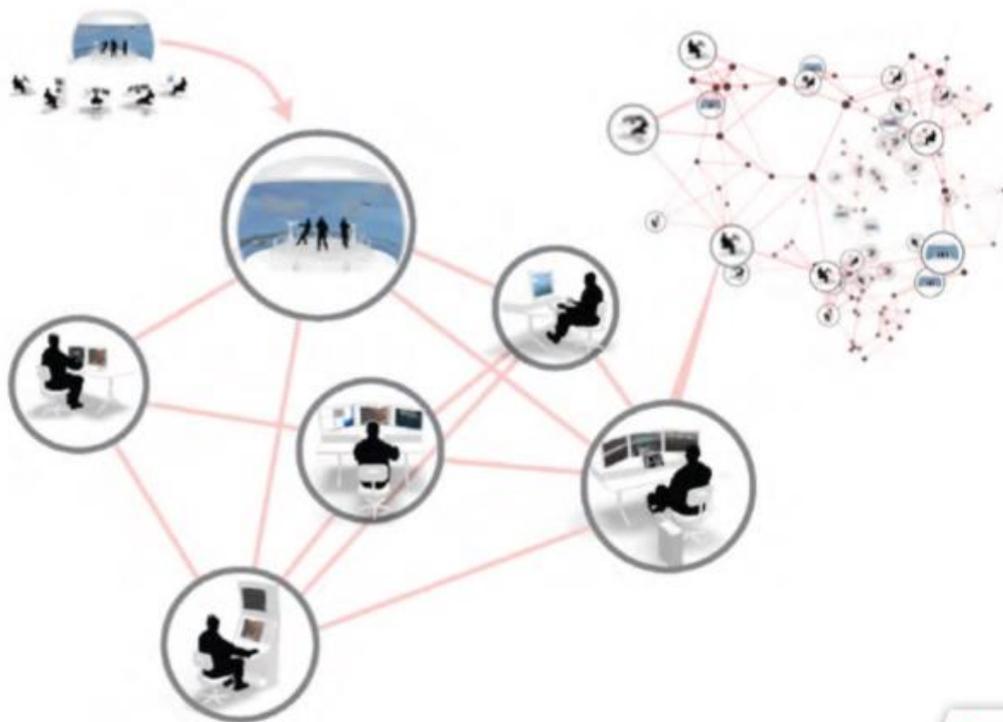
## 該使用何種協定?

通常當新的模擬器連接到既有網絡時,所使用的協定已經隨之固定。

在選擇方面,分散式互動模擬較為簡易;高階模擬架構則較為複雜,但可以處理更大更複雜的項目。

## 網路建置

對於小型區域性網路而言,建立網路可謂十分簡便。但對於需要串連多個站點以及連接使用不同協定與參數模型模擬器的廣泛性網路來說,就相當具有挑戰性。高階模擬架構便是用來處理大型複雜的模擬架構。因此能夠擁有網路建置、網路監控以及處理問題的工具,是大型模擬成功的重要關鍵。



## 運行支撐環境(RTI)

高階模擬架構並未具體指出網路訊息的傳輸方式，它只定義了通訊介面，但未定義傳輸規範(有線標準)。為了使用高階模擬，每個聯模成員必須擁有RTI才能與其他聯模成員進行通訊。高階模擬架構標準定義了API，用以描述模擬器軟體如何使用高階模擬架構的相關規範。

### RTI在功能方面能直接解決的問題

#### 規模

與分散式互動模擬不同，高階模擬架構不使用心跳(Heartbeat)機制進行通訊，相對地，僅在數據發生變化時才會將數據傳遞出去。相較於使用心跳協定，這種作法能有效擴展運作規模。此外，高階模擬架構還提供一個名為DDM的資料分發管理服務，它能過濾訊息以確保只接收到實際需要的訊息。這樣的組合讓高階模擬架構在同一時間內能支援至數十萬個物件。

不採用心跳機制的缺點是，一旦新的聯模成員中途加入聯合模擬時，會消耗運作效能將資料全部傳遞給新加入者。然而，一個好的RTI應該能夠透過發送優化數據包，將此通訊的成本降至最低。

高階模擬架構的另一個優點是能透過網路混合使用TCP及UDP通訊協定，以便在廣域網路和區域網路上順利運行。通常這需要由兩個或多個轉發器所組成的網路，這些轉發器將UDP轉換為定向的TCP訊息至廣域網路中的其他轉發器。雖然這可能需要對轉發網路進行一些初始的配置，但最後能達成跨越地區與國家的大型運作模式。

#### 性能

高階模擬架構規範並未規範有線通訊協定。這意味著在缺乏多樣RTI作為橋接的狀態下，高階模擬架構將無法運行。但它透過讓各RTI優化有線通訊來彌補這一點。例如現代的RTI應能將訊息打包在一起，以便在短時間內發送多批次且最大程度的減少訊息傳遞次數，例如一次發送5,000字節的訊息會比發送50次100字節的訊息更有效率。

壓縮是降低網路瓶頸的另一種方法。如果可以獲得上述5,000字節的訊息並將其壓縮至一半的大小，則可以CPU效能為代價，讓網路使用更顯著提升。但是否值得如此這樣做，則取決於您的網路、運作和電腦設備。由於沒有有線通訊協定，RTI相當具有彈性，並且能將規格最佳化。

#### 監控

通過網路傳遞的高階模擬數據沒有標準，並且無法輕易被第三方監控工具讀取。然而，RTI能夠明確得知每個聯模成員發送和接收的內容，並追蹤該數據。它既可以顯示正在傳輸的高階模擬架構訊息，也能顯示由特定RTI發送的內部訊息，並能追蹤每一次的訊息傳遞效能，這是因為RTI能輕鬆地確定訊息所需時間。

如果您感興趣的是將數據傳輸完成而非如何傳輸，監視信息的另一種方法是使用記錄工具，用以了解聯模參數模型的編碼方式，並即時解碼數據。一個優良的記錄工具能用使用者容易理解的方式顯示數據。

總而言之，儘管您不能使用諸如Wireshark等封包分析工具來獲取人類可讀的信息，但高階模擬架構提供的高品質工具仍能幫助您進行各方面的監控運作。

## 廣域網路

廣域網路實際上是多個區域網路間的實體連結。為了有效率地使訊息從個別模擬器傳輸至其他模擬器，「轉發器」的作用便是將訊息透過長距離傳輸網路傳遞至其他區域網中的另一個轉發器。

當模擬器需要加入現有的聯合模擬時，它必須「說出」該聯合模擬所使用的語言，或使用「開道器」將本地協定轉換至聯合模擬使用的協定。



### 開道器與橋接器

開道器本質上是一種轉換器，可橋接不同類型的模擬器。

#### 不同的協定

當模擬器使用不同協定（例如分散式互動模擬和高階模擬架構）來傳遞實質上相同的參數模型時，開道器會將一個協定的物件與互動轉換至另一個協定，並且將訊息加以轉發。

#### 不同的參數模型

當使用不同的聯模參數模型，但物件的本質相同時，開道器會由這個參數模型轉換至另一個。

#### 啟用不同的RTI

透過高階模擬架構連結的所有模擬器必須啟用相同的RTI。開道器可橋接網路，以便訊息可以從使用這個供應商RTI的模擬器，傳遞到使用另一個供應商RTI的模擬器。

## 控制權轉移

第一人稱的模擬，可被設計為用來控制其他聯模成員所模擬出的實體物件。這對於讓人使用操作手圖台控制電腦產生的操演方特別有用。在模擬環境中將控制權轉移是一件複雜的事情，無論是放棄和接收模擬都必須達成原則上的一致，並且進行大量複雜的交流以完成交換。網路介面可以為傳輸做事前準備，每一個參與的模擬器在接受或放棄任何物件之動作後才真正開始運作。例如在通過批准步驟後，僅需要一則訊息即可控制另一架模擬飛機。

## 人類比人工智慧更加聰明

控制權的轉移，使電腦產生的操演方能夠根據電腦AI的控制任務來模擬出大量實體物件，而操作手只能手動控制在模擬關鍵動作時，需要人為干預的實體物件。人類可以將控制權移轉回電腦產生的操演方，然後在需要時再控制另一個實體物件。

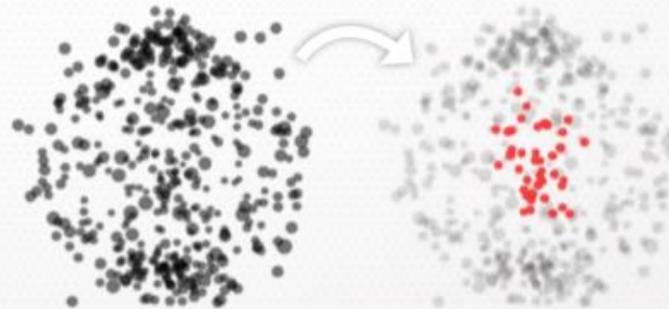
## 篩選

在大規模的模擬中，有數以千計的實體物件在大型地理區域中運作。在網路層級進行篩選，有助於將模擬的實體物件數量呈現在可控制的水準之內。操作手模擬器使用處理效能，檢驗所有實體物件之間的碰撞偵測以，以及使用圖形引擎渲染出所有可見的實體物件；因此重要的是，不能讓那些條件不符的實體物件存在於系統之內。

分散式互動模擬的互用性協定有一項稱為資料分發管理服務(Data Distribution Management, DDM)的機制，幫助網路篩選掉無關進入系統的更新實體物件。資料分發管理服務可設置為多點傳輸作為隔離模擬器之用，如此一來只有在特定地理區域發送的訊息才會被接收。高階模擬架構的RTI還可以透過限定特定類型對象與屬性的更新來進行過濾。

無論使用何種交互作業協定（如分散式互動模擬，高階模擬架構等），網路介面可以基於實體物件到達的範圍來進行過濾，它僅允許操作手模擬器處理最接近的部分。

分散式互動模擬的互用性協定有一項稱為資料分發管理服務(Data Distribution Management, DDM)的機制，幫助網路篩選掉無關的實體物件更新



# MAK 的優勢

## *We go the extra mile*

to help our customers stay focused on their unique project requirements by delivering a solid foundation of technology that is constantly improving and innovating.

**VT MAK** has the software you need to build virtual simulations: we work with industry partners to support all levels of user interface; **VR-Forces** is the robust framework upon which to build your ownship simulation; **VR-Vantage** provides the content rich, high-performance image generator; **VR-Forces** GCF serves to populate your simulation with other federates; the **MAK Data Logger** facilitates your after-action review; **VR-TheWorld**, and our partner databases, provide terrain solutions at each price and performance point; and our networking tools, **VR-Link**, **MAK RTI**, and **VR-Exchange** are world class.

**Our software** is used by the top engineers and system integrators around the world, year after year, project after project. They use it to meet a wide variety of simulation requirements and system designs. Because MAK software is designed to be customized, extended, and integrated by our customers, it is capable, powerful, and robust.

**What sets us apart** from the competition is MAK's "engineer down the hall" work ethic. We're here to help you address your simulation challenges. Reach out to us by clicking the next steps on the signpost, or visit [mak.com/nextsteps](http://mak.com/nextsteps).



現在你已經完成這個旅程

選擇下一步

選擇你的  
虛擬模擬環境



[mak.com/nextsteps](http://mak.com/nextsteps)