家庭教材：給家長

如何向孩子解釋「會說話的飛機」

這一頁給您的是理解，而不只是一份講稿。每一章先把一個概念講清楚，再提供 5 到 12 歲孩子能掌握的圖像，說明這個圖像為什麼是誠實的、在哪裡不再適用，以及能在餐桌上把它變得真實的示範。請先自己讀一遍，之後就交給孩子的頁面來講故事。

學習 - https://radar.dataero.eu/zh-hant/learning/family 2026-11-21

目錄

為什麼這個主題特別適合孩子
第 1 章 繁忙的天空，以及為什麼必須有人掌握動態
第 2 章 飛機怎麼知道自己在哪裡：雷聲、閃電與衛星
第 3 章 訊息：飛機說了什麼，多久說一次
第 4 章 看不見的光：無線電波到底是什麼
第 5 章 金屬耳朵：天線，以及為什麼地球是圓的很重要
第 6 章 地圖：許多耳朵拼成一幅畫面
孩子常問的問題，以及誠實的回答
下一步 最後一章是一台真正的接收器

為什麼這個主題特別適合孩子

五到十二歲的孩子天生就是看不見之物的偵探。他們早已接受手機會和一座看不見的基地台「說話」，遙控器會向電視「送出」某種東西，月亮會牽引海水。他們缺的不是相信看不見之物的意願，而是一幅說明這些東西如何運作的圖像；而且他們分辨真正的解釋和「那只是魔法」的能力準得驚人。ADS-B 給您一條由五個概念串成的鏈，每個概念都有一幅具體、誠實、孩子能掌握的圖像，而且每一個都能在家裡用一條繩子、一支手電筒和一支手機示範出來。

這一頁的指導原則是：簡化必須是把真實的事說得簡單，而不是把錯誤的事說得令人安心。「無線電是一種眼睛看不見的光」是簡化，但它是真的，物理學家會點頭同意。「無線電是一種特別的聲音」很簡單，卻是錯的，到十四歲時還得重新拆掉。下面每一個比喻都標明了它在哪裡成立、在哪裡不再成立，讓您可以自信地說「它有點像……」，並在孩子追問時說「但不完全是，因為……」。

依年齡調整深度
對 5 到 7 歲的孩子，第 1、3、4、6 章就很足夠，用說故事的方式講，重點在示範。對 8 到 12 歲的孩子，六章都可以講；他們會想知道數字（每秒兩次、每秒 300 000 km、400 km）和「為什麼」，您也可以讓他們自己操作即時地圖。如果您想了解任何一章背後完整的成人版解釋，參考課程有詳細說明。

第 1 章

繁忙的天空，以及為什麼必須有人掌握動態

概念。在平常的一天，大約有 30 000 個航班飛越歐洲。在比利時的任何一座城鎮上空，幾乎隨時都至少有一架客機，通常還不只一架，而且幾乎全都飛得太高，看不清楚：在十公里的高空，空氣稀薄又寒冷，飛機只像一點閃光或一道白線。它們的速度約為 900 km/h，也就是每秒 250 公尺，而且它們彼此看對方，並不

比我們看它們更清楚。所以地面上必須有人隨時知道每一架飛機在哪裡，好讓它們保持距離。這份工作叫做航空交通管制，而整個課程的問題就是：他們是怎麼知道的？

給孩子的圖像。天空就像一條沒有畫上道路、車道之間也沒有標線的高速公路，上面的車比地面上任何東西都快，而且彼此看不見。必須有人當整片天空的導護媽媽。孩子一旦發現天上有多少飛機，通常會真心覺得很興奮；這份驚訝就是後面所有內容的引子。

在哪裡成立，在哪裡不再成立。高速公路的圖像很適合說明「很快、很多、必須保持距離」。但如果孩子因此以為飛機沿著畫好的路線緊挨著飛，就會產生誤解；事實上，飛機在垂直方向至少相隔 300 公尺，水平方向相隔好幾公里，所以相撞才會如此罕見。可以這樣說：「規定是它們絕不能比三個疊起來的足球場還要靠近。」

在家裡：五分鐘數飛機
站在窗邊或院子裡五分鐘，邊看邊聽。每看到或聽到一架飛機就記一筆。然後在手機上打開即時地圖，放大到您所在的城鎮，比較一下：幾乎每次地圖上都比您注意到的多好幾架。眼睛捕捉到的和地圖顯示的之間的差距，就是這一課：天空比看起來忙碌得多，而且有人能看到全部。把數字留下來，第 6 章還會再用到。

第 2 章

飛機怎麼知道自己在哪裡：雷聲、閃電與衛星

概念。ADS-B 巧妙的地方在於，地面不必去找飛機：飛機早就知道自己在哪裡，只是把它說出來。它之所以知道，是因為導航衛星。大約有三十顆導航衛星在 20 000 km 高的地方繞著地球運行，每一顆都有一個非常精準的時鐘，不停地呼喊：「我是 12 號衛星，現在的時間正好是……」。無線電從那麼高的地方傳下來需要一點時間，大約百分之七秒，所以飛機聽到每顆衛星報的時間都會稍微晚一點。晚多少，就告訴它那顆衛星有多遠。有了四顆衛星、四個距離，世界上只有一個地點和這四顆衛星的距離都剛好吻合：那就是飛機所在的位置，誤差只有幾公尺。

給孩子的圖像。雷聲和閃電。閃光立刻就看得到，雷聲晚一點才聽到；間隔越長，暴風雨就越遠：數秒數，再除以三，就得到公里數。衛星是閃電，飛機是正在數秒的你。現在想像四個方向同時有四場暴風雨；如果你知道每一場有多遠，就能算出自己站在哪裡。數過雷聲的孩子，早已掌握了這個概念的一半。

在哪裡成立，在哪裡不再成立。對於「延遲代表距離」，這個圖像非常貼切。它只在一個地方不成立：打雷時，慢的東西（聲音）在快的東西（光）之後到達，我們比較兩者。衛星則只有一個訊號，飛機之所以知道訊號是什麼時候送出的，是因為衛星把送出的時間寫在訊息裡，就像信封上蓋了寄出時間的郵戳。如果孩子問「可是飛機怎麼知道衛星是什麼時候喊的？」，這就是正確答案，也表示他們已經聽懂了。

在家裡：回聲遊戲
兩人分別站在一個長房間或院子的兩端。一人拍手，另一人一聽到就立刻舉手。走近一點，再走遠一點。然後改用手電筒閃一下代替拍手：完全察覺不到延遲。這就是聲音（很慢，每秒 340 m）和光或無線電（快到在家裡完全看不出延遲，但衛星實在太遠，連光都需要一段可以量得出來的時間）之間的差別。對年紀較大的孩子，可以加上數字：光一秒鐘走 300 000 km，而衛星在 20 000 km 高的地方，所以延遲大約是十五分之一秒。

第 3 章

訊息：飛機說了什麼，多久說一次

概念。飛機上有一台小型無線電，叫做詢答機（transponder），大約每秒兩次，在沒有任何人要求的情況下自動送出一則短訊息。訊息有四個部分：名字（每架飛機註冊時都會得到一個永久代碼，有點像車牌，再加上航班的呼號，例如「Brussels Airlines 1234」）、位置（第 2 章的衛星定位）、高度（由外面的氣壓測量，越往上爬氣壓越低），以及速度和方向。這則訊息非常小，只有 112 個「是或否」的答案，持續約萬分之一秒。最後還附有 24 個額外的「是或否」答案，作用就像條碼上的檢查碼：接收的一方對訊息做一道計算，如果結果和檢查碼不符，就表示訊息在途中被弄亂了，於是把它丟掉。

給孩子的圖像。一架飛機就像一個在房間裡走來走去的孩子，每半秒說一次：「我是小飛，我在沙發旁邊，我在很高的地方，我走得很快。」他不等別人問，不在乎誰在聽，而且從不停下來。這是整個課程中唯一一個孩子能用全身演出來的圖像，值得實際做一次，因為做過之後，「飛機送出它的訊息」就不再是抽象的概念，而是他們親身當過的東西。

在哪裡成立，在哪裡不再成立。對於「自動、重複、向所有人廣播」，這個圖像都成立，而這正好是工程師最在意的三個特性。它在「說」這個字上不成立：訊息不是文字也不是聲音，而是一串無線電脈衝，這是第 4 章的內容。如果孩子年紀較大，可以解釋那 112 個「是或否」的答案：「飛機不能送出文字，只能送出是或否，所以它連續送出 112 個，而大家都事先約定好每一個代表什麼意思。前面二十四個合起來，就拼出它的名字。」可以讓 10 歲的孩子看看，24 個「是或否」的答案能組成將近 1 700 萬個不同的名字，足夠分給曾經製造過的每一架飛機。

需要事先化解的常見誤解。很多孩子（和大人）以為飛機是「被雷達看到」或「被衛星監視」。衛星並沒有監視飛機；是飛機在聽衛星，算出自己在哪裡，然後自己告訴地面。雷達確實存在，現在也還在使用，但它的運作方式正好相反，是讓訊號從飛機身上反彈回來。這個差別值得講清楚，因為它就是 ADS-B 的重點：沒有人去找飛機，是飛機自己報告。

> **在家裡：先當飛機，再當塔臺**
> 孩子當飛機：張開雙臂，在房間裡走來走去，每走幾步就說一次那四個部分的訊息。您當塔臺，拿一張紙，每次孩子說話就畫下他的位置。然後交換角色。接著試試看讓孩子每分鐘只說一次訊息：注意他在兩次訊息之間走了多遠，而您的圖落後了多少。這就是為什麼每秒兩次很重要。

第 4 章

看不見的光：無線電波到底是什麼

概念。訊息以無線電波的形式離開飛機，而無線電波就是光。不是「像」光，而是同一種東西。光是一種在空間中以每秒 300 000 km 傳播的電與磁的漣漪，讓一道漣漪成為紅光、另一道成為藍光、又一道成為無線電波或 X 光的，只是它擺動得有多快。我們的眼睛剛好只能察覺一段很窄的擺動速度，也就是彩虹的顏色。無線電擺動得比眼睛能捕捉的任何東西都慢得多：飛機的電波每秒擺動 1 090 百萬次，聽起來很快，直到你知道綠光擺動得還要再快五十萬倍。擺動慢也表示電波很「長」：從一道漣漪到下一道的距離是 27.5 cm，大約一把學校用尺的長度，而綠光的這個距離還不到千分之一毫米。

給孩子的圖像。一種你的眼睛看不見的顏色。孩子很快就能接受狗聽得到我們聽不到的哨音，蜜蜂看得到花朵上我們看不到的圖案；「無線電是一種我們看不見、但天線看得見的顏色」正好落在同一個位置。接著是繩子：慢慢甩繩子，會出現又長又懶洋洋的波；快快甩，就會出現又短又忙碌的波。無線電是長而懶洋洋的那種，光是短而忙碌的那種，兩者沿著繩子傳播的速度一樣。

在哪裡成立，在哪裡不再成立。繩子的比喻對於「波」、「波長」以及「甩得越快波越短」都成立，這是真正的物理（繩子上波的速度固定，所以頻率乘以波長是常數，和光完全一樣）。它不成立的地方在於繩子的波需要繩子：光和無線電什麼都不需要，可以穿越真空，衛星的訊號正是這樣到達飛機。最需要避免的混淆是把無線電和聲音混為一談。聲音是空氣分子彼此碰撞，很慢（每秒 340 m），而且需要空氣。無線電是光，快了將近一百萬倍，什麼都不需要。廚房裡那個叫做「收音機」的盒子，其實是一個接住無線電光、再把它轉成聲音的裝置，值得把這一點講出來。

在家裡：繩子與手電筒
把一條跳繩綁在門把上。慢慢甩，快快甩；用尺各量一個波的長度。接著是手電筒：打開它，問光在哪裡。在房間的每個角落，一瞬間就到了。再問：「如果手電筒是一台無線電，飛機的天線看得到它嗎？」看得到，因為它們是同一種東西。最後拿起一把尺：「飛機的電波從一道漣漪到下一道就這麼長，此刻它正穿過這個房間，每秒數千道漣漪，而我們連一道都看不見。」

第 5 章

金屬耳朵：天線，以及為什麼地球是圓的很重要

概念。無線電波經過一塊金屬時，會讓金屬裡的電隨著它的節奏來回晃動。這個微小的晃動就是「聽見」。金屬的大小和電波相配時聽得最清楚，也就是漣漪間距的四分之一，對飛機的電波來說約為 7 cm。這就是為什麼接收它的天線是一根小短棒，也是為什麼長度不對的電線聽得很差：天線是一隻調好音的耳朵，就像盪鞦韆，只有按照它自己的節奏推，才會盪得高。因為無線電是光，所以它走直線；又因為地球是圓的，從低處天線出發的直線很快就會碰到地面。天線越高，這條直線在被地球擋住之前就能延伸得越遠：從屋頂上，可以聽到 400 km 以外、在十公里高空的飛機，比布魯塞爾到巴黎來回一趟還遠。再遠的話，飛機就在地平線以下，不管訊號多強都聽不到。

給孩子的圖像。兩個圖像。天線是一隻金屬耳朵，就像真正的耳朵，它的大小適合某些聲音（孩子知道狗的大耳朵和老鼠的小耳朵聽到的東西不一樣）。而地平線就像站在椅子上看越過人群：地球是一顆非常大的球，站得越高，就能越過它的弧度看得越遠。船的桅杆、燈塔、樹上的瞭望台都是同一個概念，孩子通常在故事裡見過其中一種。

在哪裡成立，在哪裡不再成立。耳朵的圖像對於「接住電波、依大小調音」是成立的。它不成立的地方在於耳朵也是產生聽覺的地方，而天線只負責接收：真正的解碼是在接收器和電腦裡進行，那是第 6 章的事。椅子的圖像幾乎完全準確；唯一需要補充給年紀較大孩子的是，空氣會讓無線電稍微往下彎一點，所以無線電的地平線比眼睛看到的稍微遠一些。

在家裡：找天線與地平線散步
找找看天線在哪裡：Wi-Fi 分享器（它的短棒，或藏在裡面）、汽車上的鯊魚鰭天線、手機（藏在邊框裡）、收音機、屋頂。注意有多少天線裝在高處，問問為什麼。然後去一個視野開闊的地方：孩子蹲下、站起來、再坐到您的肩膀上，每次都看得更遠一點。解釋屋頂上接收飛機訊號的天線也在做同一件事，而遠方的飛機是「躲在圓圓的地球後面」，直到它爬得夠高才能探出頭來。

第 6 章

地圖：許多耳朵拼成一幅畫面

概念。一支天線能聽到直徑幾百公里的一圈天空。沒有人能從一個屋頂聽到整個歐洲，所以地圖是由數百支天線組成的，裝在住家、機場和學校，每一支都把聽到的內容透過網路傳到同一個地方，由一台電腦把這些碎片拼起來：同一架飛機通常同時被十到二十支天線聽到，電腦會發現那是同一架。結果就是即時地圖：每一架正在說話的飛機、它在哪裡、多高、多快，每秒更新一次。地面從來沒有測量過其中任何一項；是飛機說出來的，天線在聽，電腦把碎片拼在一起。航管員看到的畫面也大致相同，只是再疊加雷達作為第二意見。

給孩子的圖像。拼圖。每支天線拿著一片，也就是一圈天空；把所有的圓圈拼在一起，就得到完整的畫面，邊緣彼此重疊。或者是反過來玩的傳話遊戲：不是一則訊息一路傳下去越傳越亂，而是數百個聽眾各自回報聽到的內容，聽到同一件事的人互相印證。

在哪裡成立，在哪裡不再成立。就涵蓋範圍而言，拼圖的比喻幾乎完全準確。需要提醒的地方是「每一架飛機」：只有正在說話的飛機才會出現。客機幾乎都會說話；小型私人飛機、滑翔機和許多軍機可能不會，而衛星接收器受到干擾的飛機則會說出錯誤的內容。所以地圖是誠實的，但並不完整，而這對孩子了解任何地圖來說都是一件好事。

在家裡：找到你的飛機
打開即時地圖，放大到您家，等一架飛機從頭頂飛過。在地圖上找到它，點一下：名字、高度、速度、從哪裡來、要到哪裡去。然後抬頭看著那點閃光說：「那架飛機現在正在說它的訊息，每秒兩次，有人的天線接到了，所以我們才能在地圖上看到它。」和第 1 章數到的數字比較一下。最後用一個能檢驗整條鏈的問題收尾：「如果那架飛機不再說話，會發生什麼事？」（它會從地圖上消失，不過航管員還有雷達。）

孩子常問的問題，以及誠實的回答

以下是最常出現的問題，每一個都值得真正的回答，而不是安撫性的回答，因為每一個問題都表示孩子正在檢驗您給他們的模型。

「如果我大叫，飛機聽得到嗎？」聽不到，原因就是整個第 4 章：大叫是聲音，是空氣中的漣漪，幾百公尺內就消失了，而飛機的無線電只聽衛星和其他飛機發出的看不見的光。值得補充的是，您家裡也沒有任何東西在和飛機說話。地圖完全是靠聆聽運作的。

「是飛行員按一個按鈕送出訊息的嗎？」不是。詢答機會自己送出訊息，每秒兩次，從飛機開始移動直到停好為止；飛行員除非把詢答機關掉，否則無法讓它停下來，而在飛行中這是禁止的。這就是系統名稱中「自動」（Automatic）的意思，也是為什麼飛機在接收範圍內時，地圖上從不會出現空檔。

「飛機也能在地圖上看到我們嗎？」它看不到房子或人。但它能聽到周圍其他飛機的訊息，在現代客機上，這些訊息會顯示在駕駛艙的螢幕上，所以飛行員看到的畫面和航管員看到的一樣，即使地面一片沉默，他們也能彼此保持距離。換句話說，飛機既在說話，也在互相聆聽。

「為什麼我看不到電波？」因為眼睛只適合擺動得極快的光，也就是彩虹的顏色，而無線電對眼睛來說擺動得太慢了，雖然它每秒仍然擺動超過十億次。天線是另一種眼睛，專門為那種慢速擺動而設計。一個不錯的延伸是告訴孩子，他也看不到家裡的 Wi-Fi，答案是一樣的。

「如果兩架飛機同時說話會怎樣？」它們的訊息可能在天線上重疊而變得混亂，在繁忙的機場上空，這種情況經常發生。這正是為什麼每則訊息最後都有第 3 章提到的 24 個答案的檢查：混亂的訊息通不過檢查就會被丟掉，而因為每架飛機半秒後又會重複一次，所以不會遺失太久。對年紀較大的孩子，這是一個很好的例子，說明訊息為什麼要這樣設計。

「可以聽嗎？」可以。飛機是故意向所有人報告自己的位置，好讓其他飛機和地面上的人聽到，而收聽廣播不會傷害任何人。在飛機使用的頻率上發送任何東西則是另一回事，而且是嚴格禁止的，這就是為什麼這個課程裡沒有任何東西會發射訊號。

下一步

最後一章是一台真正的接收器

故事最好的結尾，是窗臺上放著真正的接收器。動手做工作坊列出了需要購買的東西（大約 100 到 150 歐元），說明如何和孩子一起組裝、如何準備那台小電腦並安裝 Dataero 資料提供程式，以及一小時後，您自己的天線聽到的飛機如何出現在即時地圖上，並標示您家的站臺為來源。看過「我們的飛機」那個點出現在地圖上的孩子，不會忘記它是怎麼出現的。

開啟動手做工作坊 https://radar.dataero.eu/zh-hant/learning/workshop