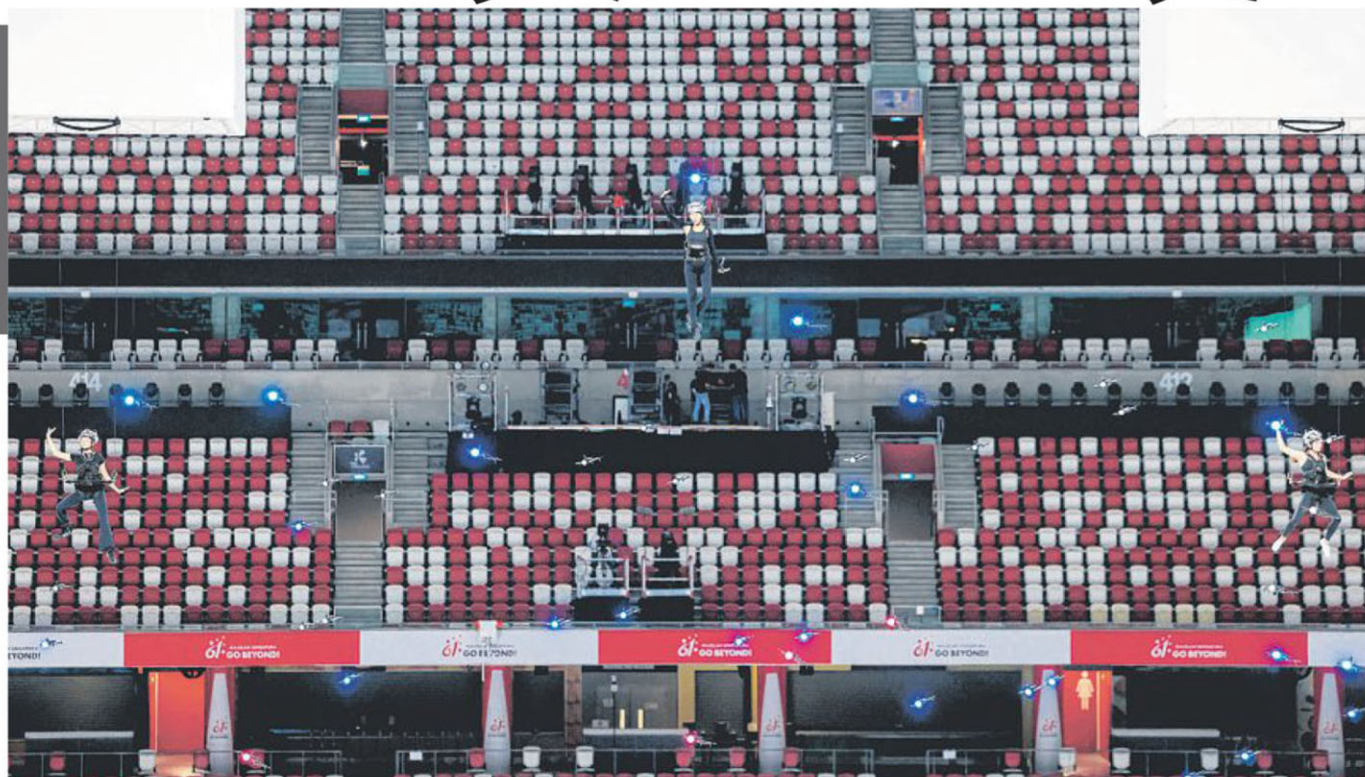


300无人机国庆起舞 光影很美科技更硬

文 冯俊源

今天，当观众在国家体育场观看国庆庆典时，300个光点将从场内升起，围绕本地电子音乐人楚晴（Jasmine Sokko）和两名空中舞者变换队形。这是国庆庆典首次安排室内无人机表演。看起来像一群机器听见音乐便自然起舞，背后却先要回答一个很实际的问题：隔着体育场的屋顶，无人机如何知道自己在哪里？

在国庆庆典第五幕“超越极限”中，楚晴（中）将在30米高空唱跳，身旁有两名空中舞者及300架无人机伴舞。（档案照）



屋顶下的定位难题

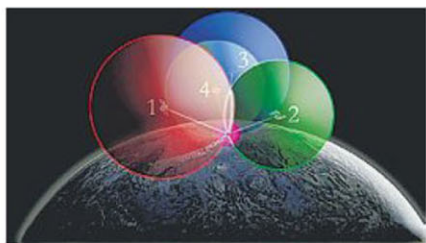
户外无人机通常依靠全球导航卫星系统判断位置。其中大家最熟悉的是美国的GPS；它只是GNSS所涵盖的多套卫星系统之一。

导航卫星像远在高空的报时员。每个颗发出与接收讯号的时间，便能估算自己与卫星的距离。知道与一颗卫星的距离，只能把范围缩小到一个巨大的球面；多颗卫星给出的球面相交，才能逐步锁定地面上的位置。

接收器要同时求出经纬度、高度和自身的时钟偏差，因此一般需要至少四组卫星讯号。手机和无人机没有卫星上的精密原子钟，哪怕时钟只差极短一瞬，乘以光速后也会变成明显的距离误差。第四组讯号就像多加一把尺，帮助接收器把时间误差和真正的位置分开。

部分户外灯光秀平台会采用实时动态差分定位（Real Time Kinematic）。可以把地面基准站想成站在舞台标记上的领舞。当卫星算出的结果稍有偏差，它便求出整张位置图偏了多少，再把修正量告诉机队。

到了室内，这些高空提示变得模糊。屋顶会削弱卫星讯号，钢架和墙面又会把讯号来回反射，如同声音在



在卫星导航技术中，四架卫星能准确地定位一枚接收器（紫色点位置），将空间误差降到最低。（美国国家海洋和大气管理局）

今天，300架无人机将在国家体育场穹顶下翩然起舞，随音乐变换队形，与歌手和空中舞者同台演出。这场首次登上国庆庆典的室内无人机表演，看似浪漫唯美，背后却凝聚着定位、航迹规划、飞行控制和安全协调的精密配合。一场光影盛宴，藏着一套鲜为人知的“空中舞蹈”科技。

大厅里形成回声。接收器可能难以分辨哪一道讯号直接传来，哪一道绕了远路。国庆庆典筹委会已透露，场内设置信标（beacon）等设施帮助无人机定位，但信标的具体制式并未公布。简单来说，团队在没有清楚路牌的室内舞台上，另设一组位置已知的固定路标，来引导无人机在室内飞行。

这种做法在演出界已有先例。席琳·迪翁巡回演唱会曾让百余架微型无人机在室内配合歌曲和灯光演出，先后重复逾百场。该系统以布置在场馆内的定位锚点告诉无人机身在何处，再由控制工作站协调演出。这也

说明，室内群飞追求的除了单次惊艳的演出，也考验巡演中的运输、充电、检查和准确复演能力。

根据走位表学会舞步

无人机知道位置后，并未学会“舞步”。设计师先在电脑里画出每一幕图案，把轮廓拆成许多三维光点。每个光点都有横向、纵向和高度三个坐标，像剧场座位号。软件再把每个位置分配给一架无人机，并计算它从上一幕移动到下一幕的路线。

这个过程称为航迹规划（trajectory planning）。若只顾及每架无人机沿最直接的路线飞向下一个位置，许多航迹可能在半空交叉。编排软件必须同时考虑距离、速度、转弯、演出时间和机间间隔，尽量缩短不必要的穿越。完成后还要在虚拟环境反复播放，检查队形转换是否顺畅，航迹是否过近。

每架无人机拿到的任务，像一份写有时间码的走位表：第几秒到哪个坐标，灯光显示什么颜色，停留多久。音乐则像全队共读的节拍。飞行时，机上的控制系统不断比较“应该到达的位置”和“实际测得的位置”，再细调四个马达，让偏离的无人机回到自己的航迹。走位表规定舞步，飞控则负责把每一步拉回节拍。

深圳在2024年中国国庆节庆祝活动中，让超过一万架无人机在户外组成大型图像。健力士世界纪录资料显示，

机队由单一电脑系统管理。这句话容易令人想象一台电脑同时拨动数万个操纵杆，实际方式更像指挥家带领一支巨型乐团。

一般而言，地面电脑负责发送任务，统一开场时间，并汇集位置、电量和飞行状态。每架无人机的飞控则根据自身传感器不断稳定机身。机队扩大后，真正棘手的是怎样迅速检查大量飞行器、分派任务、发现异常，并让故障局限在个别单位。无人机数量增加，地面准备、通信负荷和状态资料也随之增长。

图案须在可用空间完成

当无人机与表演者共享空间，安全首先体现在航迹。国庆庆典公开的安排要求无人机与空中舞者至少相隔三米，并且不得飞越任何人头顶。每一个光点因此也是一个受到约束的位置，美丽图案必须在可用空间里完成。

演出团队还要反复排练，检查定位、灯光、音乐和舞台设备能否按同一时间表运行。操作人员监看机队状态，舞台调度则确保演员在正确时刻进入相应区域。

观众看见的或许只是几分钟的流光。那幅画的底层，却是300个坐标、300份走位表，以及无数次测量和修正。当独立飞行的光点在节拍上相遇，看台上的我们也会一同抬头。工程藏在光里，留下的是一幅共同观看的国庆画面。

作者为新加坡国立大学暨澳洲国立大学科学传播系（Science Communication）联合硕士，国大物理系学士。曾任教于新加坡科学馆，现任新加坡共和理工学院讲师。

新报业媒体是2026年新加坡国庆庆典主要合作伙伴