免责声明：凡在本杂志发表的文章只代表作者观点，而非美国国防部、空军部、空军教育和训练司令部、空军大学或美国其他任何政府机构的官方立场。

精确至纳秒的GPS保障美国在现代战争中的太空优势

Space Superiority, Down to the Nanosecond: Why the Global Positioning System Remains Essential to Modern Warfare

伯纳德·格鲁博，美国空军上校（Col Bernard J. Gruber, USAF）
乔恩·安德森，美国空军退役上校（Col Jon M. Anderson, USAF, Retired）

为保持我们的太空优势，空军将继续推进 GPS 现代化计划。

——查克·哈格尔，美国国防部长

时间回溯到 2008 年奥运会。美国选手菲尔普斯以超出塞尔维亚选手查维奇百分之一秒的成绩赢得其第七枚游泳金牌，他令人惊叹的最后一搏载入史册。无论我们如何想象，这场历史性比赛所表现出的时差已无法用肉眼察觉，但是对于全球定位系统（GPS）来说，百分之一秒的误差将可能酿成灾难。[1] 为何如此？对 GPS 而言，每 1 纳秒（0.000000001 秒）会导致地球上大约 1 英尺的误差。换言之，菲尔普斯微弱的胜利时差将产生令人难以置信的错误——将近 1,000 万英尺或者大约 1,894 英里的误差。虽然 GPS 提供的不仅是报时服务，这项可测量值，和其他的太空优势和力量倍增能力一样，已成为其一项关键的标志。美军联合出版物 3-14《太空作战》将本文的重点“太空优势”定义为：“在太空中一方部队对其他任何部队拥有巨大强势，此强势程度能确保己方部队在给定时间和地点开展作战而对手**无法经由天基威胁实施过度干扰**。”[2]（粗体强调为笔者后加）在“沙漠风暴”行动中，当时尚未全面运作的 GPS 系统首次用于作战，这场战争因此被广泛称为“第一次太空战争”。[3] 从“铺路洼”直升机实施首轮空袭，到施瓦茨科普夫将军发起著名的“左勾拳”行动，甚至在接收器部署非常有限的情况下，GPS 都发挥了关键的力量倍增器作用。[4] 此后，GPS 又经历了“持久自由”行动的洗礼，几十年来一直是美军太空优势能力的皇冠明珠。然而，新现的威胁和日益先进的外国能力，对美国保持技术和作战优势构成新的挑战。

由美国空军免费提供并由空军太空司令部购置和运作的 GPS 系统，是美国的一项重要国家资产。GPS 是美国经济与军事实力的显著象征，其性能、成本及可用性举世无国能与争锋，其使用者现在超过 10 亿人，其应用已被纳入 20 亿件以上的各种商业和军事设备。[5] GPS 的应用广泛而多样，从飞机导航到网络同步，可谓无所不在。

虽然法律保障全球用户都能使用 GPS，该系统也是我们国防的一个重要组成部分，是国防部政策定义下的太空优势的明确保障因素。本文着重讨论 GPS 如何成为美军作战和美国商业能力的组成部分，为什么它对美国的经济实力和军事优势仍然至关重要，以及未来将如何完善。本文并以独特的类比和实例加强论证。

GPS 的重要性

“定位、导航、报时”，缩写“PNT”，是美国政府部门的一个常用词，外界普通民众则很少知道。在同一个术语下，这三大功能有效整合了为提供关键定位信息、导航功能和报时广播所需的多种系统、政策和活动。从多方面看，PNT 都是一种蓬勃、健康的全

球体系，这主要是因为 GPS 的全球覆盖和普及——自 1973 年 GPS 项目办公室启动以来，美国一直向全球提供免费的 GPS 服务。

今天，超过 330 万份工作依赖 GPS 技术，其中包括 GPS 制造业中大约 13 万份工作和其下游的商业及 GPS 密集应用型产业中的 320 万个工作岗位。如此丰厚回报，我们预计 GPS 的商业应用将继续在各个行业增长。GPS 系统的相关技术将每年创造 1224 亿美元的收益，当系统技术的渗透率在下游商业和 GPS 密集型产业中达到 100% 时，将直接影响到这些行业中超过 580 万份工作。[6]

事实证明，GPS 非常出色和成功，获得普遍接受，因此俄罗斯、欧盟和中国都仿而效之，分别进入了部署同类系统的不同阶段。此外，有 50 多个国家已经着手研发 GPS 系统的强化技术。在许多方面，GPS 系统是第一个真正的全球化应用实例，随着新的 GPS 商用技术每年不断涌现，这个系统将显示出更强大的生命力。GPS 系统还成为盟国军方互通操作的象征，美军和 55 个盟国签有协议，授权他们使用美国的军事精确定位服务。

GPS 的成功，很大程度上是因为其性能、成本和可用性远远超过其他系统或技术。传统的无线电导航辅助设备不够准确，而且也不能覆盖全球。惯性系统虽能达到非常精确的短期精度，但是物理学原理使其准确性随着时间推移而减低，除非定期与 GPS 或类似系统同步调校。原子时钟能准确记录时间，但是费用很高，需要相当程度的电源和散热控制。有前途的新技术，例如芯片级原子钟、冷原子惯性系统和 Wi-Fi 导航等，都能够减少对 GPS 的单一依赖，然而，它们可能无法提供同样的准确度以及可预见未来的普遍可用性。相反，这些技术如与其它传感器整合一起——特别是与 GPS 整合时，发挥得最好。如此看来，即使各种武器系统不断纳入新技术，美国军方仍将继续依赖 GPS。[7]

GPS 的历史背景

与手机、计算机和互联网一样，GPS 获得世界各地普通民众、盟友和对手军方的广泛应用。从 30 多年前第一颗 GPS 卫星发射以来，此技术彻底改变了导航和精确报时。从 1978 年 2 月 22 日发射第一颗 GPS 卫星开始，任何用户，无论是军用或民用，都可以在 GPS 的 L1 频段（1575.42 MHz）上接收未加密粗控码（C/A 码）。

该系统问世之后，军方领导人一直对 GPS 提供的精确 PNT 被普遍使用而无法做到敌友有别的现状表示关注；故而，其“军民两用”现象曾经不时引发军方和民间用户之间的摩擦。随着商界对 GPS 的使用和依赖增加，“特供”做法（Selective availability）——军方为限制全球外界使用 GPS 定位及报时功能而故意加大 GPS 误差的原始手段——所造成的不满不断加深，终致美国政府无法忍受而出面干涉。“特供”做法背后的概念涉及对精确定位和报时的利用，精确度成为区别军方用户和民间用户之间的分水岭。军方将信号精确度故意降低到 100 米误差，而获授权用户可通过解密钥匙来消除此误差。这种做法受到 GPS 民间用户的强烈反对，各种规避解码技术也随之应运而生。美国交通运输部甚至出资开发了 GPS 差分接收器系统，表明联邦政府中各部门之间的内斗内耗必须加以解决。

1983 年 9 月 1 日，韩国航空公司 007 航班客机在日本海上被前苏联军机击落，此事件凸显出全球民用导航系统的迫切需要。随

后美国出台了一系列政策行动，倡导民间和商业采用 GPS，其中包括 1996 年 3 月的一项“第六号总统决策行政命令”，至 2000 年 5 月以政府责成军方关闭“特供”功能而达到高潮。[8]“特供”做法的取消，使 GPS 的民间用户能接收到早先只有美国军方才享有的可靠精确信号，而且引发了测绘、农业和地球科学等领域大量开发高精度民间应用技术的爆炸式增长。2007 年 9 月 27 日，白宫宣布“特供”功能将不再列入未来 GPS 卫星的采购中。今天，提供给美国军队、民间用户或者对手的 GPS 服务，其信号精确度几乎没有差别。

美国空军还采取了更多措施，承诺民用性能将达到特定级别，并将此承诺用美国法律来加固。1993 年首次公布的 GPS“标准定位系统性能标准”(SPS PS)，以星座覆盖范围、信号精确性和 C/A 码用户的完整性为标准，建立了 GPS 服务的最低基准水平。这些 GPS 性能指标——对于生命安全应用特别重要——使得联邦航空管理局和国际民用航空组织能够为商业航空使用 GPS 系统进行认证。SPS PS 标准多年来数次更新，最近的一次是在 2008 年，并将继续调整，以适应新民用信号的部署。美国政府对民间用户全球定位系统标准的承诺，使得接收器制造商和其他商业开发者能投入资源，基于准确、可靠和全球可用 GPS 信号，开发产品和服务。随着欧洲“伽利略”系统和中国“北斗”系统等新的全球导航卫星系统加入运行，用户也将要求这些系统的服务商作出类似承诺，特别是在有关生命安全的应用方面。

GPS 系统已运行 30 多年，其间不断对卫星的运行控制段进行改善。运行控制段的一项职能是对卫星星座的健康和状况实施监控。该段生成有关 GPS 卫星轨道和每个 GPS 航天器上原子钟的数据，所有接收器用户都使用这些数据来计算自己的位置和定时。仅在过去十年，这些改善将太空信号用户距离误差降低了 50%。在 2013 年 4 月 21 日，GPS 系统记录到的用户距离误差仅为 51.4 厘米，创造了历史最低误差记录。[9] 和美国政府担保的最低误差标准 6 米相比，这一成就相当惊人。[10] 此外，从 2005 年开始，国家地理空间情报局增加了 10 个监控站，使 GPS 监控站的数量增至原来的三倍。这些新增的监控站提供更多的数据，从而改善了控制段对卫星轨道和原子钟时间补偿的估算，为用户提高了精确度。事实上，GPS 的时间刻度目前与华盛顿特区美国海军天文台保持的时间标准，相差不超过 5 纳秒。

这些改善措施确保 GPS 系统对美国太空优势的重要性将继续下去。再者，已经投入系统建设的大约 320 亿美元，以及可以预期的对系统的进一步完善，将让作战将士们放心使用和继续依赖 GPS 的可靠属性。然而，“特供”做法的废除，加上对全球民用 GPS 服务精确度的持续和显著的改进，也成倍加大了 GPS 系统的军民两用性所带来的挑战，为潜在对手提供了低成本的精确 PNT。

GPS 在导航战时代

1996 年，第六号总统决策行政命令 NSTC-6（NSTC 指国家科技委员会），即《美国全球定位系统政策》，指示国防部保护美军在干扰环境中使用 GPS，开发阻止对手使用的手段，并保证军事行动区域外民间用户不受影响。[11] 虽然这一通称“导航战”的政策行动中的许多组成元素早已存在，但是上述保护—阻止—保证三原则意味着：GPS 的使用增长已经超出了其早先的安全功能设计，因此需要另辟新途——找出不需采用“特供”功能的新方法。导航战的原则进一步经国会

指示纳入美国法典第十卷条文和白宫 2004 年对天基 PNT 的政策条文。鉴于 GPS 无处不在的性质，鉴于尖端及强大干扰威胁的不断弥散，美国军事领导人及美国政策对 GPS 的关切证明我们需要采纳新的战略选择。

美国战略司令部 2006 年编写的《定位、导航、报时联合能力文件》指出："其它任何能力都比不上 PNT 那样如此深入到联合行动的肌理之中"。[12] 虽然 GPS 不是美国军方唯一的 PNT 来源，但的确是大多数用户的首要来源。和位于其下的最佳替代技术相比，GPS 简单、廉价、可靠，而且高度精确。它不仅改变了美军的导航方式，而且改变了其作战方式。与其民用同行一样，美军陆、海、空及海军陆战队作战界早已视 GPS 普用性为理所当然，在他们的作战经历中，GPS 的作用几乎无时不在，无处不在。

GPS 虽然在大多数环境中能发挥显著作用，但也有局限性。其信号强度较弱，远低于 GPS 接收机的环境噪音水平，容易被建筑物和地形所屏蔽。此外，GPS 信号对水下、地下或密林没有穿透力，不如其他一些信号。再者，GPS 信号易受无线电频率有意或无意的干扰。GPS 用户获得的时间或位置的准确性与用户与可见卫星之间的几何关系直接相关，如果天空某部分被遮蔽，信号功能便受影响。为此，《联合能力文件》列出了使用 PNT 中的若干个主要问题，包括接收 PNT 环境中的"地理空间障碍"，如室内、水下和地下，以及自然峡谷和城市峡谷。

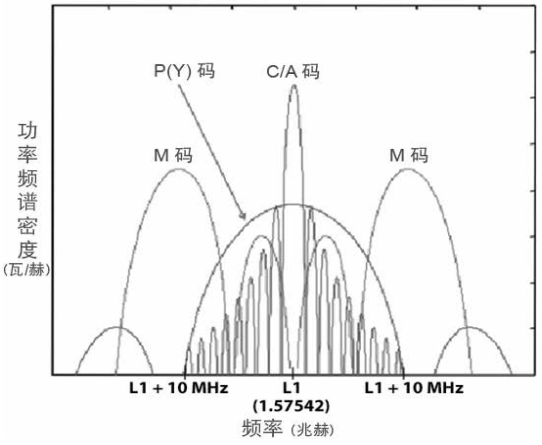
与使用惯性导航系统和本机时间源的个人不同，使用 GPS 的 PNT 用户必须依赖外部的无线电信号。和雷达及无线电通讯的情况一样，对手可以各种方式干扰这些信号——正是出于这种考虑，导致最初的 GPS 开发人员在设计中纳入了安全加密和抗干扰功能。安全军事信号，即 P(Y) 码，由美国军方、一些联邦机构和若干同盟国军队使用。此代码信号向军事用户提供安全保证功能，并比民用的 C/A 码信号更具抗扰能力。如今军方用户可以使用两个频率，而不是象民间用户那样只有单一频率可用。信号加密还造成了军方的特权，只有授权用户能使用特供的高精信号；但现在许多高精度商用接收机利用新技术来破解这种加密的障碍，从而充分利用军事信号的各种基本特征。这些技术的应用不断扩散，促使美国政府作出保持信号特征的承诺，直到下一代民用信号编码能够全面投用，并且能从 GPS 星座获得。

GPS 用户的抗干扰手段以若干形式存在，从飞机上自然机身掩蔽和地面用户的地形掩蔽，到诸如适应性天线阵列、窄带频率过滤器、与惯性传感器"紧密"一体化等多项技术创新。军用 GPS 接收器与商用接收器的一个不同之处是，前者设计成能在干扰环境中运作，一般来说更坚固耐用。并且，它们通常使用比现代化的商用 GPS 接收器更陈旧些的技术，主要原因是考虑到商用产品寿命周期更短，而军用电子设备有独特要求，并且军用接收器的采购过程不同一般。军用飞机、舰船和一些导弹等军品中使用的高端系统，通常纳入一体化导航系统而成为其一部分。很多时候，它们在最可能发生的威胁、即在基于地面的干扰范围之外运作。近年来，研发注意力主要集中于低端用户，尤其是军用手持 GPS 接收器，这种接收器也广泛地应用于车辆。对于这些用户而言，尺寸、重量和成本是关键的因素，而用于飞机的抗干扰技术对他们而言用处不大。为此，空军太空司令部把GPS现代化和军事信号保护视为优先要务。

GPS 的现代化

如何禁止敌人使用 GPS，同时将禁用的影响限制在局部地理区域内，唯一可行的方法是运用局部电子战。不幸的是，GPS 的民用和军用信号共用相同范围的频率。虽然军方最初时还使用另一个不受民用信号影响的频率，但是来自民用机构的压力迫使这个频率也变成了军民两用。空军努力搜寻一种易行的解决方案，希望军方对 GPS 的使用能承受民用 GPS 信号的“友好”干扰，并循此思路开发出一种新的军用信号，即军用代码（M 码）。这种代码同样使用当前的共用GPS频段，然而又与民用信号充分地区分开来，能在民用信号的友好干扰下，为军方用户提供安全的 GPS 信号。按照白宫和国会要求阻止对手使用 GPS 的指示，现代化接收器必须做到在友好干扰环境中坚固耐用。M 码信号与民用 GPS 信号的频谱分离（见右图），结合现代化信号处理，使作战人员能够安全地进行定位导航，同时积极地干扰敌方使用基于卫星的导航系统。如此，我们可以确保长远未来的太空优势。

第一颗 M 码 GPS 卫星于 2005 年发射，第 12 颗卫星在 2013 年发射。到 2017 年，现代化 M 码卫星将达到 24 颗，向美军和盟国用户提供全球覆盖能力。M 码的优势，除了“频谱分离”（即 M 码的频率分配不会直接与民用信号重叠）之外，还有其他几项。例如，这种设计以其固有特征提高了军事信号的精确度和抗干扰能力，而且还包括几种增强的安全功能。星载发射机的功率更强——抗干扰能力的关键属性之一——具备了超越友好接收器所必需的干扰功率，从而使得那些更高功率干扰器更容易被发现、定位和锁定。GPS III 卫星项目已有 8 颗现代化卫星获得批准，其所提供的 M 码信号功率要比 GPS II 卫



图：L1 频段范围的 GPS 频谱（主要 GPS 频率）

星提供的旧版军事信号强 8 倍。[13] 虽然这种额外的功率本身不能战胜已知的威胁，但功率更大就能对其它所有抗干扰技术构成补充。更多功率能为信号指示器增添更多“条码”，可使信号穿透遮盖的大树甚至建筑物；此外，它能克服野外经常出现的各种令人烦恼的干扰源。额外的功率将来自未来 GPS 卫星上先进的波束赋形天线，将进一步改善受阻和高干扰状态下的服务功能。

GPS 的成熟过程类似于雷达的发展。从第二次世界大战初期到今天，对技术的不懈追求已经使雷达性能臻至完善。从早期的连续波雷达发展到单脉冲雷达，随后是脉冲多普勒雷达和相控阵雷达，直到当今最先进的合成孔径雷达。此外，美国军方、民间和世界各地的用户依赖“敌友识别”雷达频率来区分友军与敌军。

同样，原始的 GPS 信号是在 1970 年代设计的，大约同一时期，史蒂夫·乔布斯和史蒂夫·沃兹尼亚克设计了第一代苹果计算机。M 码包含了现代信号的设计，含有复杂的信号处理技术，当这些技术与 GPS III 卫星中的更高信号功率相结合，就能减损敌军对

GPS 接收器的有效干扰范围。正如雷达自问世以来不断演变一样，GPS 抗干扰技术也在不断成熟，为美军和盟友提供独特的优势。

GPS 除了易受干扰之外,还易受“欺骗”。所谓欺骗是使用一种电子战欺骗技术，诱使 GPS 接收器锁定虚假信号，而不是 GPS 卫星的信号。德州大学的托德•汉弗莱斯教授(Todd Humphries）最近在国会作证说，他的研究生团队使用欺骗发射机控制了一架 GPS 制导的遥控飞行器，致使它向地面俯冲。[14]

国防部早已知晓此威胁，并采取了防范措施。反欺骗一直是军用 GPS 的一个特点，它使用加密信号作为第一道防线。此外，M 码加密远比早期的姊妹技术 P(Y) 码先进得多。M 码由 GPS 主管部门和国家安全局共同设计，能够与用以保护更关键数据的现代系统相媲美，而且它将在未来几十年中保护作战人员不受信号欺骗。其他措施还包括将智能算法纳入“GPS 军事用户设备项目”中，其接收器能够从卫星信号中剔出并拒绝虚假信号，从而给予用户高度的保障。

本世纪初，国防部开始使用“特供反扰骗模块”，此模块采纳了空中密钥更新、空中分配和应急复原技术，后者在 GPS 密钥可能被窃时重置 GPS 接收器，从而改善积极控制能力和韧弹生存性。GPS 现代化工程将此更推进一步。美国战略司令部将与国家安全局一道，共同利用其密钥管理架构，从而拥有更多的工具，确保只有授权用户可以接触 M 码，用户将不受欺骗，美国和盟国伙伴将方便地使用密钥，并且用户设备的安全费用将保持最低。

2013 年 5 月 15 日发射的第四颗 GPS IIF 卫星，再一次展现了空军太空司令部对履行使命的承诺。由于受当前地面控制段的限制，这颗最新卫星把共由 31 颗卫星组成的星座“最大外化”，它高踞于地球赤道 55 度角上空 11,047 海里高度上。为确保服务连续不断，设在加州洛杉矶空军基地太空和导弹系统中心的 GPS 项目局已经额外提供了五颗 GPS-IIF 卫星作为储备，这是过去十多年间前所未有的。如果发生一系列重大故障，一旦有作战需求时，这些卫星可按需发射，提供极大的灵活性。

GPS 项目局还对卫星星座和地面段的未来能力建设投入资金，以改善对 GPS 信号的指挥与控制。下一代 GPS IIF 和 III 卫星正处于组装、整合、测试和生产等不同阶段，努力将平均用户距离误差从 0.9 米——过去三年来建立和保持的水平——在 2016 年降低为均方根用户距离误差 0.5 米。显然，太空优势不仅取决于 PNT 精确度，而且也取决于我们能否在特定时间和地点、在不允许敌方实施过度干扰的情况下开展陆海空作战行动。为达此目的，计划 2015 年首次发射的 GPS III 卫星，将使用相当于 M 码八倍的功率，设计使用寿命达 15 年，将提供新的、国际兼容的民用信号（L1C），以及更高的精确度。为保持超越其它全球导航卫星系统的竞争优势并且降低成本，GPS 项目局还资助能够提供投资回报的技术。例如，锂离子电池大大减轻了卫星的重量，而且改善过的太阳能电池以更低的成本产生更多电能；同样，星体跟踪器和惯性测量整合一体装入航天器也对卫星的改进做出贡献。并且，数字波形生成技术（指通过软件命令而不是硬件升级［因而需要发射新的卫星］来更改太空中在轨卫星信号的能力）可能成为未来体系结构的一个必要的组成部分。

此外，“下一代操作控制系统”将用来指挥和控制我们现代化的二级民用信号 L2C

（1227.60 MHz）、生命安全信号 L5（1176.45 MHz），以及国际兼容 L1C（1575.42 千兆赫）信号。这些额外的民用信号包括，能够修正电离层效应的能力，以及取得军用接收器目前使用的精确度的改进效果。重要的是，下一代操作控制系统将不再局限于对仅仅 31 颗卫星的指挥或控制，因为此系统正被设计成可容纳多达 64 颗 GPS 卫星。其可扩展性和以服务为中心的体系结构，将给用户和运营商带来前所未有的安全、信息保障和灵活性。

GPS 的可负担性与创新

即使能实现所有这些改进，我们还必须考虑可负担性，需要通过各种创新向作战人员提供 GPS 服务。我们已经为全球范围的人员采购了超过 165,000 部精密轻质 GPS 接收器（PLGR），还购置了超过 478,000 部国防先进 GPS 接收器（DAGR）（PLGR 和 DAGR 是国防部最常见的军用接收器）。[15] DAGR 的问世是一个奇迹，PLGR 重 2.7 磅，DAGR 只有 1 磅重，而且还增加了双频 GPS 以及地图显示。PLGR 和 DAGR 已成为地面部队的标准 GPS 接收器。然而其大部分（60-70%）目前都用于车辆，常常是三个或更多 DAGR 安装在一台陆军车辆上，但是各自独立运作。DAGR 作为一种手持设备，其功能和用户界面已比不上士兵熟悉的、使用简易的商业轻质装置。如果国防部今天设计出其它同类装置，它将无法与商业技术所表现出的典型创新活力和生命周期保持同步。

陆军意识到这一挑战，在 2009 年制定了一项政策，要求采购嵌入式接收器，并启动了两款装置的研发，一款称为“HUB”，另一款称为“PUNK”。在许多情况下，这些新设备将使陆军能够以一张嵌入式地面卡取代坦克等战车中最多五个 DAGR。嵌入式装置还将取代手持 GPS 的概念；陆军将研发为步行战士使用的 GPS 嵌入式装置，以支持不断演进的人际界面。2012 年 3 月，陆军开始使用一种称为“Army Marketplace”的软件技术，已能将 12 种软件程序（其中大部分是培训课程和指导手册）推入各种 iOS 装置。陆军在其它研究活动中，已进一步开发和测试了用于作战支援——包括增强现实与导航——的应用程序。[16]

由于市场上已有智能手机和平板电脑等现成装置可用，国防部再投资开发用户界面陈旧的独立装置已经没有意义。GPS 项目局正与陆军阿伯丁试验场合作，准备采纳变化迅速的现成商业技术，再配置安全、增强和坚固耐用的 GPS 功能。我们整体策略中的一个关键基本要求是生产通用 GPS 模块。它应明确地设计成尺寸很小的套件，应能支持各种应用，能整合到范围宽广的、从智能手机到安全无线电接收机的各种装置中。该模块将与人机接口难以区分，能提供在电子战环境中工作的性能。此外，它将成为弹药项目的一个关键要素；弹药项目包括诸如小直径炸弹直接攻击弹药和迫击炮的精确制导套件。

在越来越强调可负担性的形势下，采购策略可以根据作战使命的需要酌情调整。在某些情况下，对该地区敌方干扰或欺骗具备态势感知就可能足够。例如，“步枪手电台”由步兵排成员携带，主要用于语音通信，但它包含成本低廉的 C/A 码芯片，能够向排长手中的显示器报告位置。如需做可负担的升级，可能是加装一个安全轻质特供 / 防扰骗模块，或者插入一个通用 GPS 模块使排长获得 M 码通信能力。而如果采用推入操作程序的做法，能达到为每个士兵提供 M 代码的抗干扰 / 反欺骗能力的相同效果，但成本将小得多。许多系统可能根本不需要 M 码。例如，

“T-6 得克萨斯人 II”、“T-38 禽爪”和“T1A 松鸦鹰”教练机，这些机型主要在美国境内大陆基地用于本科飞行员训练。在这种基本训练环境中，欺骗和干扰极不可能发生，因此无需装备这种通信码。

GPS 正演进得更先进更复杂，给民间和军方用户提供更多的能力，与此同时，航天器的成本，包括发射成本，也大幅提升。将一颗 GPS III 卫星送入轨道的必要开支，目前已接近 5 亿美元。此外，卫星组网数量原本以 24 + 3(后 3 颗卫星在轨备用)为设定标准，但受国家政策和全球期望驱动，现在将最低在轨卫星数增加到 30 颗。[17] 随着第二批次即 Block II 卫星逐渐老化并在今后十年达到寿限，用户对 GPS 系统的更高期望将加大对国防部的压力。为开发替代解决方案，空军太空司令部已发起了对体系结构的研究，以界定 GPS III 的强化战略，努力做到在满足性能预期的同时，减少总拥有成本。这一被称为“Navsat”（导航卫星）的战略，要求一次生产和发射两到三颗更简单、轻质和便宜的卫星。“Navsat”战略将确保空军坚守白宫提出的目标，这就是保持 GPS 为全世界卫星导航系统的首席地位。此外，以 8 到 12 颗较便宜卫星加强 GPS III 卫星系统的做法，有助于美国保持竞争力、巩固国防工业基础，并降低寿命周期总成本。

GPS 作为太空优势的基石作用

从许多方面看，当今卫星导航技术水平颇似汽车技术在 20 世纪 60 年代的水平。例如，当时雪佛兰 Chevy Vega 系列中几款车型采用了翘曲的铝合金发动机缸体，又如雪佛兰 1960 年推出的 Corvair 车型，曾被许多人称为是路上最危险的车。[18] 再如福特 1964 年前的“野马”车，当时只是将安全带作为一个选项推销，直到 1968 年安全带才成为强制性配置。

自 20 世纪 60 年代以来，汽车逐步注重系统安全和效率功能，这些功能没有改变汽车的基本性质，但可以说拯救了生命和降低了费用。根据国家公路和交通管理局估计，儿童座位、安全带和安全气囊在 2003 年到 2007 年期间拯救了超过 90,000 人的生命。[19] 助力转向、动力刹车和燃油喷射改善了汽车的控制和舒适程度。燃油废排标准的设立减少了大都市的空气污染，这一点很容易从上世纪 70 年代在洛杉矶摄制的电视节目中的浓厚雾霾就可以得到证实。汽车上加装的许多安全功能在问世之初，都非常昂贵和高端，安全立法受到消费者和立法者的强烈抵触。然而,汽车的演变改善了无数人的生活品质。

同样，GPS 必须发展，GPS 现代化对美国保持未来战场优势至关重要。GPS 是在上世纪 60 年代末到 70 年代初开始设想与规划的，80 年代开始部署，90 年代广泛采用。抗干扰和反欺骗功能如同安全带和安全气囊，改进了 GPS 提供精确 PNT 的可靠性和可用性，更好地服务于飞机、炸弹、船舶、车辆、通信系统和人员。增强的信号和密钥管理就像助力转向和动力刹车一样，提高了整个系统的效能和效益。正如美国国会规定汽车必须配备座位安全带一样，《美国法典》第十卷第 2281 节现在要求所有军用 GPS 接收器必须配备 M 码能力。和汽车发展过程一样，M 码能力接收器——从安全角度来看——将优于商用接收器，但就像安全带规定问世之初遇到抵触一样，将 M 码接收器纳入“未来年代防御计划”也遭遇阻力。

GPS 正面对竞争，强劲的对手们得到其国家的鼎力扶持。俄罗斯 GLONASS 全球导航

卫星系统项目在 1995 年下半年完成后曾无力为继，但现已雄风重振，自 2011 年 10 月以来就以其 24 颗卫星的完整星座覆盖全球。中国正在迅速组建“北斗”卫星网，虽然实际上需要依靠 GPS 星座才能全面运作。日本的准天顶卫星系统通过能在本国岛屿上空驻留更长时间的高倾角卫星，扩充和增强了其 GPS 能力。欧盟最近已决定购置由 30 颗卫星组成的全互补卫星系统。

GPS 目前是——并且在可预见未来继续是——世界上最优秀的全球卫星导航系统，美国有能力保持由 GPS 保驾的太空优势。美国，正如一支表现优异的运动赛车队一样，必须继续依靠其优秀的工程技术、创新管理，以及持续的卓越运营，才能保持 GPS 现有的领军地位。能让全世界保持免费享用这项关键的实用功能，美国和美国空军有理由为其历史和能力感到自豪。GPS 必将随着战争的演变而继续演变。“胜利只垂青于那些能预见战争性质变化者，而非坐等变化被动调整者。”[20] 意大利军事家杜黑的这句名言是本文最恰当的结语。♣

注释:

1. GPS 是天基定位、导航和报时系统，其卫星网由至少 24 颗（目前已超过 30 颗）卫星组成，在中高轨道上运行，通过广播无线电频率信号提供全球定位和报时，信号发射采用 L 波段的三个频率：L1（1575.42 MHz）、L2（1227.6 MHz）和 L5（1176.45 MHz）。用户 GPS 接收器获得位置和时间信息是通过跟踪四颗以上的卫星，并确定以光速传播的每个无线电信号的到达时间。有关 GPS 的更多说明，参看“The Global Positioning System”[全球定位系统], GPS.gov, 17 January 2013, http://www.gps.gov/systems/gps/.
2. Joint Publication 3-14, Space Operations [联合出版物 3-14：太空作战], 29 May 2013, GL-8, http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_14.pdf.
3. “Desert Storm: The First Space War”[沙漠风暴：第一场太空战争], 收录于 Gray Space and the Warfighter [灰色太空与战士], 17 June 1997, http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/grayspc/dstorm/dstorm.htm.
4. 同上。
5. GPS 对当今几乎所有智能手机都不可或缺。科技资讯网络 CNET 这样介绍:“Strategy Analytics 战略研究公司今天宣布，在第三季度 [2012 年]，全球智能手机总装机数目从第二季度的 9.59 亿部跃升到 10.4 亿部。”参看 Don Reisinger, “Worldwide Smartphone User Base Hits 1 Billion”[全球智能手机用户总量达到 10 亿], CNET, 17 October 2012, http://news.cnet.com/8301-1035_3-57534132-94/worldwide-smartphone-user-base-hits-1-billion/.
6. Nam D. Pham, PhD, The Economic Benefits of Commercial GPS Use in the U.S. and the Costs of Potential Disruption [美国商用 GPS 的经济利益与潜在中断服务的代价], (Washington, DC: NDP Consulting Group, June 2011), 1, http://www.saveourgps.org/pdf/GPS-Report-June-22-2011.pdf.
7. Kristin F. Lynch 等人认为:“由于 GPS 如此准确（虽然准确性逊于激光制导炸弹），并且能够在各种天气环境中使用，联合制导攻击武器（JDAM）是其中最受欢迎的兵器。虽然设计用于打击高价值固定目标，JDAM 现在也被大量用于打击价值较低的目标，以及在较高飞行高度由轰炸机执行的近空支援任务。精确制导武器的广泛使用极大提高了空军在任何天气环境中命中目标的能力。参看 Kristin F. Lynch et al., Lessons from Operation Iraqi Freedom [“伊拉克自由”行动的经验教训], (Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2005), 95, http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2005/RAND_MG193.pdf.
8. Selective Availability (SA) 表示有选择地提供，即特供，是美国国防部采用的一种故意降低 GPS 系统高精确度的保护技术。克林顿政府在 2000 年 5 月 1 日发出终止 SA 功能的命令，于当日午夜开始生效，SA 功能的影响在 2000 年 5 月 2 日 0400 UTC 时间降为零。参看 Department of Defense, Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard [GPS 标准定位服务效能标准], 4th ed. (Washington, DC: Department of Defense, September 2008), C-4, http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf.
9. 瞬时 URE（用户距离误差）表示两个伪距之间的差异：一是在特定位置假定接收器时钟与 GPS 时间完美校准情况下测定的伪距；另一个是 NAV [导航] 为该特定位置和假定接收器时钟衍生的消息数据所预期的伪距。瞬时 SIS URE（太空信号用户距离误差）只包括分配到 GPS 太空与控制段的那些伪距数据固定误差的预算部分（即不包括分配给 GPS 用户段的误差预算部分，诸如对流层延迟补偿误差、多路径和接收器噪声等）。”同上，第 C-2 页。

10. 同上，第 22 页。

11. Presidential Decision Directive NSTC-6, US Global Positioning System Policy [总统决策行政命令 NSTC-6：美国全球定位系统政策], 28 March 1996, http://www.fas.org/spp/military/docops/national/gps.htm.

12. United States Strategic Command, Joint Capabilities Document for Position, Navigation, and Timing [定位、导航和报时联合能力文件], (Offutt AFB, NE: United States Strategic Command, 28 September 2006), 4. FOUO. 本文引自非机密部分。

13. GPS II 指第二代 GPS 卫星，不过第二批次实际上属于已投运 GPS 卫星的第一个系列。GPS II 卫星带有各种后缀标记，其中 IIA = 高级；IIR = 补充；IIF = 后续，以区别不同版本。到目前为止，12 颗 GPS IIF 卫星中已经发射四颗。

14. House, Professor Tom Humphreys, Statement on the Vulnerability of Civil Unmanned Aerial Vehicles and Other Systems to GPS Spoofing, Submitted to the Subcommittee on Oversight, Investigations, and Management of the House Committee on Homeland Security, [汉弗莱斯教授提交国会众议院国土安全委员会监督、调查和管理小组委员会的证词：扰乱 GPS 的欺骗信号对民用无人驾驶飞行器和其它系统的影响], 112th Cong., 2nd sess., 19 July 2012, http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CHRG-112hhrg80848/html/CHRG-112hhrg80848.htm.

15. 此数据从 GPS 用户设备部合同获得。

16. 另一个应用程序，叫做“士兵眼睛”（SoldierEyes），能把智能手机变成一种战场导航仪。除了显示数字地图以外，它拥有一个“增强现实”模式，使用户能够翻转相机并且扫描天边。数字标记显示在屏幕上，展示战场上物体的方向和距离。参看 Nathan Hodge,“Killer App: Army Tests Smartphones for Combat”, [杀手应用程序：陆军测试作战用智能手机], Wall Street Journal, 3 June 2011, http://online.wsj.com/article/SB10001424052702304563104576361480888426472.html.

17. 按照空军部长 Sheila E. Widnall 博士的说法，空军认识到了 GPS 巨大的民用和军用功能，而且非常有意在项目期间维持 24 颗卫星的星座。参看“President Opens Door to Commercial GPS Markets: Move Could Add 100,000 New Jobs to Economy by Year 2000”[总统打开商用 GPS 市场大门：到 2000 年此举可能增加 10 万个新职位], press release (Washington, DC: White House, Office of the Press Secretary, 29 March 1996), http://clinton3.nara.gov/WH/EOP/OSTP/html/gps-pressrel.html.

18. “The Most Dangerous Cars of All Time”[史无前例最危险的汽车], CarsDirect.com, 24 February 2012, http://www.carsdirect.com/automotive-news/the-most-dangerous-cars-of-all-time.

19. National Highway Traffic Safety Administration, Lives Saved FAQs [拯救生命常见问答], (Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, December 2009), 4, http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811105.PDF.

20. Giulio Douhet, The Command of the Air, [制空权], trans. Dino Ferrari (1942; new imprint, Washington, DC: Office of the Air Force History, 1983), 30.

伯纳德·格鲁博，美国空军上校（Col Bernard J. Gruber, USAF）北达科他州立大学机械工程理学士，中密歇根大学工商管理理科硕士，现任 GPS 项目局主管，负责一个从事 GPS 太空段的全部研发、采购、部署与维护、卫星指挥与控制（地面）及军事用户设备、囊括若干跨军种和跨国系统的部门。GPS 项目耗资 320 亿美元、年预算 10 亿美元，维持着国防部最大的卫星星座和最大的航空航天电子整合与设施计划。格鲁博上校于 1986 年获授军官衔，是空军中队指挥官学院、空军指挥参谋学院、空军战争学院、国防系统管理学院、及联合部队参谋学院的毕业生，担任过中队、大队、联队层级的指挥职位。在采购兵团服役时，曾担任认证联合专业官及国防研究员。格鲁博上校在一系列作战、情报、发射、工程及采购部门领导岗位表现出色。他曾在一级司令部、空军参谋部、联合参谋部及国防部机构担任关键职务。担任现职以前，他是空军参谋部使命小组委员会四名主任之一，负责全空军太空与情监侦计划的未来预算。

乔恩·安德森，美国空军退役上校（Col Jon M. Anderson, USAF, Retired），堪萨斯大学电机工程理学士，南达科他州立大学电机工程理科硕士，空军理工学院博士，前 GPS 项目局用户设备部主任，负责领导近 300 名现役、文职及合同人员执行价值超过 20 亿美元的多项研发与生产合同，向国防部和盟国用户交付确保安全的 GPS 能力。安德森上校于 1988 年年获授军官衔，是空军中队指挥官学院、空军指挥参谋学院和海军战争学院的毕业生，担任过中队、大队层级的指挥职位，具有广泛的空军服务经验，涵盖导弹作战、技术情报分析、系统工程、作战测试支持、国家与国际太空政策，以及项目管理等领域。安德森上校最近由于对军用 GPS 现代化的持续贡献及引领美国与盟国导航战环境下的军事行动能力强化而被导航学会评选为 2012 年度 P. V. H. Weems 上尉奖得主。