

量子定位系统技术发展及其对导弹武器发展的影响

葛悦涛, 蒋 琪, 文苏丽, 朱爱平
(北京海鹰科技情报研究所, 北京 100074)

摘要: 针对现有导航技术的不足, 特别是天基卫星导航技术(如 GPS)易受到干扰和破坏, 美英两国相继进行了量子定位系统技术的研究。分析了量子定位系统产生的背景, 阐述了量子定位系统的概念, 对量子定位系统进行了分类, 分析了其特点, 重点梳理了量子定位系统的发展轨迹, 继而分析了量子定位系统对导弹武器发展的影响, 最后给出总结。

关键词: 量子定位系统; 全球定位系统; 导弹; 导航

中图分类号: P228.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-8110(2014)02-0007-04

Study on Development of QPS and Its Influence on Missile

GE Yue-tao, JIANG Qi, WEN Su-li, ZHU Ai-ping
(Beijing HIWING Scientific and Technological Information Institute, Beijing 100074, China)

Abstract: There are some shortcomings with now available navigation technologies; especially space-based satellite navigation technology (such as GPS) is susceptible to interference and destruction, so that US and UK have made studies on Quantum Positioning System (QPS) to replace GPS. The concept of QPS is stated, and the QPS is classified according to work mode, and then Backgrounds and characteristics are analyzed. The development process of QPS is presented, which including US MIT pulse QPS, US ARL interferometric QPS, US DARPA Micro-PNT project and UK ultra-cold atom QPS. Then the influences of QPS on missile are analyzed. At last, conclusion is made.

Key words: Quantum Positioning System (QPS); Global Positioning System (GPS); Missile; Navigation

0 引言

英国《金融时报》2014年5月14日报道, 英国国防部正投资数百万英镑于一种新型的导航技术研发, 以求制造出一种不会受到数据篡改和信号干扰影响的量子定位系统 QPS (Quantum Positioning System) 设备。英国国防科学与技术实验室 (Defence Science and Technology Laboratory, DSTL) 和英国物理实验室 (National Physical Laboratory, NPL) 的科学家相信, 预计 3~5 年就能开发出一种“量子罗盘” (Quantum Compass), 它能够利用地磁场的亚原子效应进行定位^[1]。

QPS 通过把一些原子(离子)囚禁在过冷状态, 并减少外部电磁波造成的影响, 使被囚禁原子(离子)仅仅对地球产生的电磁扰动敏感。通过测量地球产生的电磁扰动对这些原子(离子)的影响, 能以极高精度跟踪含有被俘原子(离子)

芯片的运动状况, 从而实现定位。

有别于目前广泛使用的天基卫星导航系统(如 GPS)存在种种限制, 量子定位系统技术可不再使用电磁波, 可不再需要 GPS 的帮助, 所以世界各国军方均对这种新技术十分感兴趣。

本文将简要分析量子定位系统的特点, 梳理国外量子定位系统的发展情况, 并简要分析量子定位技术的应用, 对导弹武器系统的影响。

1 量子定位系统概述

1.1 量子定位系统产生背景

1997年, 美军正式提出“导航战”的概念^[2], 在战场环境下, 用电子干扰的方法对敌方导航系统进行干扰或攻击, 使其不能正常导航或降低导航精度, 并对敌方对己方导航系统所实施的干扰进行抗干扰, 保证己方仍能高精度的工作。

收稿日期: 2014-05-30; 修订日期: 2014-06-30。

作者简介: 葛悦涛(1982-), 男, 博士, 工程师, 主要从事智能通信、导航与微纳系统方面的研究。E-mail: geyuetao@gmail.com

现有的导航定位存在多种方案,如INS+地形匹配,INS+星光匹配,INS+景象匹配等,但对于探测不到星光或地形和景象不明显的区域,则相关导航定位方案将无法使用。导航定位方案中使用最广泛的是INS+GPS,但如果GPS星被攻破,或者预定目标配备了高功率干扰器,则GPS可能会失灵。2014年2月,美国GPS的创始人警告说:“GPS目前不堪重负,极易受到故意破坏或攻击。”

传统导航系统在导航定位精度和安全性上都存在不可逾越的上限。因为无线电发射信号的功率越大、带宽越宽,所能达到的定时测量精度也就越高,但一味地增大信号的发射功率和发射带宽无疑会对当前运行的其它无线电系统构成干扰和影响。

针对以上,美国麻省理工学院(MIT)于2001年提出了量子定位系统(Quantum Positioning System, QPS)的概念。

1.2 量子定位系统概念

量子定位系统是基于量子力学基本理论,利用量子纠缠(Quantum Entanglement)、量子压缩(Quantum Squeezing)等特性,通过量子信号的形式,来实现高精度定位要求的一种新型定位系统。

1.3 量子定位系统的分类及特点

QPS可分为有源导航定位和无源导航定位两大类。有源导航定位采用收发量子信号的方式定位;无源导航采用量子传感器装置定位,不向外界发送信号。量子定位系统由于采用了量子力学的量子纠缠与量子压缩原理,可以获得比经典无线电定位系统高很多的定位精度。具有不需要GPS的辅助,不依靠星光、地形、景象等外界特征,抗干扰能力强的特点。

采用有源定位的QPS具有很高的安全性,可进行保密定位。即使敌方能够截获由定位点发射的,处于纠缠状态的部分光子,根据纠缠原理,敌方也将无法根据这些光子,来获取定位点的位置坐标。同时,QPS技术还提供了一个检测敌方窃听的可能。因为在待定点以及参考点之间的量子传输通道一旦出现了窃听,系统会因为窃听的存在而出现明显的干扰,同时对类似于噪声的干扰特性进行分析,可使窃听的存在能以尖峰谱的形

式展现出来。此时,系统可以通过更换通信频率或通道而继续正常工作。

采用无源定位的QPS可根据量子传感器所接收到或测量到的信号进行自主导航定位。因不向外界发送信号,所以较有源定位更具安全性,同时由于采用了量子技术,QPS定位精度高于其他同等的电子、机械定位技术。可应对现代战场复杂的网电环境。

2 量子定位系统的发展

量子定位技术在理论上可以抗干扰,并不受外界条件的限制,以下梳理出量子定位系统技术发展的轨迹。其中前两种属于有源定位系统,后两种属于无源定位系统。

2.1 美国MIT提出量子定位系统概念

量子定位系统是2001年美国麻省理工学院(MIT)的电子学研究实验室(RLE)从事博士后研究的Vittorio Giovannetti博士、Lorenzo Maccone博士以及Seth Lloyd教授三位学者首先提出的,并在《Nature》杂志上合作发表了文章^[3],创造性地提出了传统定位系统的量子实现方案,称作量子定位系统(QPS)。

图1为MIT提出的QPS结构示意图,其基本思想是基于脉冲测距的原理。这种结构仅考虑了一维情形,三维情形可通过简单的扩展得到。Bobs为已知的参考点,Alice为待定位点,Alice通过发送M组脉冲给不同位置的,各参考点Bobs,通过处理获取到的平均到达时间来获得自身的具体位置。M组脉冲具有频率纠缠特性,相关性极强,可以成束达到各参考点,每组脉冲中各自包含N个处于压缩态的光子。具有纠缠特性的M组脉冲可比相同带宽条件下的非频率纠缠情况获得一个精度提升因子,单个脉冲含有N个压缩态的量子,可获得一个精度提升因子。

2.2 美国ARL干涉式量子定位系统

美国陆军研究实验室(ARL)的Thomas B. Bahder博士^[4]于2004年提出了基于基线量子干涉式的QPS。该QPS可以选择不同的构建方案,其中的一种方案如图2所示。由六颗卫星两两构成三条基线对,这三条基线的空间位置坐标是已知的,定位原理同样是基于到达时间差(TDOA)原理,

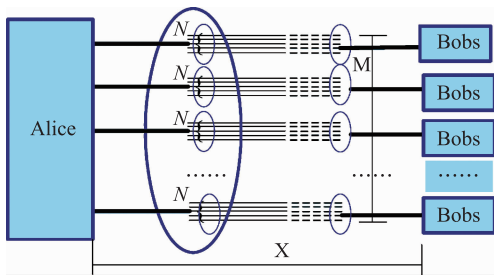


图 1 脉冲式量子定位系统（一维）理想化实验结构示意图

Fig. 1 Idealized experimental diagram of QPS (1 dimension)

带有频率纠缠特性的双光子位于基线的某一位置，分别向基线的两个参考卫星发射双光子，测量出两个参考点的 TDOA，由三个 TDOA 可以算出用户的三维位置坐标，若再加上两个卫星构成的基线对，则可确定用户的空时坐标，但用户必须具有三面角反射器、稳定的时钟，以及与参考位置进行双向通信的经典信道。用户还需四个干涉仪来接收来自四对带有纠缠特性的光子对。其中三个用于确定用户的空间位置，附加的干涉仪用于用户的时钟与参考位置时钟之间的同步。

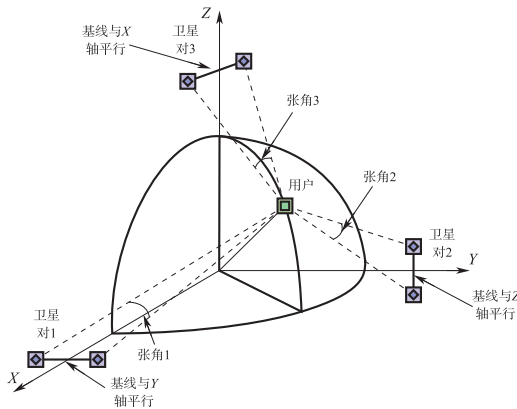


图 2 干涉式量子定位系统的基线布置图
Fig. 2 Baseline distribution of the interferometric QPS

2.3 美国 Micro - PNT 项目

2010 年 1 月，DARPA 启动了名为“定位、导航与授时微技术”的小型化高精度时钟与惯性导航技术研究项目，即 Micro - PNT 计划^[5]。

Micro - PNT 计划旨在为从单兵到各种作战平台——导弹、精确制导弹药、无人飞行器、无人潜水器，提供 GPS 服务受限条件下的精确定位导

航服务，特别是高动态条件下的短时精确定位和导航服务。

传感设备采用量子陀螺仪、量子加速度计等量子传感器。所有必要设备纳入一个小型、低功耗的授时惯性测量装置中。系统校准将不断进行内部纠错，以减少漂移，从而能够使设备更准确。

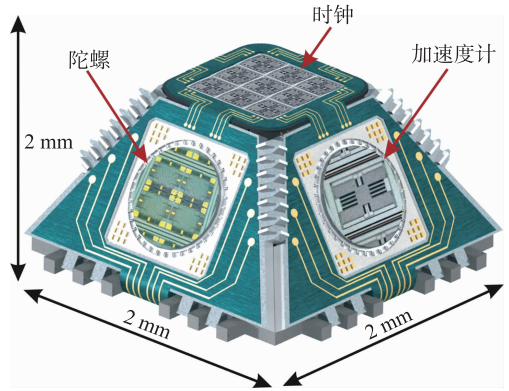


图 3 Micro - PNT 装置概念图
Fig. 3 The concept scheme of Micro - PNT equipment

DARPA 的 Micro - PNT 项目经理安德烈史可描述了这种方法的最新进展：“微型核磁共振陀螺仪使用核粒子在磁场中的旋转以确定方向。这种陀螺仪没有任何运动部件，不会受制于加速度和振动。其他如硅基 MEMS 陀螺仪更容易受到振动影响，不能达到预期效果。”

DARPA 于 2011 年 7 月报道^[6]，Micro - PNT 项目开发出一种微型核磁共振陀螺仪，使用原子核自旋以测量旋转。它具备导航能力，比目前惯性测量装置中最先进的导航级陀螺仪降低 2 个数量级的尺寸、重量和功耗。这将使微型核磁共振陀螺仪可用于个人导航、非 GPS 区域导航和微型无人机系统。

2.4 英国超冷原子（离子）量子定位系统

英国新科学家网站 2014 年 5 月 14 日报道^[7]，DSTL 希望将 QPS 应用于潜艇。潜艇航行时会受到海水作用而摇晃，导致略微偏向^[8]。激光能捕获真空容器中的原子（离子）云，并使其冷却到绝对零度和 1K 温度之间，超低温下原子（离子）会变成一种量子态，这种量子态很容易受外力干扰而破坏，用另一束激光来跟踪检测干扰造成的变化，可测出外力大小。

英国海军 2016 年将用这种 QPS 把系泊舰和航行舰分开,记录舰船位置,精确度将比以往提高 1000 倍。如果 QPS 海上测试成功,将进一步缩小体积,用在其他设备上。

3 量子定位系统对导弹武器发展的影响

英国 DSTL 的波伊斯认为,“QPS 技术可能产生的最大影响是微型化后可用在未来武器上。虽然潜艇的位置不需要精确到几米或几厘米,但导弹、炮弹需要。”

现代化战争和民用需求,推动导航定位技术成为当代重要技术之一。高度网络化的赛博空间中,应对复杂的网电环境,导航技术将不断完善其智能性和鲁棒性。

GPS 定位的缺点日渐暴露明显,且在战时容易遭到破坏。QPS 可不使用 GPS 进行定位,具有理论上绝对的安全性,敌方窃听者理论上无法获取定位点的位置坐标,并且 QPS 的定位精度明显高于 GPS。导弹武器利用 QPS 进行导航,可大幅度提高导航制导精度,尤其是远程/超远程制导精度;并可克服复杂网电战场环境的影响,属于典型的“发射后不管”的制导方法;还可大幅度增加精确制导武器在作战中的使用安全度,降低武器本身的费用。

4 结论

美国最先研制出了 GPS,已投入使用几十年,

并不断完善。GPS 的实时动态差分法 (RTK) 技术可以获得亚米级的定位,但一旦遭到攻击将影响导航定位。QPS 的定位优势明显优于 GPS,且抗干扰能力强,不受外界条件的干扰。美英的 QPS 研究进展,必将引起世界各国的高度重视,其优势将无疑会引发一场导航定位与授时领域的技术革命。可以期待,未来几年将会是 QPS 技术发展的高潮。

参考文献

- [1] MoD's 'quantum compass' offers potential to replace GPS. [www. FT. com](http://www.ft.com). 2014. 05. 14.
- [2] 李文革,黄晓利,谢世富. 导航战在信息化战争中的作用 [J]. 信息与电子工程. 2004, 2 (2): 153 - 156.
- [3] V. Giovannetti, S. Lloyd, and L. Maccone. Quantum enhanced positioning and clock synchronization [J]. *Nature*, 2001, 412: 417 - 419.
- [4] Thomas B. Bahder. Quantum Positioning System [C], 36th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Meeting, NAVAL OBSERVATORY WASHINGTON DC, Washington, 2005: 423 - 427.
- [5] Andrei M. Shkel. Micro - Technology for Positioning Navigation and Timing. DARPA/MTO.
- [6] DARPA researchers find breakthroughs size, weight and power and power reduction Micro - PNT program. DARPA. 2011. 7. 26.
- [7] Paul Marks Quantum positioning system steps in when GPS fails. [www. newscientist. com](http://www.newscientist.com). 2014. 05. 14.
- [8] 英国研制量子导航定位系统 QPS, 精确度比 GPS 更高, 可在水下使用且偏差不超过 1 米. 科技日报. 2014. 05. 19.