

全球导航卫星系统体系化发展趋势探讨

曹冲

(中国卫星导航定位协会咨询中心, 北京 100105)

摘要: 本文对全球导航卫星系统 (GNSS) 发展的最新动向和演变的重大趋势, 进行了全方位多层次的研究。GNSS 的系统之系统和天地一体化系统集成, 导航系统与通信系统的互补化组合渗透, 多系统室内外应用与服务的体系化融合构建, 均已成为大家关注的焦点。许多事实表明, GNSS 已经进入发展的重大转折期。确切地说, GNSS 概念业已从全球导航卫星系统转变为全球导航卫星服务, 进而步入时空智能服务发展新时期, 实际上是从技术系统向产业服务体系的转变, 应该在其本身进一步完善和总体创新的同时, 需要脱胎换骨的转变, 进入一个泛在服务导航系统与产业发展的新兴领域, 关键是要构建全新的体系, 这就是新时空服务体系, 本文对此进行了简要的阐述和探讨。

关键词: GNSS; 环境段; 室内定位; 室内外无缝导航; 泛在导航; 协同定位; 全源感知; 普适传输; 智能服务; 新时空服务体系
中图分类号: P228 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-4999(2013)01-0072-06

1 全球导航卫星系统 (GNSS) 的现状和重大发展动向

1.1 2020 年四大全球系统的格局基本形成

(1) GNSS

GNSS 是个综合性概念。泛指全球所有的卫星导航系统, 包括全球导航卫星系统、区域系统和广域增强系统 (或者称为星基增强系统, SBAS)。

(2) 全球系统

在 2020 年前全世界已经投入运营和正在建设又有望建成的全球系统共有 4 个, 它们是: 美国的 GPS 系统、俄罗斯的 GLONASS 系统中国的北斗 (BeiDuo) 系统以及欧洲的 Galileo 系统, 现在已经正式投入全球运营服务的全球系统有 GPS 和 GLONASS, 中国的北斗系统业已投入区域运营服

务, Galileo 则是在建设过程中。预计中国的北斗系统和欧洲的 Galileo 系统将在 2020 年投入全球运营服务。

(3) 增强系统

目前, 所有建设全球系统的国家, 都在同时建设它们的星基增强系统, 其中有美国的 WAAS (广域增强系统)、俄罗斯的 SDCM (差分修正监测系统)、欧洲的 EGNOS (欧洲伽利略导航重叠系统)、中国已经包含在北斗区域服务系统内的星基增强系统以及日本的 MSAS (多功能卫星增强系统) 与印度的 GAGAN (GPS 加上静地卫星增强导航)。

(4) 区域系统

现在正在建设的区域系统有两个: 日本的 QZSS (准天顶卫星系统) 和印度的 IRNSS (印度无线电导航系统)。

表 1 目前 GNSS 四大系统在轨工作的卫星数量与型号

星座名称	在轨工作卫星数量	轨道类型 (计划或额定卫星数量)	卫星型号
GPS	30	MEO (额定 24 颗)	9BlockIIA
			12BlockIIR
			7BlockIIR-M 2BlockIIF
GLONASS	24	MEO (额定 24 颗)	24GLONASS-M
Beidou	14	5GEO, 5IGSO, 4MEO	14Beidou-2
Galileo	4	MEO (额定 30 颗)	4Galileo-IOV

收稿日期: 2012-12-06

作者简介: 曹冲 (1940), 上海崇明县人, 原中国电波传播研究所研究员级高工, 现任中国卫星导航定位协会咨询中心主任, 《全球定位系统》杂志编委会主任委员, 《导航天地》专刊主编。

1.2 若干热点问题与最新动向

(1) GPS 和 GLONASS 的现代化进程

这两个首先投入完全服务的系统，均很早进入其现代化里程。其目的是不断提高系统性能，重点是精度、可用性、可靠性的提升，以及卫星长寿命能力。在提高空间段性能的同时，也在逐步提高运控段和用户段的水平和能力。GPSIII 和 GLONASS-K 系统技术是现阶段的终极目标。值得指出的是，4 大全球系统在 2020 年前预计都将投入 100 多亿美元的巨款，推进和完善系统能力建设。

(2) 两个“出乎意料之外”

一是“GPS 应用只受到人们想象力的限制”，其应用之广泛深入，令 GPS 系统的策划设计者都感到出乎意料之外，卫星导航能够一体化提供全球全天候高精度时间和空间位置基础信息，成为至今为止众多航天技术中唯一能达到大众化服务和产业化发展的高科技；二是卫星导航系统的脆弱性如此惊人的明显，一个可乐罐头大小、发射功率不足 1W 的 GPS 干扰仪，可以让方圆 10 几平方千米区域的民用接收机无法正常工作。所以，美国联邦通信委员会不得不在 2010 年立法，规定凡是研发、制造、销售、使用 GPS 干扰仪者，均属于违法行为。

(3) 两次“劫机事件”

2011 年 12 月伊朗宣布成功劫持美国军用无人机，2012 年 6 月德州一所大学接受国土安全部的任务，利用价值不足 1 000 美元的设备，实现了对于民用无人机的成功劫持，从而引起了相关部门和社会各个层面的广泛关注。

(4) 两桩“公案”

2011 年关于光平方 (LightSquared) 公司部署地面宽带网络，引发的信号干扰，与 GPS 业界进行了一场旷日持久的“官司”，开展大量的测试活动，形成了一系列报告，最终光平方公司落败，至今注意事件似乎尚未真正的尘埃落地。2012 年英国军方提出卫星信号多用博克码 (MBOC) 的专利，相当于把所有民用信号使用者均被纳入其收费范围，引起了轩然大波，至今此项公案还前途未卜。

(5) 两大“行动”

美国军方采取的两个行动令人关注，一是有关部门进行低价位的全源 (all source, 所有信号源) 接收机解决方案招标，二是美国空军对于 Lo-

cata (地面定位系统) 进行数千平方千米大范围测试验证，业已证明其有效性，并且决定将其称为“黄金标准”，作为超高精度参考系统，在白沙岛试验场落户。

(6) 增强、后备、替代方案和室内定位技术系统蓬勃兴起

近些年来，对于在难以接收卫星信号的环境下，实现有效定位的增强、后备、替代方案的探讨，非常广泛，其中的重点是解决室内定位技术和室内外无缝融合定位技术，尤其是实现导航与通信技术的组合融合，以及无线电定位与其它 (光、声、电、机) 定位技术的组合融合，而 GNSS、WiFi 与 MEMS 组合融合被大家重点关注。

1.3 4 大发展趋势不可逆转，其大众化产业化特点日益明晰

全球导航卫星系统及其产业，当前和今后 10 年~20 年间将经历前所未有的 4 大转变：从单一的 GPS 时代转变为真正实质性的多星座并存兼容的 GNSS 新时代，开创卫星导航体系全球化和增强多模化的新阶段；从以卫星导航为应用主体转变为定位、导航、授时与移动通信和因特网等信息载体融合的新时期，开创信息融合化和产业一体化，以及应用智能化的新阶段；从经销应用产品为主逐步转变为运营服务为主的新局面，开创应用大众化和服务产业化，以及信息服务智能化的现代服务业新阶段；从室外导航转变为室内外无缝导航的新时空体系的新纪元，开创卫星导航为基石的多手段融合、天地一体化、服务智能化的泛在普适应用服务新阶段。4 大发展趋势的直接结果是使应用领域扩大，应用规模跃升，大众化市场和产业化服务迅速形成，从根本上改变人们的生活方式和社会生态，影响极其广泛深远。

今后的数年内，卫星导航能够提供时间和空间位置信息的基础功能将进一步发扬光大，成为所有车辆、飞机、舰船、卫星的标准配置，成为移动电话和便携式设备的标准配置，成为所有智能电子信息终端的标准配置，并集社交网络、本地搜索、云计算和移动应用于一体，造就无所不在的位置服务大产业，能够把物联网、移动互联网、数字地球和智慧城市等一系列重大题材串联在一起，成为集大成的新一代信息技术和智能信息产业的核心要素与共用基础，成为“大数据、

智能化、无线革命”新时代的核心要素与共用基础。其应用服务将深入国民经济每个领域，深入社会生活每个角落，深入千家万户和亿万人群，从而改变人们的生产、生活和生态方式，促进信息产业现代化的革命性转折。

1.4 GNSS 发展过程中几个有深远影响的经验启迪

美国 GPS 系统及其产业发展是成功的典范，经验是全方位。美国 GPS 十多年来成功运营经验至少有 4 个方面可资借鉴。

(1) 高瞻远瞩的战略规划

美国在 1995 年 GPS 投入完全运营的翌年，就开始 GPS 现代化计划和 GPSIII 计划，这些工作将延续到 2020 年后。同时，在 2006 年开始有策划 GPS 的长期演变计划，即以 2025 年后的发展为目标《国家 PNT 体系架构研究》的 20 年规划。

(2) 稳定透明的系统政策

美国 GPS 坚持稳定透明的军民两用政策，而且二十多年如一日的不断完善改进。其导航战政策，将开放和保护阐述的泾渭分明，免收直接用户费，向全世界所有厂商开发接口控制文件 (ICD) 和民用信号结构，公开发布多种标准文件，承诺 GNSS 的兼容互操作，鼓励市场竞争，保护无线电导航频谱，推进全世界民用、商用、科学应用和服务产业的发展。作为 GPS 现代化的第一步，从 2000 年 5 月 1 日开始终止人为恶化定位精度的可用性选择 (SA) 的功能举措，民用定位精度得到显著提高。为了进一步消除人们的疑虑，于 2010 年又公开宣布在 GPSIII 卫星上取消 SA 功能模块。

(3) 不断改进的管理体制

在 GPS 建设和运营过程中，系统的管理体制机制根据实际需要不断地进行改进，是 GPS 一大成功经验。在建设之初，为了解决军兵种之间的系统主管之争，专门成立了“GPS 计划联合办公室”，确保了系统建设的顺利进行。在 GPS 投入正式运营阶段，国防部和运输部之间的军民用主管之争，闹的不可开交，于是在 1996 年成立了部际协调执行委员会，由军民两个部门的副部级长官当委员会的共同主席，保证了系统运营服务的正常开展。随着 GPS 应用的日益广泛深入和国际合作的不断扩展，2004 年专门成立国家天基 PNT 执行委员会，进一步明确了各个部门和机构的权利与义务，并且将 GPS 明确为国家系统，该委员会

直接归白宫管理，从而进一步理顺了部门间的关系，利于协调一致的开展工作。

(4) 持续推进的技术进步

三十多年来，GPS 三大组成部分（空间段、运控段、用户段）的技术进步，均取得了令世人瞩目的成绩，确保系统能够长期持续稳定的运营服务。以空间段为例，GPS 卫星的 Block I 应该说是一组试验卫星，真正投入工作的星座是由 Block II 构成的，其间已经经历 Block IIA、IIR、IIR-M、IIF 四种型号改进，下面登场的将是 GPSIIIA 和 GPSIIIB 系列，许多功能都有重大改进和提高，仅以卫星的设计寿命而言，从最早的 7 年，已经提升到现在的 15 年。以运控段而言，也在不断的改进，目前其软件版本已经是第 5 版，并且在推进新一代运营控制系统 (OCX)。空间信号的用户测距精度目前达到 0.9m，远比标准规定的 6m 高得多。空间段和运控段的技术进步主要依靠国家的力量，而用户段的技术进步主要依靠民间和企业的资源与力量。用户段的技术进步是显而易见的，仅以导航接收机来讲，在近十年中导航芯片的集成度有数量级增长，价格有两个数量级的降低，灵敏度和用户数量有三个数量级的增加，从而使卫星导航应用服务真正进入国民经济各个领域和寻常百姓家。

除了美国，欧洲的 Galileo 系统在系统设计先进理念是值得借鉴，因为他们在上世纪 90 年代，差不多用了 10 年的时间进行研究，工作底子非常扎实，其第一颗试验卫星上天至今已经第六个多年头，刚刚退役。但是，Galileo 系统在组织管理和产业规划上却存在明显的败笔和错误决策，例如系统建设试图通过公私合营方法开展，因饱受挫折而不得不放弃。俄罗斯 GLONASS 系统应用严重不足的教训也发人深省，虽然采取了一系列强制性措施，例如进口不具备 GLONASS 功能的导航设备，课以高额关税，但是成效甚微。其不太成功的关键为两点：一是系统本身性能和稳定性存在不足，GLONASS 从开始至今，已经发射 100 余个卫星，直到 2011 年底才实现由 24 个卫星组成星座的完全运营；二是 GLONASS 的开放程度严重不足，关于民用需要的相关文件和信息非常缺乏，因此严重缺乏群众基础。这两个方面真真切切可以作为我们的前车之鉴。

2 GNSS 概念在更新，面临重大转折，需要根本性的突破

2.1 GNSS 需要有与时俱进的革命性诠释

卫星导航从 GPS 进入 GNSS 发展新阶段，标志着真正的卫星导航应用全球化时代的到来，具备长期、持续、稳定运营服务能力和机制，卫星导航将成为世界性的产业。所以可以将 GNSS 的最后一个“S”，从“系统（System）”转变为“服务（Service）”，也就是整个名称，从全球导航卫星系统转变为全球卫星导航服务，这种转变的重大意义在于，实际上将一个技术系统，转化成为产业系统，一个实用系统，一个真正为生产、生活和社会生态服务的系统。

2.2 GNSS 遭遇脆弱性的阻击

随着 GNSS 应用与服务的广泛深入，其优点越来越明显，其缺点也越来越突出，特别是它的脆弱性。目前全球系统覆盖不了地球两极高纬度地区，所以在那些区域是无法用来定位的，因此所谓的全球是打折扣的。由于卫星导航利用的无线电信号视距传播特性，使得任何物体遮挡都成为定位的阻碍，而且卫星定位必须同时收到 4 颗卫星信号才能得到三维位置和时间信息，从而分布在天空中不同方位的卫星布局及其受遮挡的情况和程度，决定了定位结果的成败与优劣。所以，严格地说现在的全球卫星导航系统能够保障的应用服务范围，是在赤道、低纬、中高纬度区域的开阔空间。更加值得指出的是，除了上述的地形地貌地物 and 人造建筑物环境影响外，太阳和地磁等日地物理扰动环境和电波传播的电磁环境，尤其是电磁干扰环境的影响，往往成为实现高精度定位和授时的重大障碍。

2.3 GNSS 需要整体上的创新，环境段是重点

GNSS 整体组成应该从“老三段”转化为“新四段”。GNSS 是在不断创新中实现功能性能的提高和升华，而其中的主线和重点是通过环境段，实现精度、可用性、可靠性的不断改进。多种多样的差分技术与网络，天基、地基、局域增强系统，误差改正和缓减措施与方法，极大多数是围绕解决环境影响产生的效应来加以安排部署的。事实上，在卫星导航系统总体的形成过程中，仅仅以空间段、运控段和用户段的“老三段”表述

方式，已经远远不够了。所以，GNSS 的总体上，应该实现创新，形成“新四段”系统之系统的概念，这就是：空间星座系统、环境增强系统、地面运控系统、应用服务系统。

2.4 泛在导航的需求势不可挡，急需根本性突破

为了真正实现无时不在、无处不在、无所不在的导航定位和授时，在实现多个导航卫星系统兼容互操作的同时，还需要将多种多样传统的、新兴的、创新的技术手段和方法，实行一体化全方位多层次多模式的集成与融合，实现天地一体、室内外一体，实现生产生活生态环境条件下各行各业应用与服务，实现技术、产品、市场、人才、产业、政策、标准、管理等层面的联动，以及不同技术系统的协同定位与授时，构建全源感知、普适传输和智能服务的全信息产业链，才能实现人们期盼的泛在导航。

3 新时空服务体系是我国导航产业发展的远大蓝图

3.1 时间和空间是人类社会发展的两个基本参照系

空间和时间是世界上最大的两个参量，是人类社会有史以来最大的两个参考系统，一切事物和事件都离不开它们。新科学技术革命是以探索宇宙起源开始的，爱因斯坦的相对论实际上是揭示宇宙的本质。“宇”是空间，无边无沿，“宙”是时间，无始无终，宇宙是物质组成，并在永恒的运动之中。人类文明的发展进步过程中，人们一直在探索、研究、发现、利用、改进、完善时空两大参考系统，而卫星导航实现了空间时间参量的一体化提供，高精度、高效益、实时动态地提供，开创了时空一体化服务的新时代。

以卫星导航系统为基础，融合多种多样的定位导航授时技术和系统，实现任何时候、任何地方的泛在导航服务，是当前和今后 10 年~20 年间科技赶超和产业跨越的重大发展方向。为此，应该着手构建“新时空服务体系”。要从更加高远、深远、长远的时空层次和历史角度，做好总体规划和新时空服务体系框架研究，抓好政策与管理、基础设施与国家平台、应用与服务系统整体解决方案，利于实施推广应用，利于推动现代服务产业发展，利于快速形成规模经济，服务小康社会与和谐世界的建立。

3.2 卫星导航已真正成为时间空间信息全球化一体化提供的基础

卫星导航实现了空间时间参量的一体化提供,和时空信息的高精度、高效率、实时动态产生,利用数十个卫星就能够开展全球化全天候服务。其本身就是一场重大的新的信息技术革命,这就是新时空技术革命。高精度的时间和空间信息是实现人、车、物有序流动的基础,是信息智能化应用与服务的基础,是推进战略性新兴产业信息产业的基础。

3.3 泛在导航需要多系统集成融合

泛在导航体系的形成,是个大集结、大集成、大融合过程,首先是GNSS多个系统的兼容互操作,接着就是天基与地基的无线电系统的组合融合,尤其是导航与通信系统的渗透融合,然后就是自主系统和它助系统间的融合,最后就是室外与室内技术的全方位无缝整合融合。实际上,这是个导航与通信、天基与地基、自主与它助、室内与室外所以有效定位和授时技术手段高度集成融合的整体解决方案。

3.4 新时空服务体系保障泛在导航从现在走向未来

(1) 新时空服务体系

新时空服务体系,简称“新时空体系”。瞄准10年~20年后在智能信息产业领域的国家综合实力和国际竞争力目标需求,以“北斗”为核的卫星导航系统和新时空体系标准规范为基础,组合整合融合其它非GNSS的先进有效的提供时空两大信息参量及其复合信息的技术和系统,重点突破产业发展的重大瓶颈与壁垒,其中包括复杂电磁环境、异常日地环境、恶劣物理环境条件下室内外、城内外、地内外(包括地下、水下和高高度与深空),与所有开放和封闭空间的无缝定位导航授时技术,以及导航和通信全方位融合与时空、天地、军民一体化应用服务技术,指导现代信息产业产业升级转型、中长期规划制定部署、可持续跨越发展的技术生态链、产业价值链,及其体系框架规划构建,为实现具有泛在智能、精准确保、实时动态、融合共享八大创新要素的新一代信息技术和现代信息业,为培育和打造数万亿元体规模的新兴智能信息产业,奠定总体和顶层设计的基础,并提供系统体系和应用与服务产业的发展路线图。新时空体系,与其说是服务将来,更应

该说是指导现在的系统和产业发展,服务于当前和长远的国家战略,服务于赶超世界先进水平,促进我国从导航定位授时的大国向强国的伟大转变。

(2) 新时空服务体系架构

新时空服务体系架构包括:目标愿景、发展战略,以及三大组成体系。这三大组成体系分别是:统一规划与协调管理体系,技术创新与系统集成体系,以及应用服务和产业推进体系。

1) 新时空体系的整体愿景

立足赶超,目标是达到国际领先水平,2015年在应用与服务市场规模上达到最大,2020年在应用与服务技术上进入第一梯队,2030年在系统和体系技术上名列前茅,步入前三名行列。

2) 新时空体系的总体战略

新时空体系的总体战略是体系建设最优化和效益最大化策略,强化总体规划和顶层设计,以体系的标准规范为核心主线,以北斗和GNSS技术为共用基础,通过进一步创新与集成,有效融合多系统和多层次的优势资源,形成新的国家能力、政策和基础设施,尤其是形成可推广系统化解决方案,促进应用服务泛在化、智能化与共享化,满足日益增长的民用、军用的现实与未来的需要,特别是强劲增长的商业需要,提高效率和效能,惠及民生。

(3) 三大组成体系

1) 统一规划与协调管理体系

新时空体系应该成立管理委员会,由多个国家部门和机构的部级领导人组成的领导小组,负责新时空体系的政策法规、标准规范的审批发布、重大项目的决策部署和协调管理,管委会下设置负责日常事务的管理办公室和从事决策咨询与技术体系建设和运营指导监督管理的专家委员会,以及若干专门领域的协调组和工作组,管理办公室正副主任由领导小组派员或者由其成员担任。

2) 技术创新与系统集成体系

在定位授时领域内,技术创新与系统集成体系实现三个层次的融合:有源和无源系统、导航和通信体系的体系级融合;天基与地基、有线与无线系统的一体化融合,以及室内外多种物理手段互补互用互换和导航、遥感、地理信息系统的集大成融合。

3) 应用服务和产业推进体系

这一体系就其庞大复杂和关联度与带动性而言,可列为我国七大战略性新兴产业之首,构成

新一代信息技术和智能信息产业的核心要素和共用基础,只有政府部门机构、企事业单位、社会各界共同努力,才能达成产业整体良性循环发展。体系的应用需求,来自国防军事、国民经济、商贸民生、科学研究四大领域,形成生命安全、行业专用、大众消费三大市场,支撑产业有高端制造业、先进软件业、现代服务业,及其独有的综合数据业,用户范围涉及海陆空天与地下、水下和深空,形成信源提供、生产制造、系统集成、应用服务为主要环节的产业链,以及由技术创新、金融服务、产业推进、条件保障四大部分组成的产业发展生态体系。

(4) 新时空服务体系的技术经济可行性分析

新时空体系技术经济效益解析。这一体系是我国新一代信息技术和新兴智能信息产业的核心要素和共用基础,也是无时不在、无处不在的现代信息泛在智能服务的共性技术和共享基础,是能够将目前和今后相当长时期内,许许多多产业发展热点技术和亮点产业贯穿连接起来的关键主线和应用服务内容粘连起来的粘结剂,其高技术特点将引领专业、大众、安全三大市场,拖动新兴产业集群发展,满足国民经济和人民群众现实和长远的需求,利民便民惠民,形成数以十亿计的用户群体和数以万亿元计的产值规模的大产业,从而在一定程度上支撑产业结构转型和改变经济

增长方式的历史进程,并且促进大批的新系统、新应用、新服务的孕育诞生、成长壮大。这个产业是以北斗系统为核心动力,以对地观测和地理信息系统为两翼的空间信息技术与传感器技术网络、先进信息通信技术网络、现代云计算技术网络为支撑的“智能信息产业”。它是能够有效提供时间空间信息的高技术,能够实现全中国、全球性、全天候的泛在服务,保障相关的人、财、物能够实现有序流动,达到各在其位,各行其职,人尽其才、物尽其用、车通其路、货畅其流,成为智能信息的根本基础,成为传感网、物联网、云计算网和智慧城市的发 展基础,和实现信息产业转型与科技创新的依托基础。

4 结论

今后的五十至上百年时间内,人们将以卫星导航系统为基石,集成光学、声学、电学、磁学、机械学多种多样的物理手段,融合有线、无线、互联、物联、传感、超算等一系列网络系统与技 术,形成可互补、可交换、可替代、可共享的信息标准与资源,形成新时空服务体系,实现包括地下(和 水下)与深空在内的海陆空天所有空间,和每天 24 小时所有时间,以及正常与异常、平时与战时、室内与室外所有环境条件下的时空信息泛在智能共享服务。

参考文献

- [1] 曹冲. 战略性新兴产业卫星导航面临的机遇和挑战[J]//中国全球定位系统技术应用协会. 卫星导航产业发展与对策. 北京:测绘出版社,2009.
- [2] 曹冲. 中国的卫星导航产业与新一代信息技术[J]. 数字通信世界,2010(12):26-29.
- [3] 曹冲. 我国卫星导航产业发展现状及趋势[R]//徐德明. 中国地理信息产业发展报告. 北京:社会科学文献出版社,2011.
- [4] 曹冲. 自主性北斗创新引领智能信息产业,新时空服务体系开拓泛在导航服务[J]//中国卫星导航定位协会. 卫星导航定位与北斗系统应用:2012. 北京:测绘出版社,2012.
- [5] LOCATA. A New Constellation[J]. GPS World,2011(11):34-41.
- [6] ELDREDGE L, ENGE P, HARRISON M, *et al.* Alternative Positioning, Navigation & Timing (PNT) Study[C]//International Civil Aviation Organisation Navigation Systems Panel (NSP) Working Group Meetings, Montreal, Canada; [s. n.],2010.
- [7] National Security Space Office (NSSO). National Positioning, Navigation, and Timing Architecture Study; Final Report [EB/OL]. [2012-12-26]. http://ntl.bts.gov/lib/31000/31300/31380/PNT_Architecture_Final_Report_Exec_Sum_Public_Release_Signed_Version_Sep_08.pdf.
- [8] Department of Transportation and Department of Defense. National Positioning, Navigation, and Timing Architecture; Implementation Plan[EB/OL]. [2012-12-26]. http://www.rita.dot.gov/pnt/major_initiatives/national_pnt_architecture.html.
- [9] MCNEFF J. Changing the Game Changer; The Way Ahead for Military PNT[J/OL]. [2012-12-26]. <http://www.insidegnss.com/auto/novdec10-McNeff.pdf>.