



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

卫星导航与PNT体系

Satellite navigation and PNT system

第八组:

屈香君
凌云飞

冀 冉
陈明霞



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

目录

CONTENTS

1

卫星导航发展历史及现状

2

PNT体系的介绍及研究进展

3

卫星导航与PNT体系的关系探讨

4

战略地位与发展前景

5

讨论



卫星导航发展历史及现状

The history and current situation of satellite navigation development



1.1 导航技术概述

导航是一种通过确定位置、规划路线并引导目标对象按指定路径前进的过程。核心是利用定位信息、环境数据和目标位置之间的关系，帮助目标对象安全、有效地到达预定目的地。现代导航通常依赖卫星定位系统、地图数据和传感器等技术，涵盖了定位、路径规划和实时引导等功能。



电磁波探测



陀螺仪与加速度计



卫星导航发展历史

背景

冷战开始，美苏开始探索使用卫星进行导航的可能性
探索在多种应用领域中的潜力
对精确导航和定位服务的需求增加
各国不断加强自己的卫星导航系统建设，以满足增长的定位需求。
向高精度、低延迟、抗干扰等方向发展，满足多样化的应用需求。

1957年：斯普特尼克1号	1966年：发射了Tiros 1号	1978年：Block I GPS卫星，	2000年：北斗一号试验卫星	2020年：北斗全球导航系统完成
1958年：探索者1号	1972年：资源卫星ERTS-1后更名为Landsat 1	1983年：开放GPS系统民用	2005年：伽利略系统发射首颗试验卫星Giove-A	2020年：完成GPS III系统的部署
1958年：NASA正式成立	1974年：日本发射了Himawari 1号	1993年：俄罗斯完成了GLONASS的基本构建	2012年：北斗系统完成覆盖亚太区域的建设	2021年起：多个家的卫星互联网计划，Starlink计划、Project Kuiper计划
1960年、1962年TRANSIT-1B和Telstar 1号		1995年：美国完成GPS系统24颗卫星的全星座部署	2016年：伽利略卫星导航系统实现初始运行能力	

1950s

1960s

1980s

2000s

2010s

早期探索阶段

GPS系统诞生

其他全球卫星导航系统的兴起

现代卫星导航系统

高精度与新技术应用



美国GPS (Global Positioning System)

由美国国防部开发和管理，是全球最早、最广泛使用的导航系统。GPS卫星系统通过24颗卫星提供全球定位服务，现已升级到GPS II代，提高了精度和抗干扰能力。

俄罗斯GLONASS (Global Navigation Satellite System)

由俄罗斯航天局负责管理，最早用于军用，后向民用开放。GLONASS系统由24颗卫星组成，提供全球覆盖的导航和定位服务，特别在高纬度地区精度较高。

欧洲伽利略 (Galileo)

由欧盟开发和管理的民用全球卫星导航系统，伽利略系统设计之初就是为了提供高精度定位，服务全球。系统计划部署30颗卫星，目前已具备基本全球服务能力，精度可达亚米级。

中国北斗 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS)

由中国开发并运营，北斗系统经历了三代发展，现已形成全球覆盖的北斗三号系统。北斗系统采用GEO、IGSO和MEO多轨道卫星星座，可提供全球定位、短报文通信等多功能服务。

南美洲的系统 (SIS)

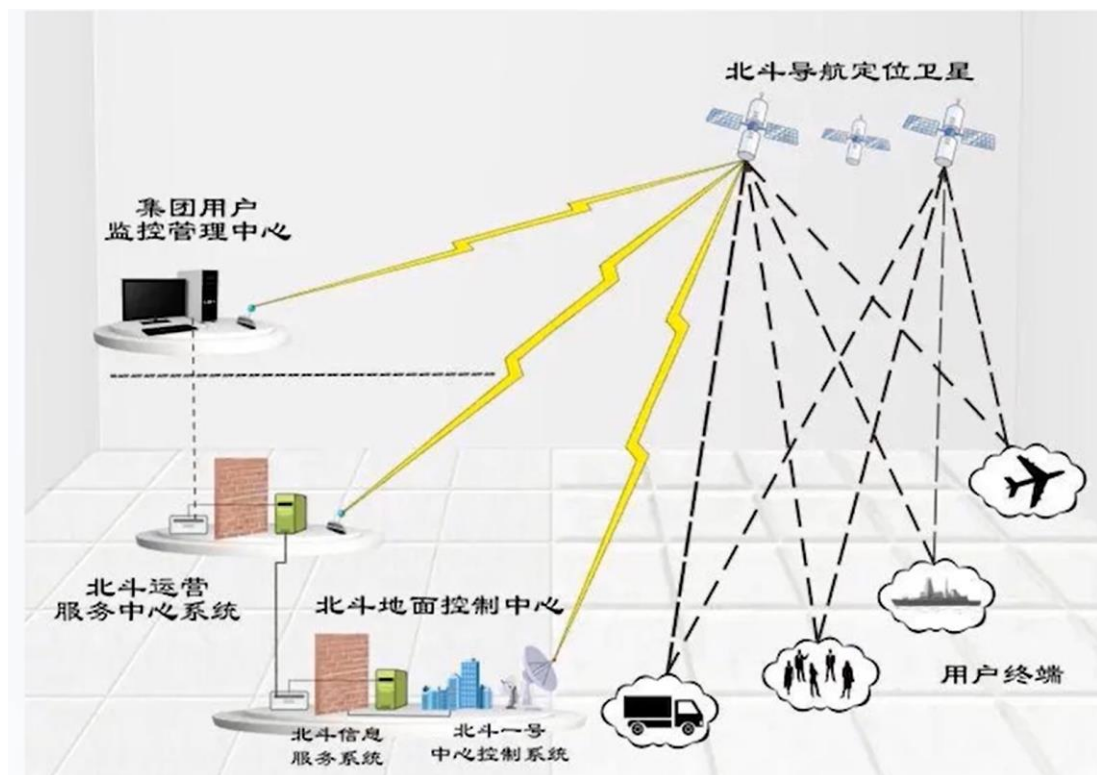
印度卫星导航系统 (IRNSS / NavIC)

日本的准天顶卫星系统 (QZSS)



卫星导航定位工作原理

利用飞行的卫星不断向地面发送某种频率，并加载某些特殊的定位信息的无线电信号，来实现实时定位、导航和授时服务的全球无线电系统。



空间卫星星座

地面控制中心

用户终端



问题与挑战

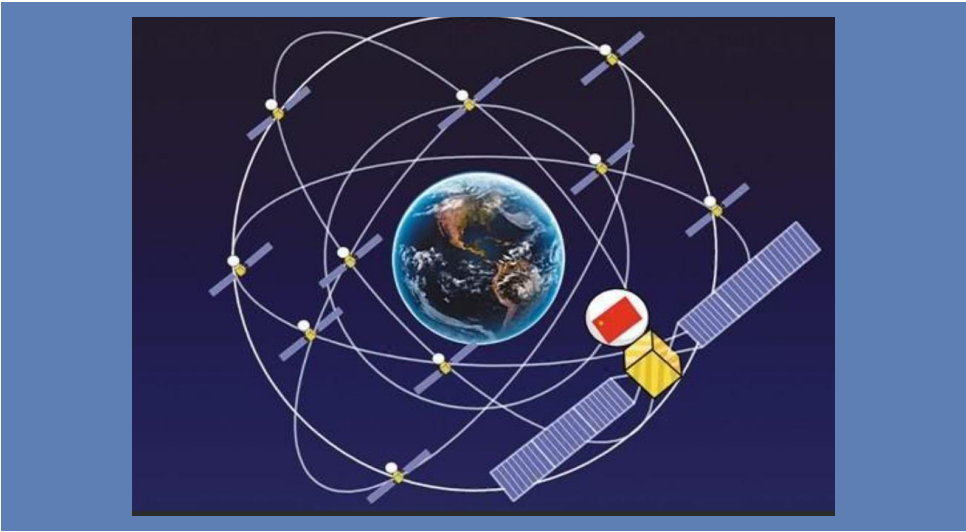
干扰问题

干扰器

电磁干扰与信号削弱

兼容性

随着卫星数量的增加，尤其是低地轨道（LEO）卫星的部署，频谱资源变得愈加紧张。这导致不同卫星系统之间的信号干扰风险增加。



互操作性

互操作性可以让用户使用简单的接收机接收多个导航系统的信号，大大提升了便利性。然而，由于系统之间的噪声水平差异和接收器要求，互操作性在实现过程中仍存在瓶颈。系统和接收设备的进一步数字化可能有助于减轻这一问题，使得各导航系统能更好地协同工作，以提供安全、可靠和多样化的导航服务。

与空间碎片战斗

表1 GPS信号频段的发展

时间	GPS 卫星	信号种类	信号频点/MHz	应用领域
1978—2004	Block I / II / II A/ II R	L1(C/A) ;L1(P)	1 575.42	军民两用
	II A/ II R	L2(P)	1 227.6	军用
2005—2009	Block II R-M	L2(C)	1 227.6	民用
2010—2013	Block II F	L5	1 176.45	民用
2014—2024	Block III	L1C	1 176.45	民用

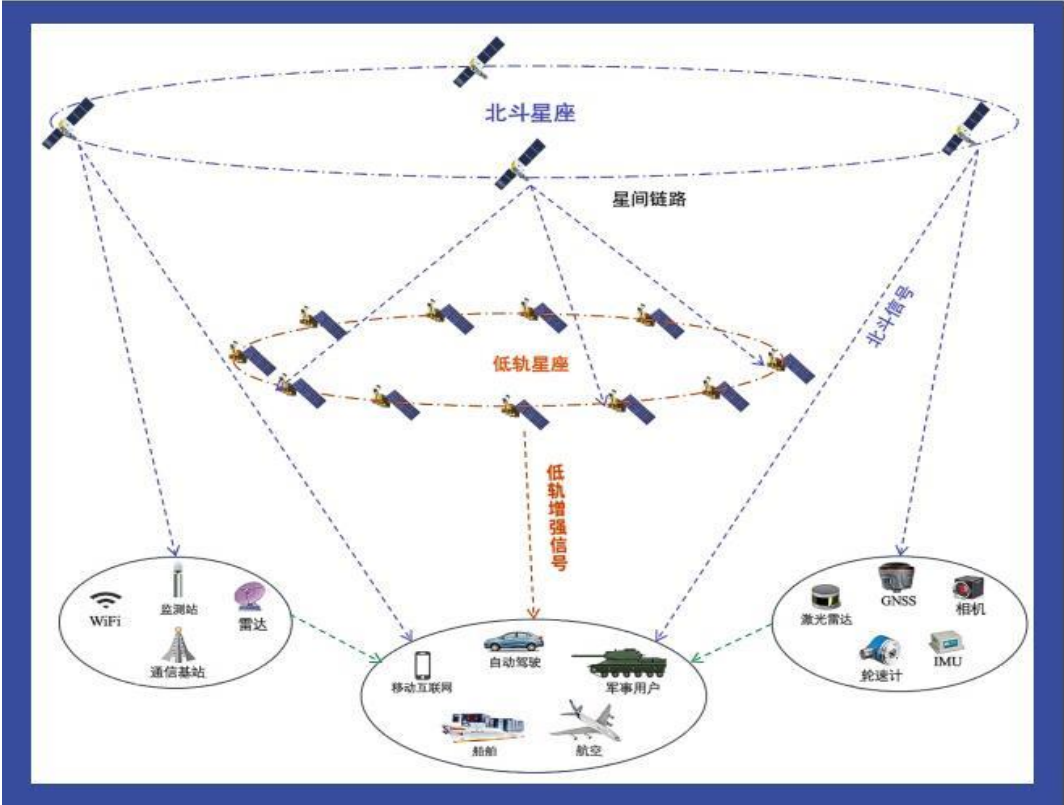


发展

低轨卫星导航增强（LEO-NA）技术



人造卫星分为距地面高度300千米~2000千米的低轨卫星、2000千米~36000千米的中轨道卫星以及36000千米的高轨道地球同步卫星。“相比于中高轨卫星，低轨卫星具有轨道高度低、信号功率衰减小，几何图形变化快等突出优点，可与GNSS中高轨星座形成优势互补，实现对导航定位的精度、完好性、可用性的全面增强。





发展



5G无线网络和GNSS应用

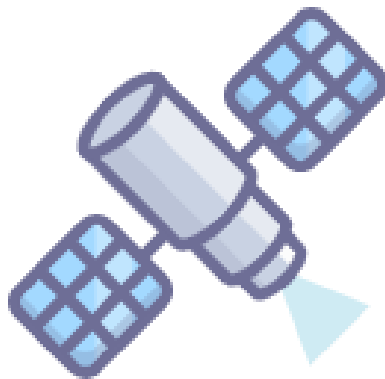
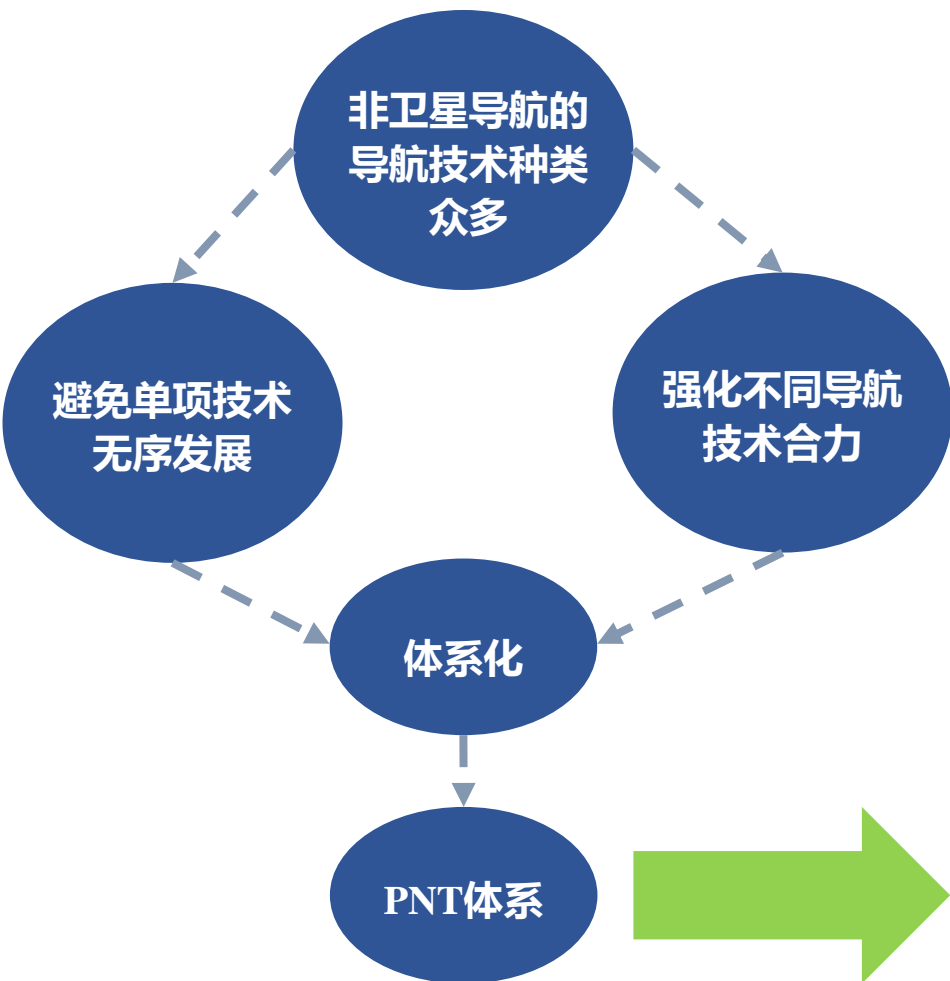
- 1 GNSS为5G提供时间同步
- 2 人口稀少地区的GNSS
- 3 面向大型公司和产业的专用5G网络
- 4 GNSS与城市5G融合

PNT体系的介绍及研究进展

Introduction and research progress of PNT system



2.1 PNT体系介绍



PNT体系是综合了**天基、空基、陆基**以及其他**各类导航资源**，形成了**陆、空、天、水下、室内外一体全域覆盖的高精度时空统一服务体系**

在90年代末，**欧盟 GALILEO**计划的初期设计已经包含了PNT体系的主要基本特征

俄罗斯在研发部署新一代**GLONASS 卫星**的同时，对其地基无线电导航系统进行升级改造，并开展利用陆基雷达信号实现导航功能的研究与协调工作，积极发展PNT体系

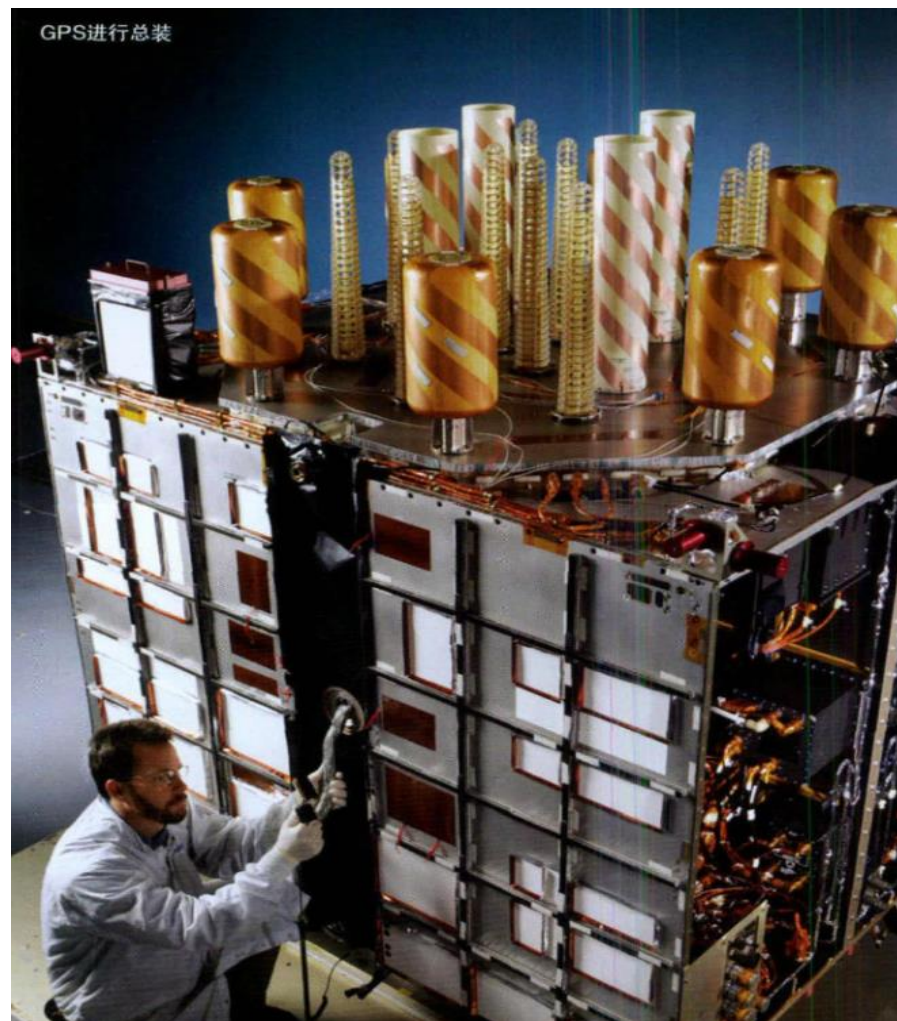
英国提出“**弹性 PNT 体系**”概念，主要包括“**守卫**”计划和“**哨兵**”计划，均在成体系考虑多手段PNT技术和能力的建设



2.2 国外情况---美国

从历史来看，美国是 PNT 基础设施最完善、技术最先进的国家。除已经建成并正在实施现代化改造的 GPS 系统外，还具备多种导航、定位和授时系统，能够通过多种手段提供定位、速度和时间信息服务。但是，美国各种 PNT 系统的发展以及互用技术的研究一直缺乏统筹规划。

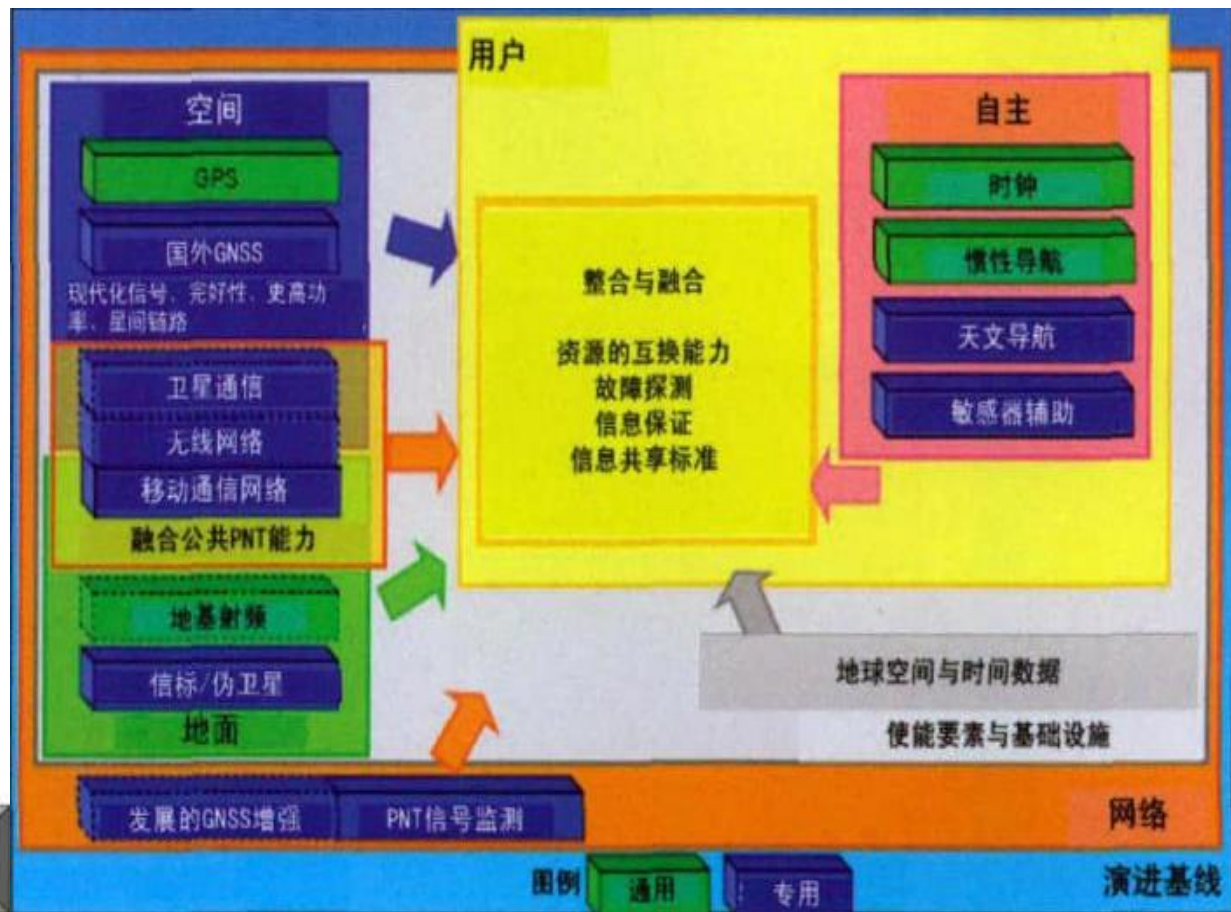
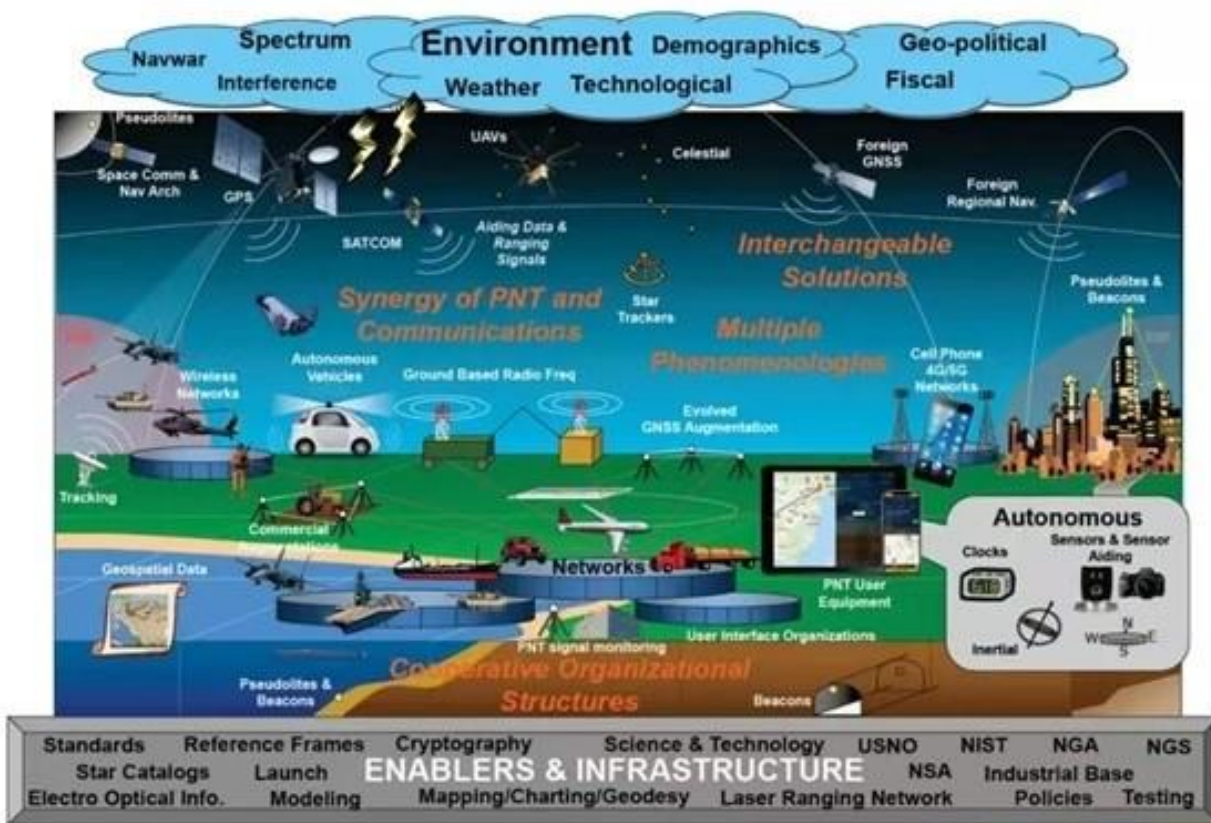
为了摆脱对 GPS 卫星导航系统的过度依赖以及统筹各种 PNT 技术的发展，美国开始意识到对 **PNT 系统**进行**一体化规划与建设**的必要性。





2.2 国外情况---美国

National PNT Architecture





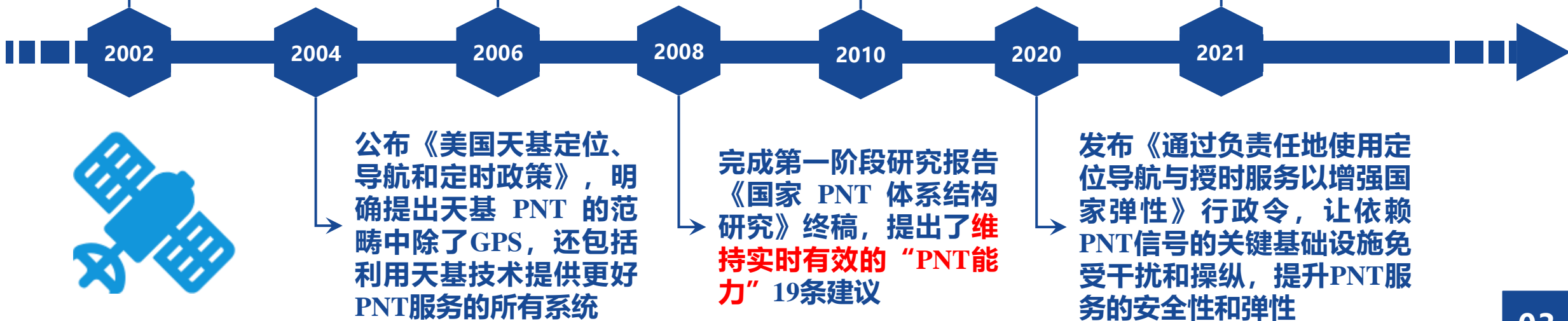
2.2 国外情况---美国

美国NSSO主持的一项国家安全航天计划评估项目，提出要开发一种**全面的PNT体系结构**，以解决定位和时间标准、GPS系统依赖性这些核心问题，注重在PNT技术和研发上

首次提出了PNT体系的概念，发起了美国国家PNT体系研究，构建能够满足空间、空中、地面、地下和水下等所有用户的**全方位 PNT服务**

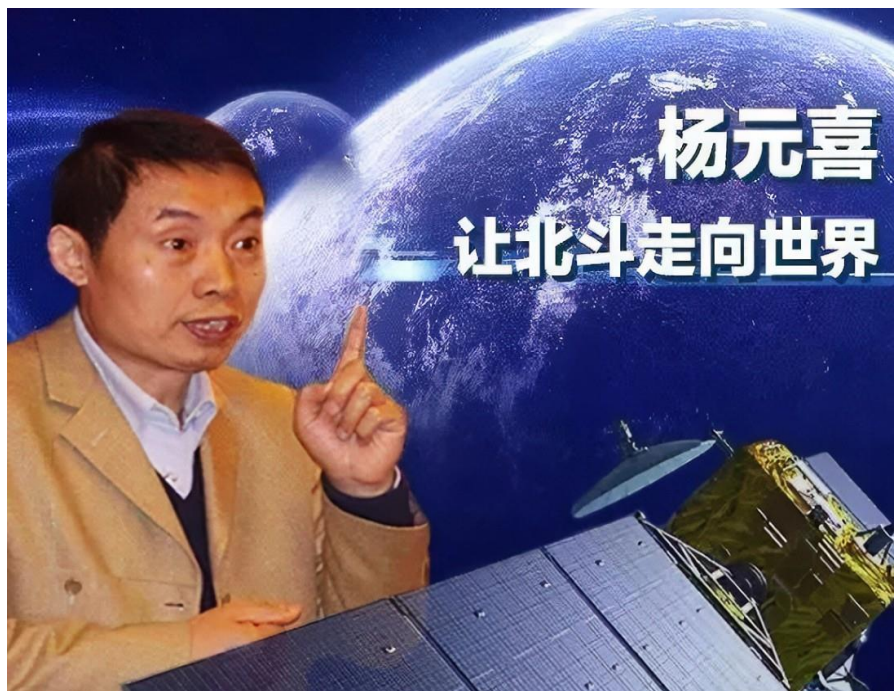
发布《PNT体系实施规划》，提出要改进天基PNT和地基PNT功能，计划**2025年**构建一个弹性、可靠、互补和稳健的国家PNT新体系作为美国经济和国家安全的基础；

发布《航天政策7号令》，旨在保持美国在**天基PNT领域的核心领导地位**，内容中新增加了“**PNT服务**”、“**主要PNT服务**”、“**备份PNT服务**”和“**导航战**”四条术语



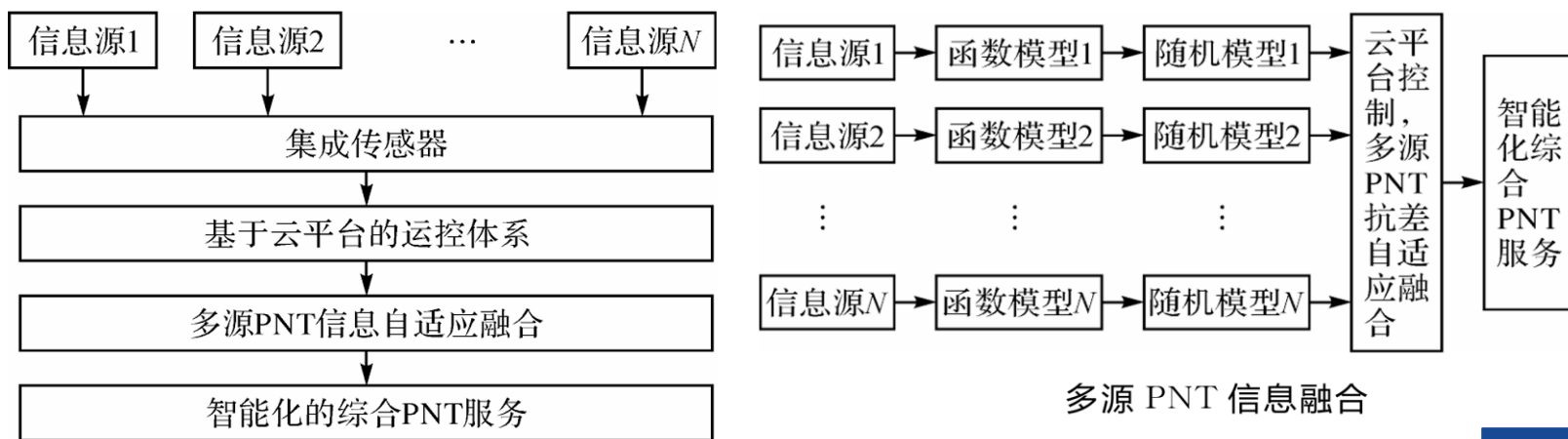


2.3 国内情况



综合PNT

基于不同原理的**多种 PNT 信息源**，经过**云平台控制、多传感器的高度集成和多源数据融合**，生成**时空基准统一的，且具有抗干扰、防欺骗、稳健、可用、连续、可靠的 PNT 服务信息**。



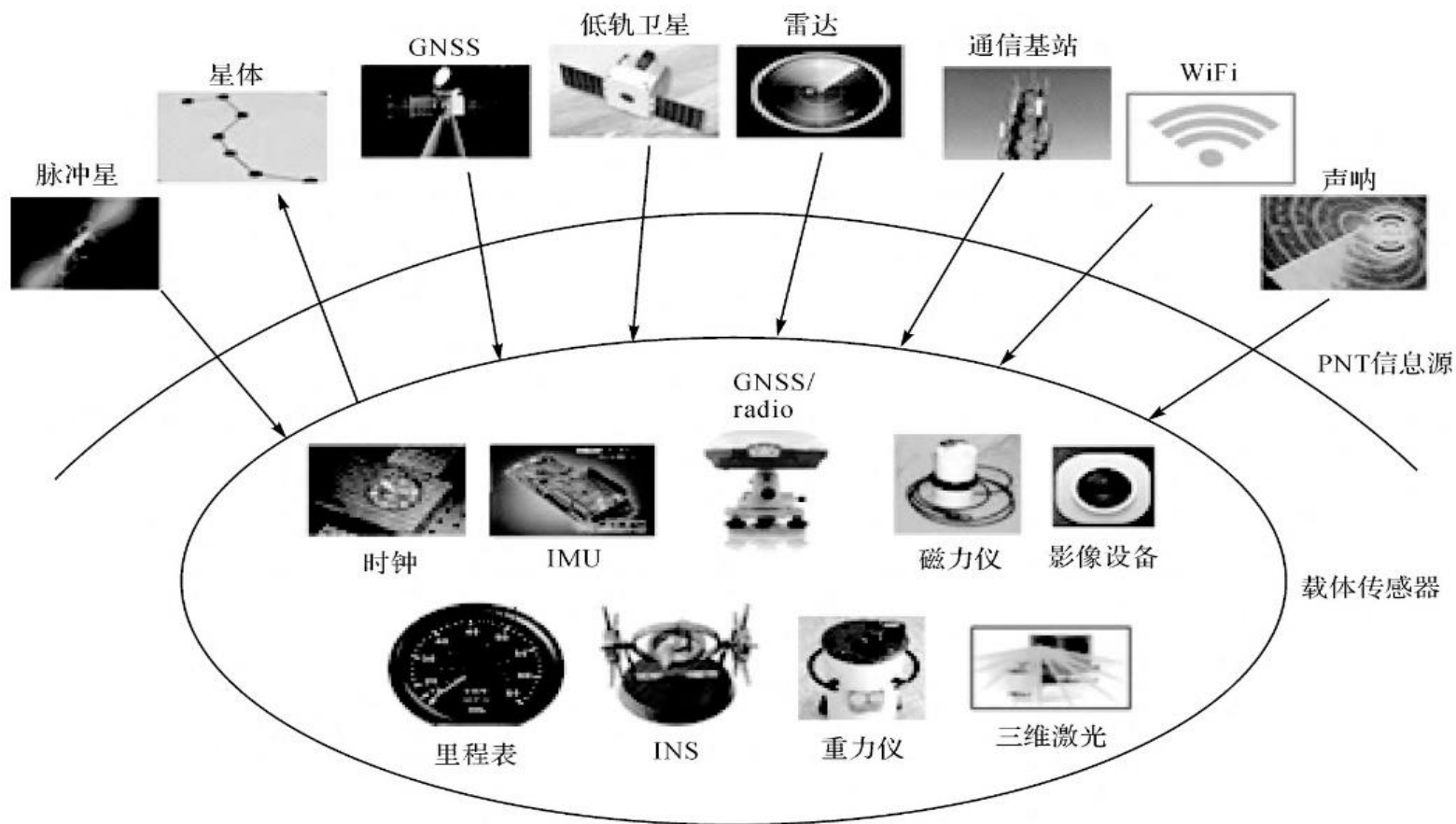
综合 PNT 信息流程图



2.3 国内情况

弹性PNT

以**综合PNT信息**为基础，
以**多源PNT传感器**优化集成
为平台，以**函数模型**弹性调整
和**随机模型**弹性优化为手段，
融合生成适应多种复杂环境
的PNT信息，使其具备高可用
性、高连续性和高可靠性。



多种导航手段



卫星导航与PNT体系的关系探讨

Discussion on the relationship between satellite navigation and PNT system



卫星导航发展
历史及现状

PNT体系介绍及研究进展

卫星导航与PNT体系
关系探讨

战略地位及发展前景

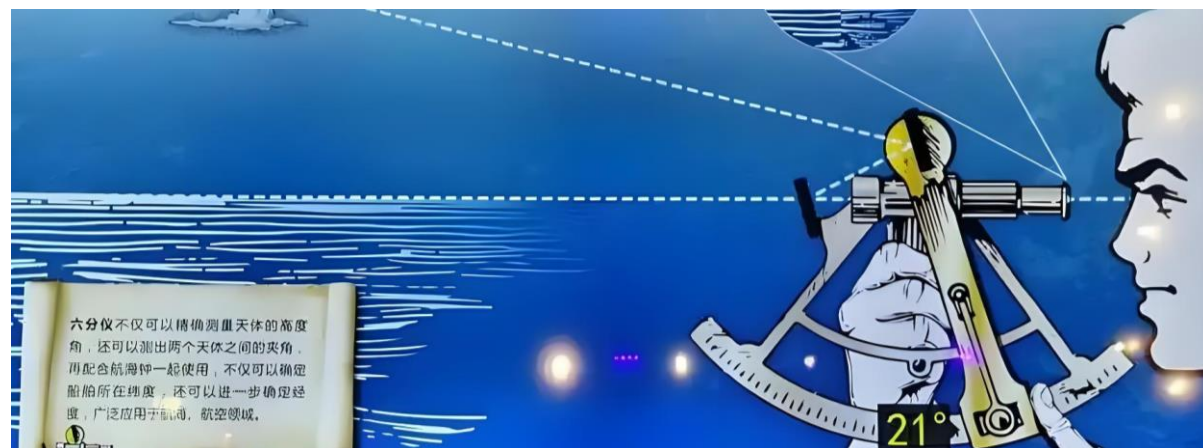
讨论

3.1 卫星导航视角

1.GNSS的发展推动PNT体系的演进

2.GNSS提供PNT体系的核心需求

北斗：授时，定位，导航





3.1 卫星导航视角

3.GNSS已成为国际PNT领域竞争与合作的标志性系统

论证卫星导航系统能力的升级换代，部署新技术、新卫星、新服务成为全球潮流。随着各国对精确定位技术的需求不断增加，GNSS不仅在民用和商业应用中发挥了重要作用，还在军事和安全领域展现出其战略价值。各国在GNSS技术的研发和应用上展开了激烈的竞争，同时也通过国际合作促进了技术的共享与标准的制定。这种竞争与合作的交织，使得GNSS在全球PNT体系中扮演着不可或缺的角色，推动了全球经济的数字化转型与智能化发展。





3.1 卫星导航视角

4.GNSS兼具高精度、低成本、全球性，是应用最广泛的PNT技术

GNSS是当前唯一兼具**全球性、高精度、低成本**特征的PNT技术，覆盖地表至数万千米高度的广阔空间，适应人、物、车和各类平台的应用需求，不受季节、天气、地理空间、载体动态变化的约束：在军事应用方面几乎渗透至所有的武器装备、作战单元、信息系统，在民用方面则拓展至几乎所有的关键基础设施、移动载体、手机，成为最大共性需求满足者。GNSS也是仅有的统一地理空间和惯性空间的时空基础设施，其他基于PNT技术的时空基准溯源主要手段。

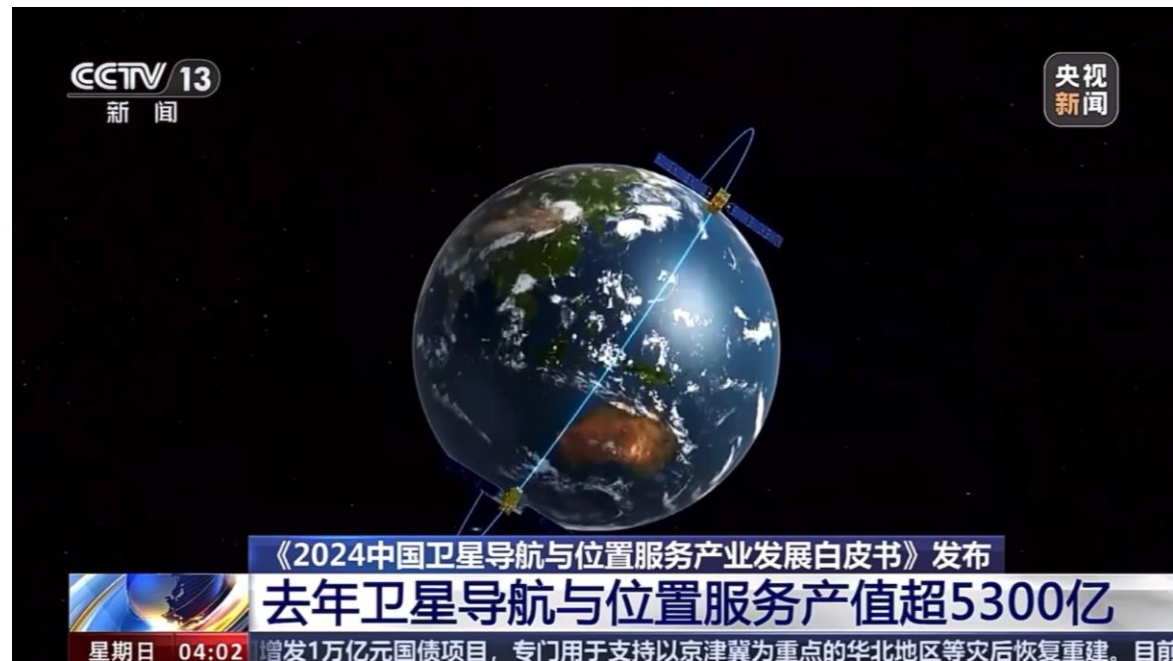




3.2 新一代综合PNT视角

1. 国民经济发展高度依赖卫星导航

天基PNT已成为国民经济领域高精度位置和时间服务**不可或缺**的基础设施，为通信高速信息交互、电力设施运行、实时金融服务、个人出行与智能交通、公共安全和灾害监测、精准农业、港口物流、地球物理与气象科学研究等提供了精确的时空信息，已成为国民经济发展的基础。一旦天基PNT服务中断或受到操控，国民经济将遭受重创。





卫星导航发展
历史及现状

PNT体系介绍及研究进展

卫星导航与PNT体系
关系探讨

战略地位及发展前景

讨论

3.2 新一代综合PNT视角

2.打赢现代高科技战争高度依赖卫星导航



武器精确打击



体系化协同作战



3.2 新一代综合PNT视角

3.大国博弈背景下卫星导航的脆弱性逐渐凸显

GNSS服务范围受限

1

信号易受干扰

2

导航星座和地面控制系统存在受攻击风险

3

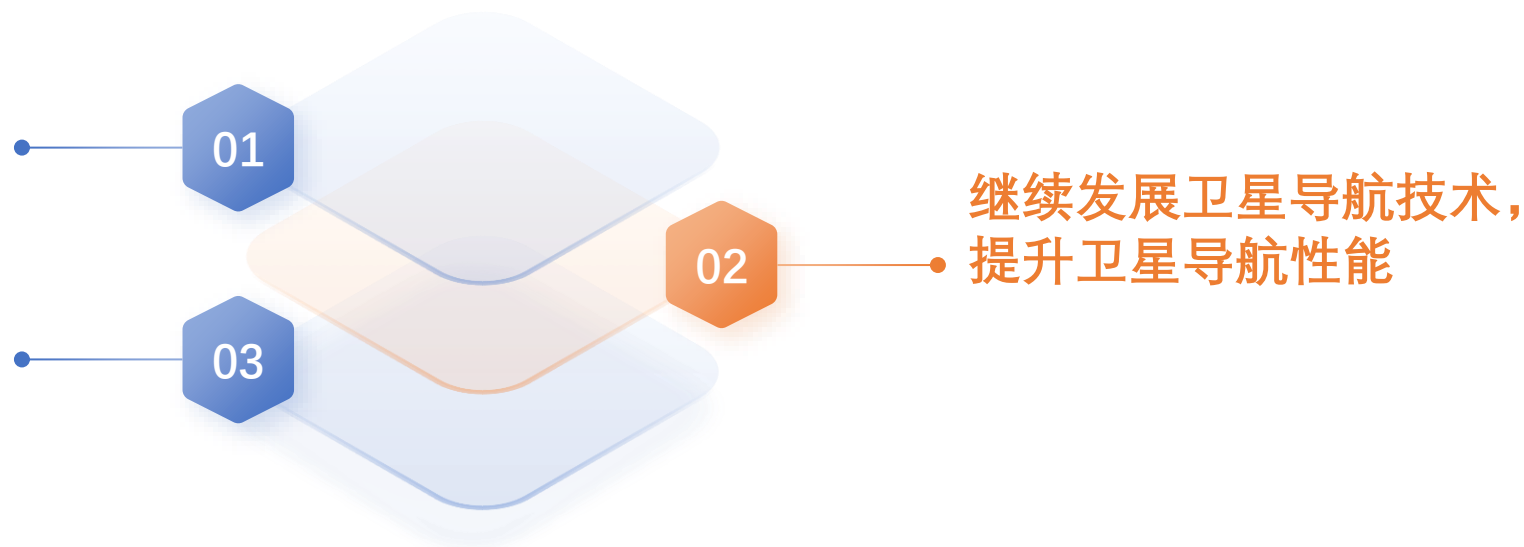


3.3 如何理解二者关系

增强卫星导航技术的同时，推动PNT技术的最大限度协同增效

创新发展不依赖卫星导航
的PNT技术

实现卫星导航和其他PNT
技术的融合发展



战略地位与发展前景

Strategic position and development prospects



4.1 GNSS的军事用途



授时

全球导航定位系统可提供准确的时间和频率，从而广泛应用于授时校频。对于通信、网络的时间同步，以及部队机动、作战中统一时间标准均具有重要的意义。



导航

当前GNSS与惯性制导相结合是军用飞机上普遍采用的一种导航方式，这种导航方式可由GNSS提供精准的位置和速度信息，而惯性制导因不易受到干扰，可在无GNSS信号时提供导航信号并使系统迅速更新。美军目前的军用飞机大量采用此种导航方式。



救援

美国飞行员广泛应用的一种HooK-112救生无线电装置，在飞机上被击落时，能够利用GPS为营救人员指引方向。



4.2 应用



PNT技术是**综合国力的战略标志**,
在国民经济、国家安全、军事领域等
方面都有很强的服务作用。例如我们
日常生活中经常使用的微信的照片定
位拍照地点功能、打车软件的定位导
航功能、共享单车的定位导航功能等。

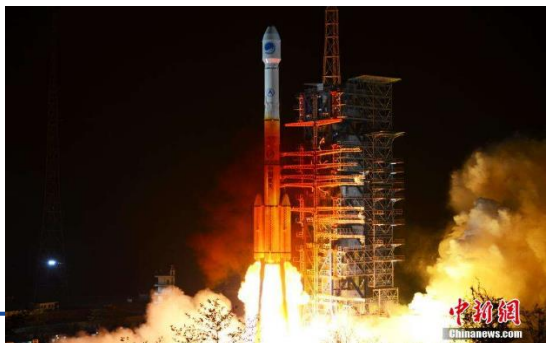


4.1 国家战略地位

我国正在加快推进以北斗系统为核心的国家综合PNT体系,争取到2030年前,建成基准统一、覆盖无缝、安全可信、高效便捷的国家综合PNT体系。



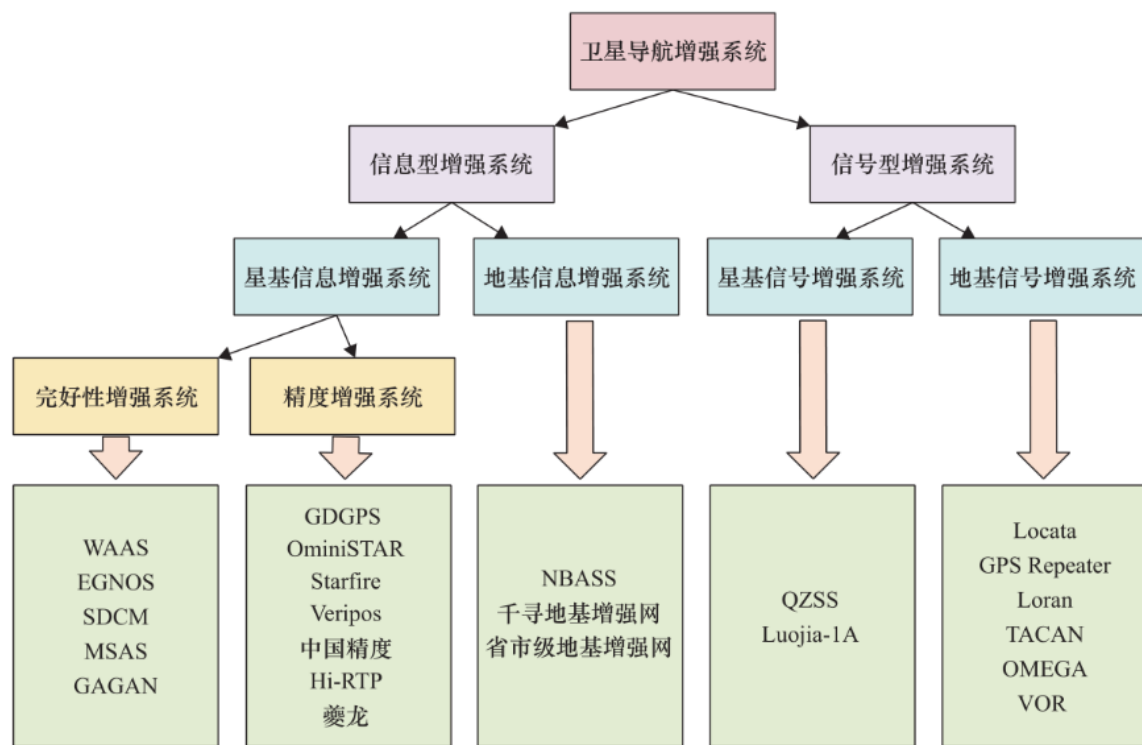
受科技与经济实力限制,目前世界上仅有极个别发达国家将构建PNT体系上升为国家战略。目前,我国已成功组网发射五颗新一代北斗导航卫星,进一步增强了北斗系统的稳定性和可靠性,为系统服务向全球拓展奠定了坚实基础。



“到2035年,我们要构建一个以北斗系统为核心的国家综合PNT体系,这个综合PNT体系就是国家综合定位、导航、授时的一个时空信息领域的体系化构建。”全国两会期间,全国政协委员、北斗卫星导航系统总设计师杨长风在接受记者采访时这样讲到。



4.1 其他PNT技术



01

低轨卫星增强技术

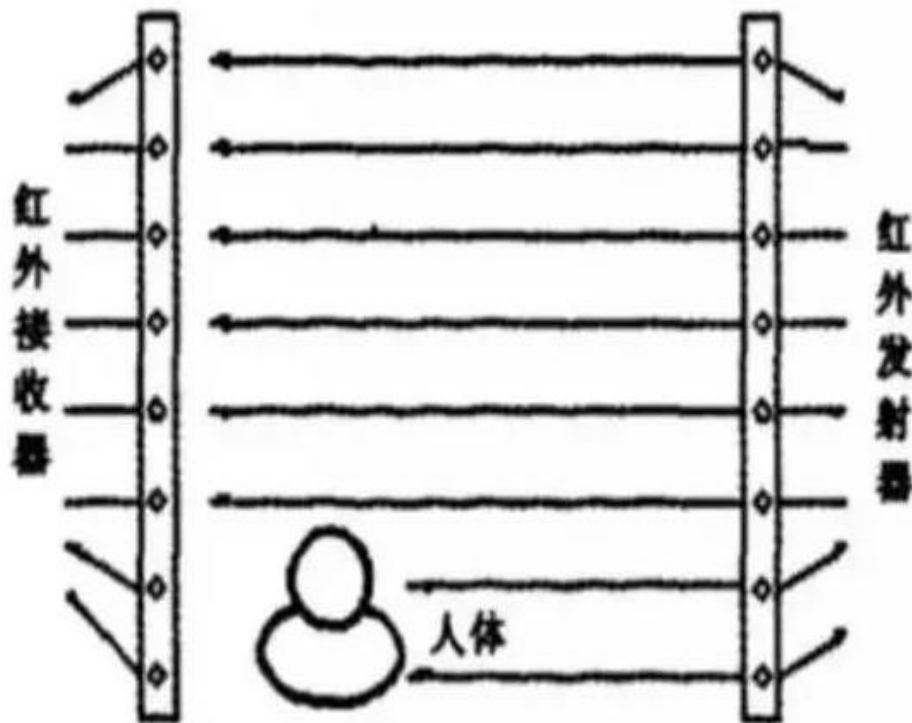
导航增强技术不是新兴概念，发展历程较长，泛指用于提升卫星导航系统服务能力的各种技术方案。卫星导航增强系统主要有信息型增强系统和信号型增强系统两大类。

信息型增强系统通过地面监测站计算误差改正数或完好性信息，将这些数据播发给用户，由用户接收后辅助提升定位精度或服务完好性。这类服务的特点在于，导航定位仍然使用现有的卫星导航信号，而增强信息通过天基或地基通信链路来传输。

信号型增强系统中，导航增强源能够产生测距信号并与现有 GNSS 信号进行联合定位，能够解决城市峡谷、露天矿、树林、室内、地下空间甚至水下的定位问题，有效扩展了卫星导航系统的服务范围和应用场景。



4.1 其他PNT技术



02

室内定位技术

Wi-Fi定位:系统会扫描周围的Wi-Fi信号, 获取到附近可用的Wi-Fi网络信息, 然后将采集到的Wi-Fi信息与预先构建的Wi-Fi数据库进行匹配。这个数据库中保存了已知Wi-Fi网络的位置信息, 通过比对采集到的信号特征, 找到与之匹配的Wi-Fi网络。一旦找到匹配的Wi-Fi网络, 定位系统会使用三角测量、指纹定位或机器学习等算法, 计算出设备的位置坐标。

红外技术:红外线是一种波长在无线电波和可见光波之间的电磁波。红外定位主要有两种具体实现方法, 一种是将定位对象附上一个会发射红外线的电子标签, 通过室内安放的多个红外传感器测量信号源的距离或角度, 从而计算出对象所在的位置。

05



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

汇报结束 感谢观看
敬请各位老师同学批评指正