

X射线脉冲星导航简介

郑世界

2021年3月2日

Baidu 百度

脉冲星导航

百度一下

网页 资讯 视频 图片 知道 文库 贴吧 地图 采购 更多

百度为您找到相关结果约1,350,000个

搜索工具

Google

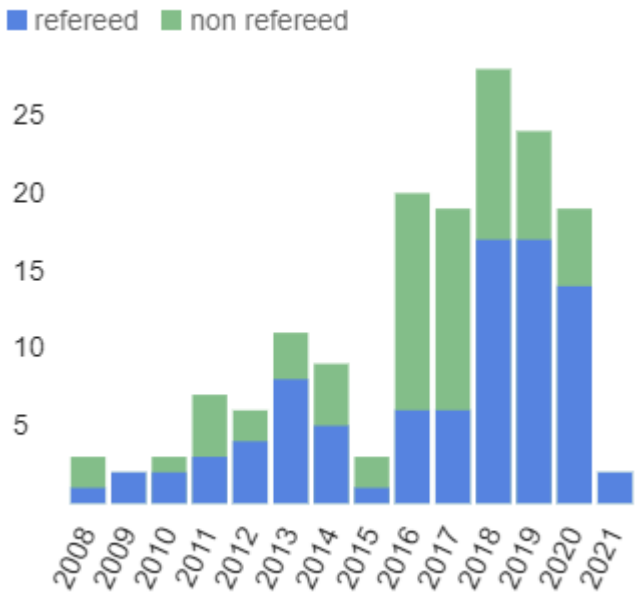
'pulsar navigation'

全部 图片 地图 购物 视频 更多 设置 工具

找到约 19,800,000 条结果 （用时 0.42 秒）

en.wikipedia.org › wiki › X-ray_pulsar-based... ▾ 翻译此页

X-ray pulsar-based navigation - Wikipedia



ADS检索，提到”pulsar navigation”的论文数量

提　纲



- 背景及发展历程
- 重要在轨试验
- 导航算法实现
- 展望

国际发展状况

- 1967年，第一颗脉冲星被发现；
- 1974年，美国喷气动力实验室（JPL）的Downs首次提出射电脉冲星导航；
- 1981年，Chester和Butman提出X射线脉冲星导航；
- 1999年，美国在ARGOS卫星上进行USA实验，初步验证空间X射线源进行导航的可行性；
- 2004年，美国DARPA提出了XNAV计划；
- 2004年6月欧空局已完成”依靠脉冲星计时信息的空间飞行器导航系统的可行性研究”，认为实现在轨导航的可行性不高。
- 2006年，NASA的小型企业创新研究计划（SBIR）资助进行了脉冲星导航研究；
- 2010年，美国国防高级研究计划局发表白皮书，提出了XTIM X射线望远镜的概念及应用。
- 2012年3月，德国马普地外所的Werner Becker教授做了“通过脉冲星实现深空导航”的报告；2015年组织召开了“自主飞行器导航”会议，报告了基于eROSITA的模拟结果；
- 俄罗斯计划在国际空间站开展与NICER项目相似的MVN M2试验，用于验证脉冲星导航。
- 2017年6月，NASA把中子星内部成分探索者（NICER）放到了国际空间站，其SEXTANT 研究内容就是脉冲星导航；

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

Technical Report 32-1594

Interplanetary Navigation Using Pulsating Radio Sources

G. S. Downs

(NASA-CR-140398) INTERPLANETARY NAVIGATION USING PULSATING RADIO SOURCES (Jet Propulsion Lab.) 16 p HC $4.00 CSCL 17G

N74-34153

Unclas G3/21 49655



JET PROPULSION LABORATORY
CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
PASADENA, CALIFORNIA

October 1, 1974

首次提出脉冲星导航（NASA，1974）

Navigation Using X-Ray Pulsars

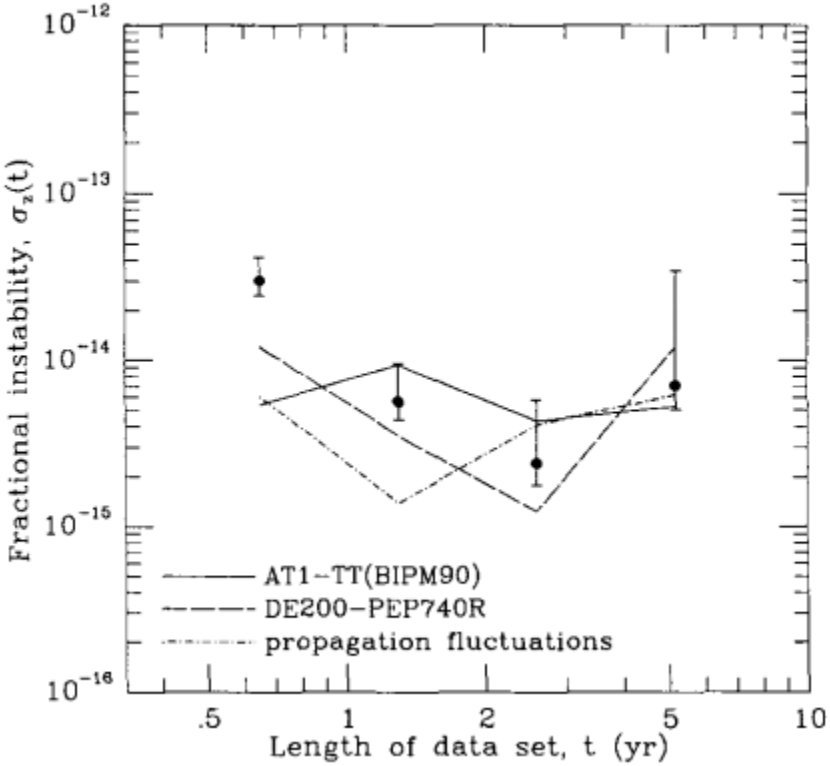
T. J. Chester and S. A. Butman
Communications Systems Research Section

Navigation using X-ray pulsars is a practical method that yields three-dimensional positions accurate to ~150 km with one day of data. It is the best practical method for sufficiently distant spacecraft, requiring only a small X-ray detector on board the spacecraft coupled with an Earth-orbiting satellite that provides the arrival of X-ray pulses at Earth. (In the last decade, there has been an average of several such satellites in orbit at any given time.)

X射线脉冲星导航（NASA，1981）

脉冲星导航新技术？“新壶装老酒！”

Millisecond Pulsars: Nature's Most Stable Clocks



利用脉冲星的超稳定时钟来实现高精度时间定位

时 ⟷ 空

宇宙灯塔！

天然的GPS卫星！

esa

Feasibility Study for a Spacecraft Navigation System relying on Pulsar Timing Information

Summary: the authors of this study believe that the complexity involved for autonomous positioning at the spacecraft is rather involved. Although pulsar positioning has been shown to be theoretically possible, issues of complexity and latency in obtaining position estimates cannot be met for *small* spacecraft capable of *fast* autonomous positioning. Rather, such a positioning system appears more suitable for large spacecraft or for hub stations providing telecommunication and location services to smaller spacecraft.

ACT Researcher(s): Torsten Bondo, Andreas Rathke

Contacts:

Josep Sala
Tel: +34-93-4015894
Fax: +34-93-4016447
e-mail: alvarez@gps.tsc.upc.es

Leopold Summerer
Tel: +31(0)71565 – 5174
Fax: +31(0)71565 – 8018
e-mail: act@esa.int

Available on the ACT website
http://www.esa.int/act

Ariadna ID: 03/4202
Study Duration: 2 months
Contract Number: 18148/04/NL/MV

对小型卫星只存在理论可行性

- 脉冲星流量低
- 探测器很难小型化
- 积分时间长
- 对卫星平台要求高等

美国国防高级研究计划局的XNAV计划

目标：

- 定位<10 m（3σ）；
- 时间稳定度到10^{-15}/yr；
- 定姿到角秒。

1）可行性论证阶段（2005年3月～2007年1月）。完成10颗以上X射线脉冲星的优选和编目，探测X射线辐射能量范围为0.1～20keV，验证脉冲星计时模型和Allan方差表达式，计算脉冲星几何精度因子。仿真分析X射线导航定位与姿态测量算法的可行性。研发具有较高的信噪比、灵敏度和时间分辨率的X射线探测器，探测辐射流量在$10^{-5}ph$ $^{-2}$ 的X射线源，读出脉冲到达时间精确度优于1ns 的X射线探测器系统以及相应的软硬件接

2）原理样机研 也面X射线识别和导航定位仿真测试， 进一步完善导航定位和姿态测量算法。设 小型化X射线探测器系统，包括X射线成像仪、光子计数器、 和原子时钟等，其重量和功耗指标要求分别为75kg和150W。此外，XNAV有效载荷系统还应包括恒星跟踪器、太阳敏感器和GPS接收机等。

不可行！

3）飞行演示验证阶段（2008年9月～2009年8月）。交付全套X射线探测器系统，安装在国际空间站上进行空间飞行试验。开展软硬件接口和环路演示验证，实际测试X射线脉冲星绝对定位、相对定位和差分定位精度指标。

2005、2006和2007财年XNAV项目研究经费预算额分别为230万、520万和920万美元

国内发展状况

- 863、自然科学基金委、科工局、中科院、总参、航天五院等多方面支持X射线脉冲星导航的研究。
- 西安测绘所，国防科技大学，西安电子科技大学，装甲兵工程学院，中科院西安光机所、授时中心、新疆天文台、高能所、上海天文台，航天五院等单位进行了相关理论和算法研究，每年都有大量论文发表；
- 五院502、508（南京大学、北方夜视）、513（西光所、空间中心），高能所，国家天文台进行了X射线探测器等的研究。
- 中科院方向性项目“脉冲星观测与导航和计时应用”（2007-2012），支持了新疆天文台、高能所和授时中心的相关研究工作。
- 北斗二代导航系统支持了脉冲星导航理论、探测器研制、地面验证系统和XPNAV-1的部分工作。

脉冲星导航的重要空间试验

- 1999年，ARGOS卫星上开展USA试验

  “The use of variable celestial x-ray sources for spacecraft navigation”

- 2016年9月15日，POLAR（伽马暴偏振探测仪）随天宫二号升空。

  “基于天宫二号POLAR的脉冲星导航实验”中国科学,47,099505,2017

- 2016年11月10日，试验星XPNAV-01发射升空

- 2017年6月3日，NICER/SEXTANT发射至国际空间站，开展在轨导航试验

  “NASA test proves pulsars can function as a celestial GPS”Nature news (2018)

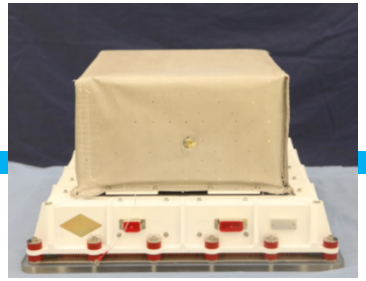
- 2017年6月15日，慧眼卫星（HXMT）发射升空，开展导航实验

In-orbit demonstration of X-ray pulsar navigation with the Insight-HXMT satellite (APJS 244, 1, 2019)





Argos卫星上的USA试验（美国，1999）

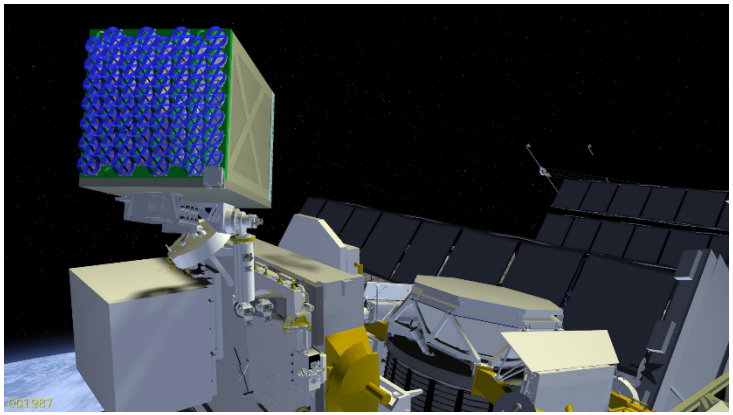




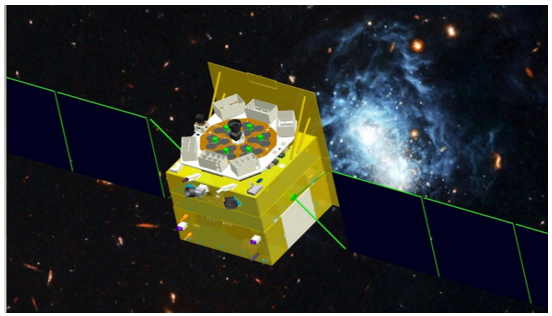
天宫二号空间实验室上，POLAR导航实验（中国，2016）



XPNAV-1
（中国，2016）



国际空间站上的NICER/SEXTANT导航试验（美国，2017）



慧眼-HXMT导航实验（中国，2017）

XPNAV-1卫星（2016.11）



轨道：500km，太阳同步轨道
重量：~240kg，其中载荷~150kg
设计寿命：1年

有效载荷：

1. 准直型微通道板探测器，探测面积为2400cm^2（有效面积~300cm^2;没有能量分辨率，暗计数和空间环境本底高）
2. 聚焦型探测器，聚焦镜头口径为17cm（有效面积~1.5cm^2； 有较好的能量分辨率，空间环境本底低）

任务目标：

- 主要目标：**解决“看得见”的问题**，观测Crab脉冲星及其他两颗稍暗的脉冲星；
- 拓展目标：看到Sco X-1等几颗亮的X射线双星；与HXMT进行差分观测。

中国再曝黑科技：将射世界首颗脉冲星导航卫星(1)

2016-10-10 10:41:02 新华网 参与评论0人

脉冲星导航，精度10米？别逗了！

徐星 发表

实事求是地说，它只是一颗X射线脉冲星计时观测实验卫星

赵铭 发表于 2016-11-03 07:31

脉冲星导航实验卫星，这是用纳税人多少个亿搭建起来的“虚构幻景”？

徐星 发表于 2016-11-03 07:31

最近，
中国将
模型以
及规划
这篇文

外媒称，10月8日恰
于11月择机发射首颗脉冲
验证脉冲星导航技术体制

编者按：

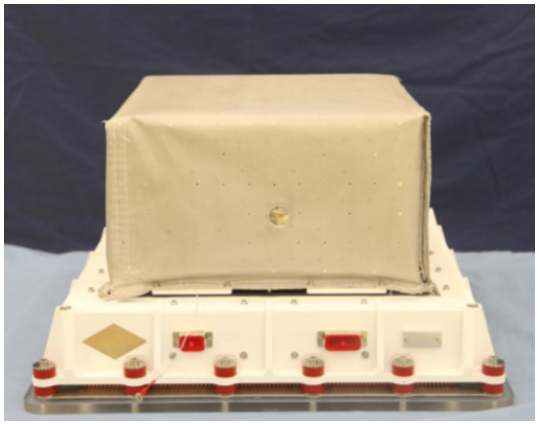
2016年10月13日，中国航天科技集团公司五院（即中国空间技术研究院）召开新闻通气会，宣布中国将于11月择机发射全球首颗脉冲星导航实验卫星（XPNAV-1）。据报道，该实验卫星将实测脉冲星发射的X射线信号，尝试验证脉冲星导航技术体系的可行性，中国科学家将从此重构时空基准。媒体的报道与网友的热捧，甚至影响了股市的走向。然而，对这个项目，也有专家持有不同的意见，更担心言过其实的报道会让激情澎湃的网友对中国科研成就产生怀疑。

10月20日，海外学者徐星在果壳网科学人刊发“脉冲星导航，精度10米？别逗了！”一文，介绍了脉冲星导航的原理，以及他对“脉冲星导航到底有多准”的见解。次日，科学人刊发对上海天文台赵铭与中科院高能物理所张双南两位专家的采

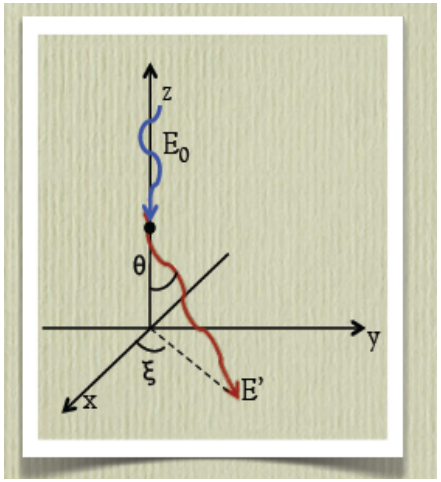
伽玛暴偏振探测仪(POLAR)

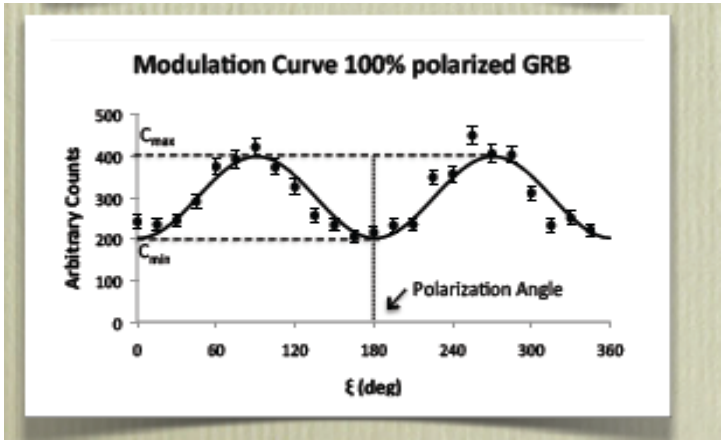
背景：TG-2项目、中欧国际合作
科学目标：测量GRB的偏振
探测能区：50~500 keV
发射：2016年9月15日







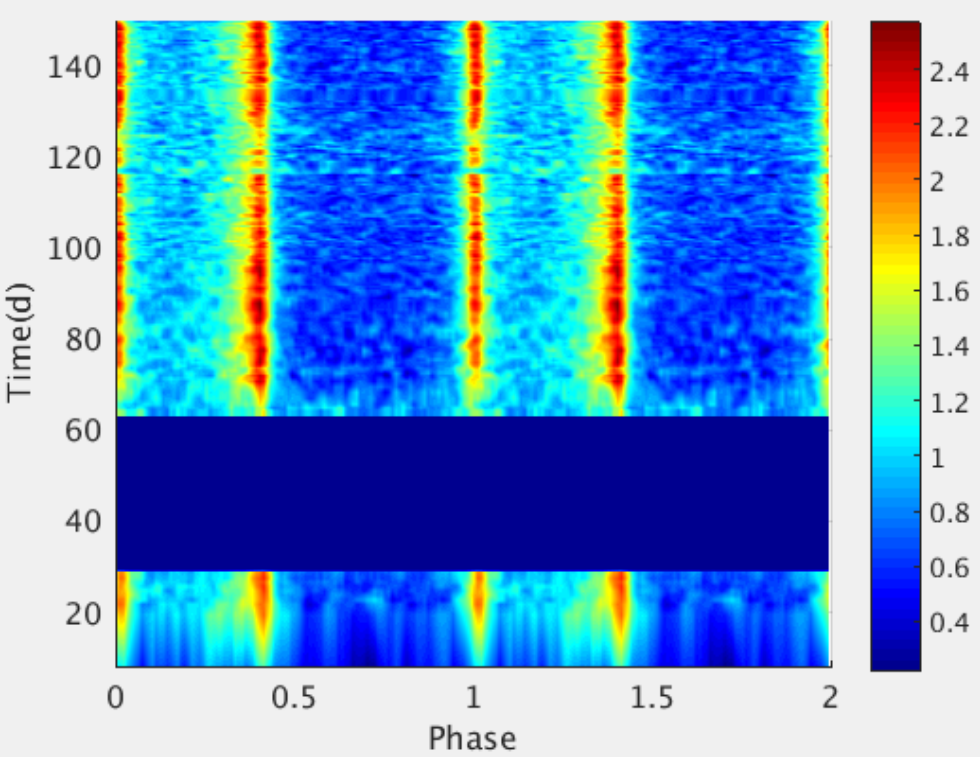




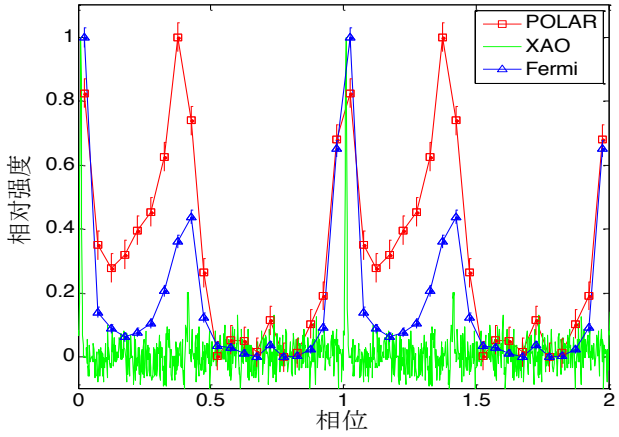
POLAR设计指标

1	探测器材料	塑料闪烁体(EJ-248M)
2	伽玛暴探测率	~100 伽玛暴/年
3	定位精度	≤5°（Fluence≥10^{-5} erg cm^{-2}）
4	能量范围	～50 - 500 keV
5	视场	超过全天的一半
6	调制因子	40%@200 keV
7	最小可测偏振度	<10%（$Fluence_{total} \geq 3 \times 10^{-5}$ erg cm^{-2}）
8	几何面积	~570 cm^2 (on-axis view)

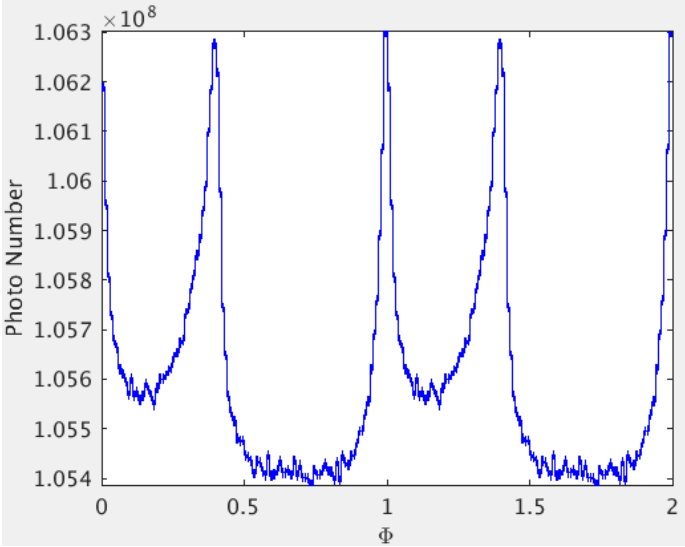
POLAR Crab脉冲星观测情况



开机时，每天大约2/3时间能够探测到有效的脉冲星信号



前20天观测数据，脉冲轮廓



120天观测数据，总脉冲轮廓

天宫二号完成了我国首次空间脉冲星导航实验

天宫二号空间实验室完成中国首次X射线脉冲星导航空间实验

原创 2017-05-13 郑世界, 张双南 SCPMA

中国科学: 物理学 力学 天文学 2017年 第47卷 第9期: 099505
SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica physcn.scichina.com
论 文
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
CrossMark click for updates

摘要 利用我国载人航天天宫二号空间实验室上的伽玛射线暴偏振探测器(POLAR)对蟹状星云脉冲星1个月的探测数据, 中国科学院高能物理研究所和空间应用中心的研究人员完成了我国首次脉冲星导航空间实验, 实现了对天宫二号的定轨, 学术论文已在《中国科学: 物理学力学天文学》第9期正式发表。该团队提出了利用Crab观测脉冲轮廓随卫星轨道变化的特性进行脉冲星导航的新方法, 通过建立天宫二号的轨道动力学模型, 实现了对天宫二号的定轨, 从而验证了所提出的方法的正确性和脉冲星导航的可行性。

基于天宫二号POLAR的脉冲星导航实验

郑世界[1,2*], 葛明玉[1,2], 韩大炜[1,2], 王文彬[3], 陈勇[1,2], 卢方军[1,2], 鲍天威[1,2], 柴军营[1,2,4,5], 董永伟[1,2], 冯旻子[1,2,4], 贺健健[1,2], 黄跃[1,2], 孔敏南[1,2], 李汉成[1,2,4], 李陆[1,2], 李正恒[1,2,4], 刘江涛[1,2], 刘鑫[1,2], 师昊礼[1,2], 宋黎明[1,2], 孙建超[1,2], 王瑞杰[1,2], 王源浩[1,2,4], 文星[1,2], 吴伯冰[1,2], 肖华林[1,2], 熊少林[1,2], 许寒晖[1,2], 徐明[1,2], 张娟[1,2], 张来宇[1,2], 张力[1,2], 张晓峰[1,2], 张永杰[1,2], 赵一[1,2,4], 张双南[1,2,4*]

1. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049;
2. 中国科学院粒子天体物理重点实验室, 北京 100049;
3. 中国科学院空间应用工程与技术中心, 北京 100094;
4. 中国科学院大学, 北京 100049;
5. 都灵理工大学电子与通讯学院, 都灵 10129, 意大利

*联系人, 郑世界, E-mail: zhengsj@ihep.ac.cn; 张双南, E-mail: zhangsn@ihep.ac.cn

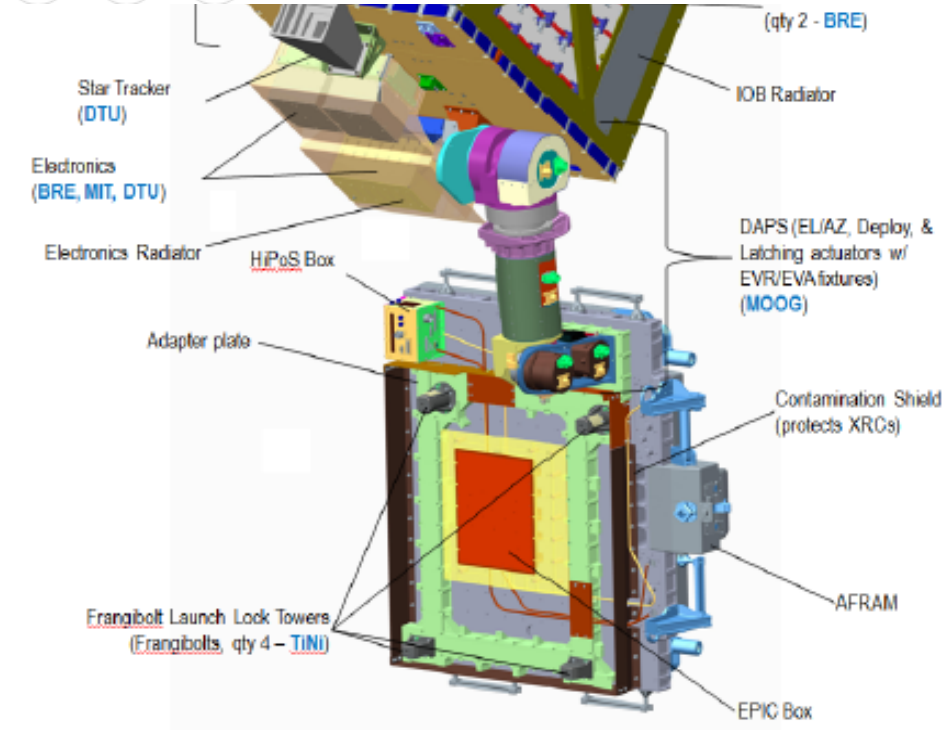
收稿日期: 2017-03-26; 接受日期: 2017-04-14; 网络出版日期: 2017-04-28

2019年7月，天宫二号空间实验室离轨之际，包括新华网等多家媒体报道了天宫二号运行1036天的多项成就中，再次提到了该次脉冲星导航实验。

NASA test proves pulsars can function as a celestial GPS 2018年

Experiment shows how spacecraft could use stellar signals to navigate in deep space without human instruction.

Alexandra Witze



- Maintains thermal-mechanical alignment

Pointing System

- Composed of high-heritage components
- Allows the XTI to track pulsars
- Slews XTI between targets

C&DH

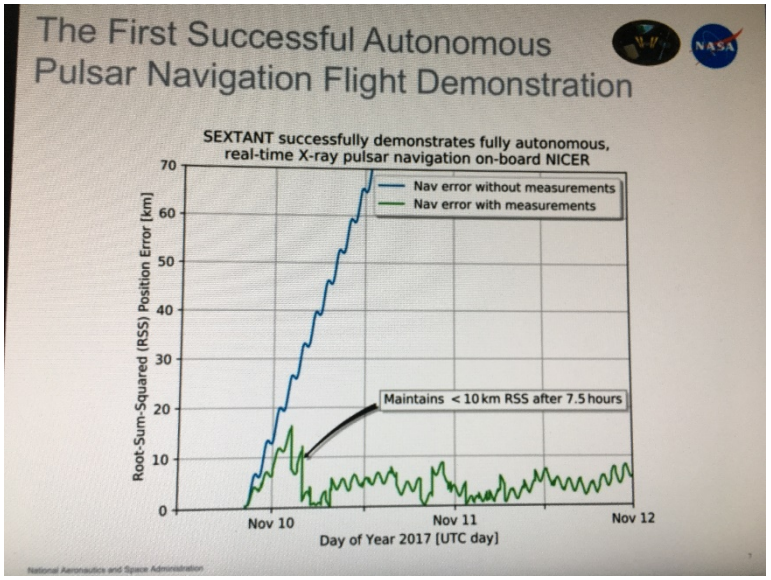
- Digital interface to ISS for commands, data
- Supports pointing system

Flight Releasable Attachment Mechanism

- Electrical & mechanical interface to ISS and transfer vehicle
- Provided by ISS program

Keith Gendreau (PI of NICER): “We think it’s a big deal. It’s a great way to apply some of our astrophysics to exploration goals that include going into the outer Solar System and beyond.”

Jason Mitchell (SEXTANT Project Manager): “This demonstration is a breakthrough for future deep space exploration. As the first to demonstrate X-ray navigation fully autonomously and in real-time in space, we are now leading the way.”



NICER的实时定位结果

The Astrophysical Journal Supplement Series, 244:1 (7pp), 2019 September https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab3718
© 2019. The American Astronomical Society. All rights reserved.

In-orbit Demonstration of X-Ray Pulsar Navigation with the *Insight-HXMT Satellite*

S. J. Zheng[1], S. N. Zhang[1,2], F. J. Lu[1,2], W. B. Wang[3], Y. Gao[3], T. P. Li[1,2,4], L. M. Song[1,2], M. Y. Ge[1], D. W. Han[1], Y. Chen[1], Y. P. Xu[1], X. L. Cao[1], C. Z. Liu[1], S. Zhang[1,2], J. L. Qu[1,2], Z. Chang[1], G. Chen[1], L. Chen[5], T. X. Chen[1], Y. B. Chen[4], Y. P. Chen[1], W. Cui[1,4], W. W. Cui[1], J. K. Deng[4], Y. W. Dong[1], Y. Y. Du[1], M. X. Fu[4], G. H. Gao[1,2], H. Gao[1,2], M. Gao[1], Y. D. Gu[1], J. Guan[1], C. Gungor[1], C. C. Guo[1,2], D. W. Han[1], W. Hu[1], Y. Huang[1], J. Huo[1], J. F. Ji[4], S. M. Jia[1,2], L. H. Jiang[1], W. C. Jiang[1], J. Jin[1], Y. J. Jin[6], B. Li[1], C. K. Li[1], G. Li[1], M. S. Li[1], W. Li[1], X. Li[1], X. B. Li[1], X. F. Li[1], Y. G. Li[1], Z. J. Li[1,2], Z. W. Li[1], X. H. Liang[1], J. Y. Liao[1], G. Q. Liu[4], H. W. Liu[1], S. Z. Liu[1], X. J. Liu[1], Y. Liu[1], Y. N. Liu[6], B. Lu[1], X. F. Lu[1], T. Luo[1], X. Ma[1], B. Meng[1], Y. Nang[1,2], J. Y. Nie[1], G Ou[1], N. Sai[1,2], R. C. Shang[4], L. Sun[1], Y. Tan[1], L. Tao[1], W. Tao[1], Y. L. Tuo[1,2], G. F. Wang[1], J. Wang[1], W. S. Wang[1], Y. S. Wang[1], X. Y. Wen[1], B. B. Wu[1], M. Wu[1], G. C. Xiao[1,2], S. L. Xiong[1], H. Xu[1], L. L. Yan[1,2], J. W. Yang[1], S. Yang[1], Y. J. Yang[1], A. M. Zhang[1], C. L. Zhang[1], C. M. Zhang[1], F. Zhang[1], H. M. Zhang[1], J. Zhang[1], Q. Zhang[1], T. Zhang[1], W. Zhang[1,2], W. C. Zhang[1], W. Z. Zhang[5], Y. Zhang[1], Y. Zhang[1,2], Y. F. Zhang[1], Y. J. Zhang[1], Z. Zhang[4], Z. Zhang[6], Z. L. Zhang[1], H. S. Zhao[1], J. L. Zhao[1], X. F. Zhao[1,2], Y. Zhu[1], Y. X. Zhu[1], and C. L. Zou[1]

[1] Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, People's Republic of China; zhengsj@ihep.ac.cn, zhangsn@ihep.ac.cn
[2] University of Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, People's Republic of China
[3] Technology and Engineering Center for Space Utilization Chinese Academy of Sciences, Beijing 10094, People's Republic of China
[4] Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, People's Republic of China
[5] Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100088, People's Republic of China
[6] Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, People's Republic of China
Received 2018 September 3; revised 2019 April 28; accepted 2019 June 11; published 2019 August 21

Abstract

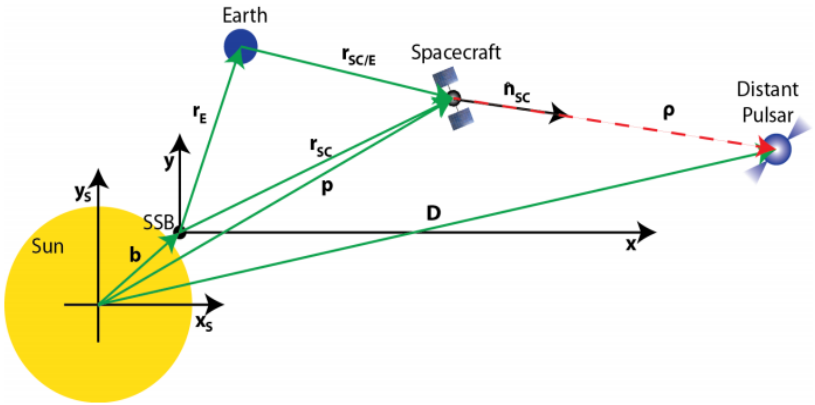
In this work, we report the in-orbit demonstration of X-ray pulsar navigation with *Insight-Hard X-ray Modulation Telescope* (*Insight-HXMT*) *Satellite*, which was launched on 2017 June 15. The new pulsar navigation method "Significance Enhancement of Pulse-profile with Orbit-dynamics" is adopted to determine the orbit with observations of only one pulsar. In this test, the Crab pulsar is chosen and observed by *Insight-HXMT* from 2017 August 31 to September 5. Using the five-day long observation data, the orbit of *Insight-HXMT* is determined successfully with the three telescopes onboard: High Energy X-ray Telescope, Medium Energy X-ray Telescope, and Low Energy X-ray Telescope, respectively. By combining all the data, the position and velocity of the *Insight-HXMT* are pinpointed to within 10 km (3σ) and 10 m s^{-1} (3σ), respectively.

Key words: stars: pulsar – techniques: miscellaneous

脉冲星导航国内外最新结果比对

核心指标	POLAR（科学院）2016.9	XPNAV-1（五院）2016.11	NICER（NASA）2017.4	HXMT（科学院）2017.6
X射线能区	50 ～ 500 keV	0. 5 ～ 10 keV	0.2～ 12 keV	1-250keV
有效探测阵面	200 cm^2	1.5 cm^2	1008cm^2 @4.5 keV 1793 cm^2 @1.5 keV	LE:300cm^2 @1keV ME:500cm^2@10keV HE:3100cm^2@30keV
时间分辨率	80ns	1. 5μs	优于100ns	LE:1ms ME:6μs HE:2μs
脉冲星观测颗数	1颗（脉冲星不是其既定目标）	1颗脉冲星	4颗毫秒脉冲星	3颗脉冲星
计时残差精度	43.697μs（3σ）（推测）	55. 94 μs（3σ）	1 μs（3σ）	30μs（3σ）
导航定位精度	13.1km（3σ）	--	＜16 km RSS 0.5天 ＜**4.82 km RSS 4天**	**<10km**
收敛时间	非实时，地面拟合	非实时、地面拟合	**实时在轨生成**	非实时，地面拟合

脉冲星导航算法



- 理想的脉冲星发出周期稳定的脉冲信号。由于太阳系质心与脉冲星之间的相对运动速度恒定不变，因此每一个脉冲达到太阳系质心的间隔都是恒定的。
- 航天器处于太阳系质心坐标系中不同位置时， 同一个脉冲达到航天器和到达太阳系质心的时间会不一样；

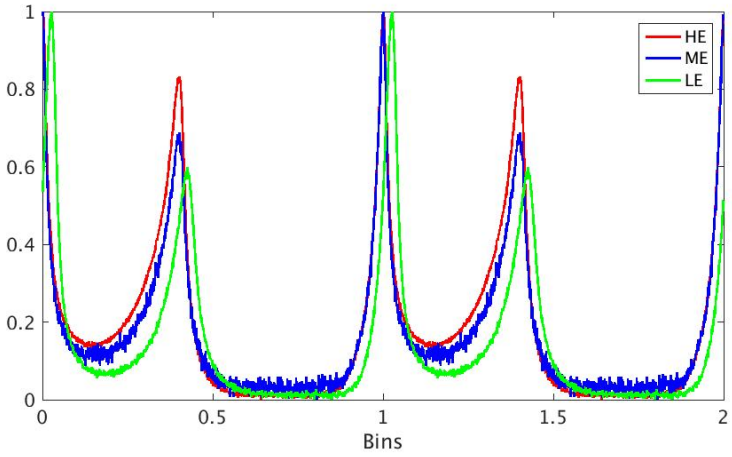
- 通过分析航天器接收到的（不同方向）脉冲星脉冲信号的特点，就可以得到航天器在太阳系质心坐标系之中的三维位置（或运动轨道）。
- 由于脉冲星的X射线脉冲信号非常弱，不可能像GPS或者北斗一样实现瞬时的导航
- 需要观测很长时间（如1000秒），才能得到一个有足够高信噪比的脉冲轮廓，因此脉冲星导航需要结合航天器的轨道模型，才能进行导航（定轨）。

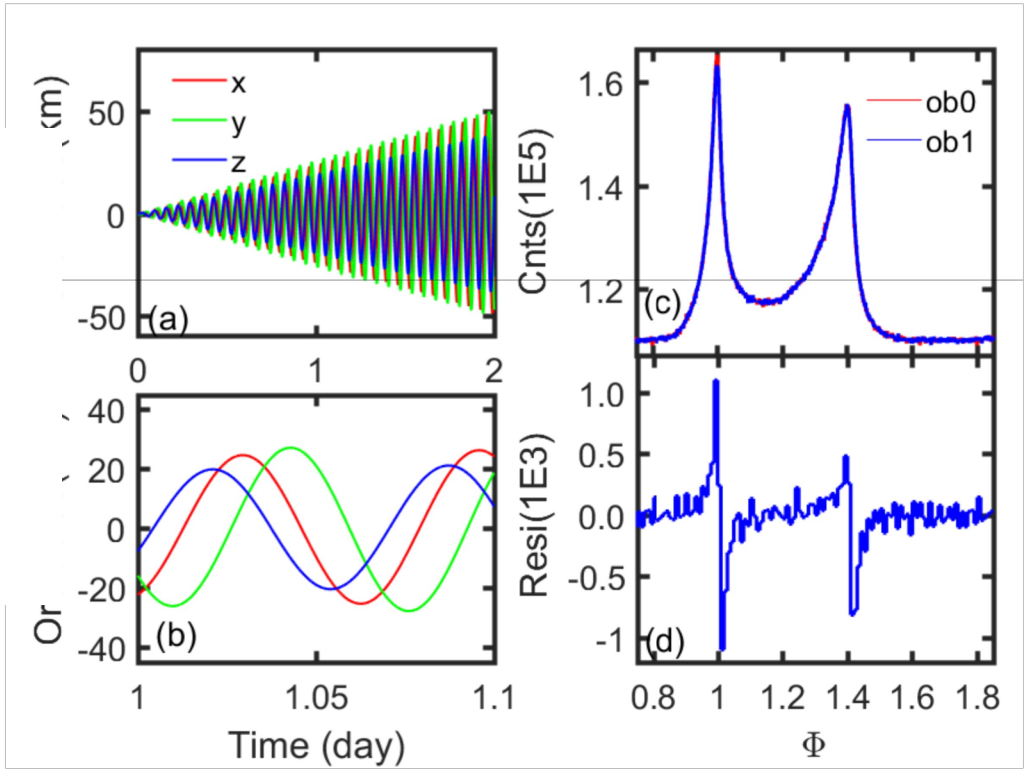
导航算法

(脉冲轮廓显著性与卫星轨道的关联分析)

定义脉冲轮廓的显著性

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(P(\phi_i) - \bar{P})^2}{\bar{P}},$$

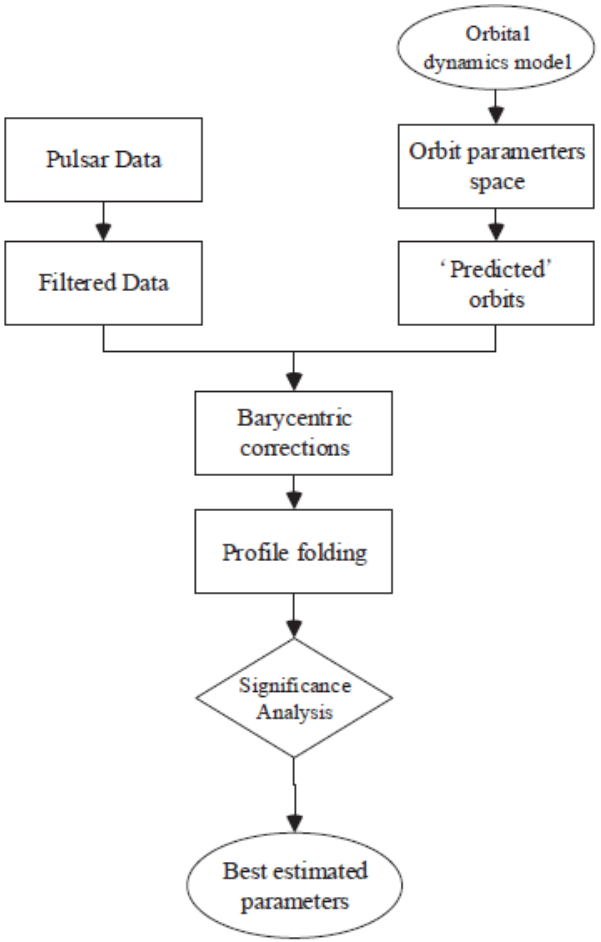




轨道发生偏移后， X^2下降了 1%
(从1.237e6 到 1.226e6)

导航算法

(脉冲轮廓显著性与卫星轨道的关联分析)



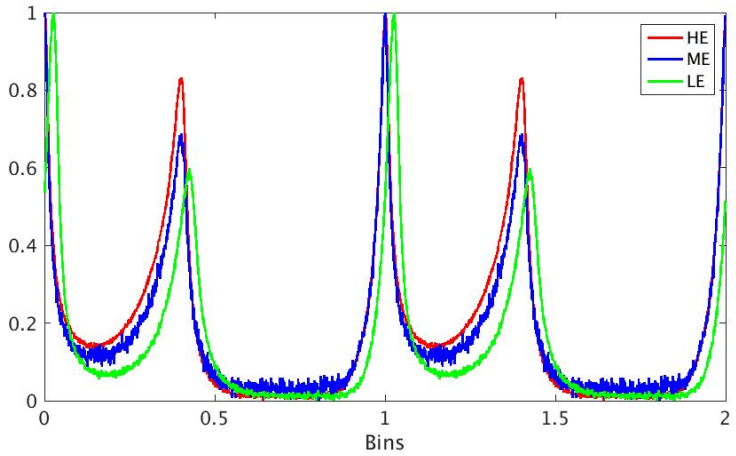
主要特点：

- 实现“单脉冲星”导航；
- 不再依赖输入的“标准轮廓”；
- 导航的“观测量”由“观测脉冲轮廓的显著性”取代了“脉冲ToA”，不受不同探测器的参数影响

导航结果分析

---基于慧眼卫星对Crab连续观测的单脉冲星定轨分析

观测时间：2017.8.31-9.4共5天



		总光子计数	探测到的Crab脉冲光子数
HXMT	HE	2.6亿	2100万
	ME	2.9亿	590万
	LE	1.0亿	720万
	合计	6.5亿	3410万

轨道参数空间：

半长轴：-200m:2m:200m

偏心率：-0.0018:0.001:0.0182

轨道倾角：-0.5°:0.5°:0.05°

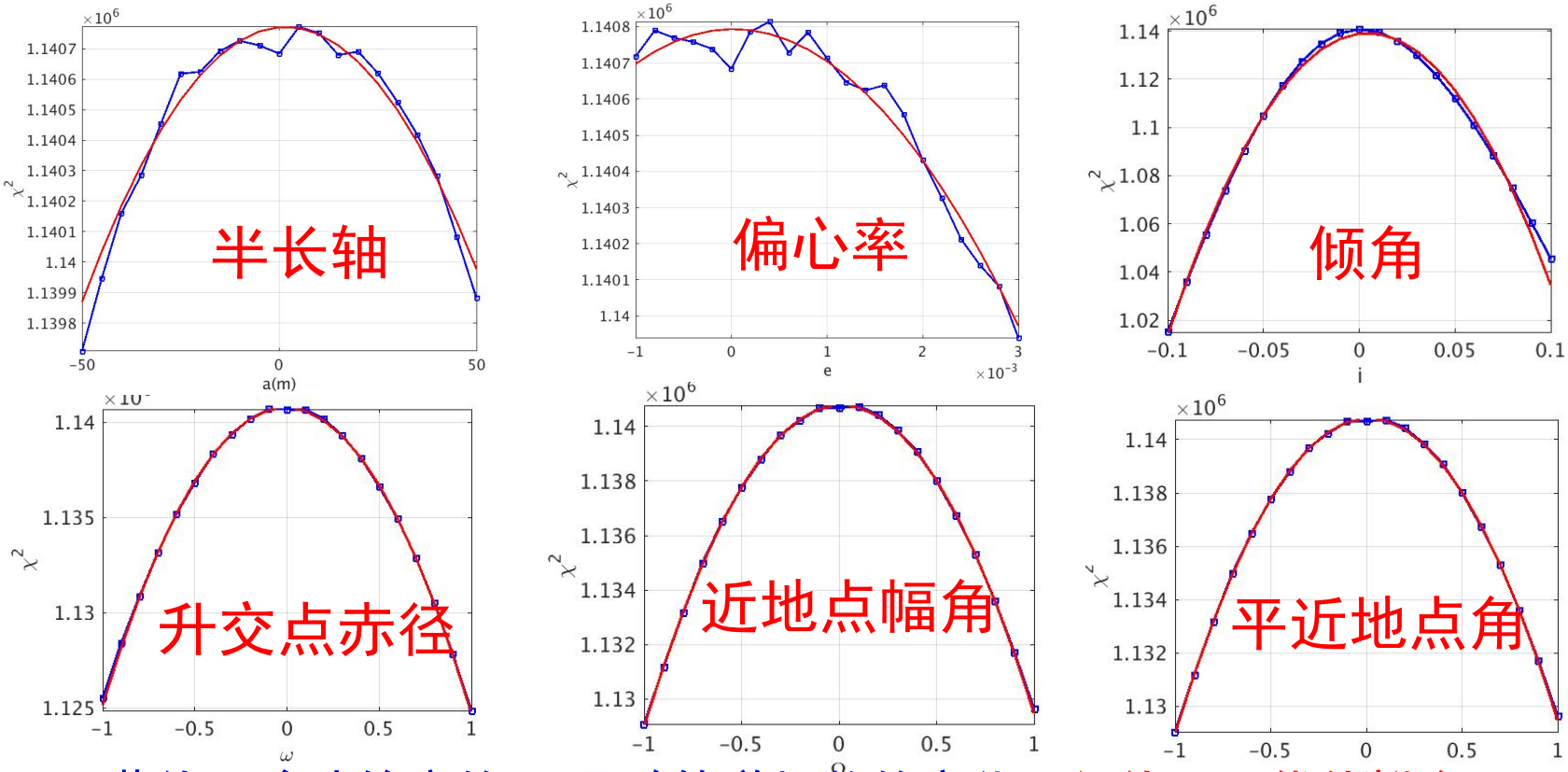
升交点赤经：-1.0°:0.1°:1.0°

近地点幅角：-1.0°:0.1°:1.0°

平近地点角：-1.0°:0.1°:1.0°

基于Crab连续观测的单脉冲星定轨分析

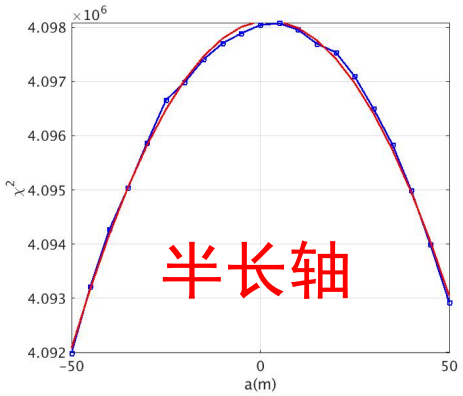
LE单独定轨结果

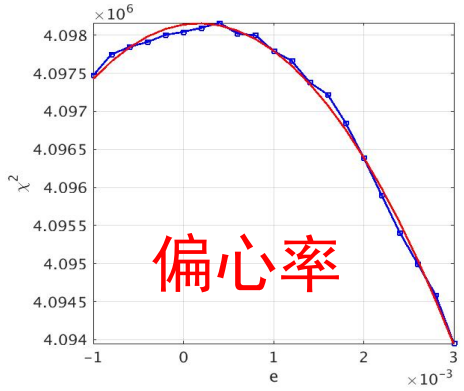


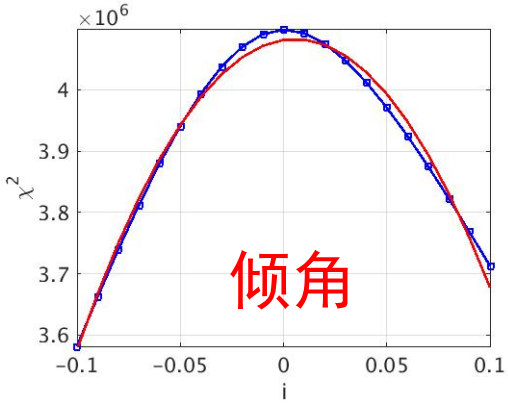
蓝线：脉冲轮廓的X^2量随轨道根数的变化　红线：最优值拟合

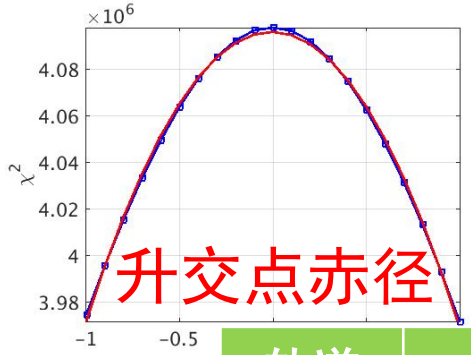
基于Crab连续观测的单脉冲星定轨分析

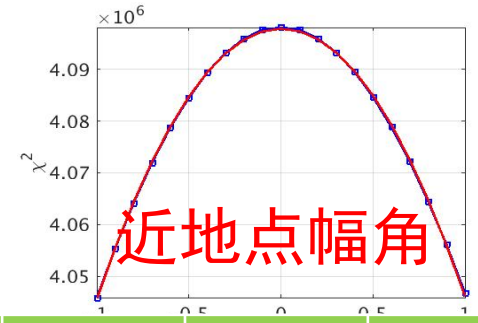
HE、ME、LE联合分析

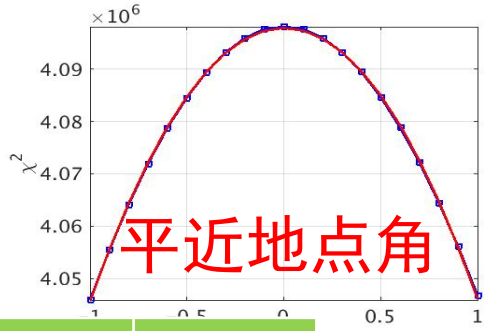












蓝线：

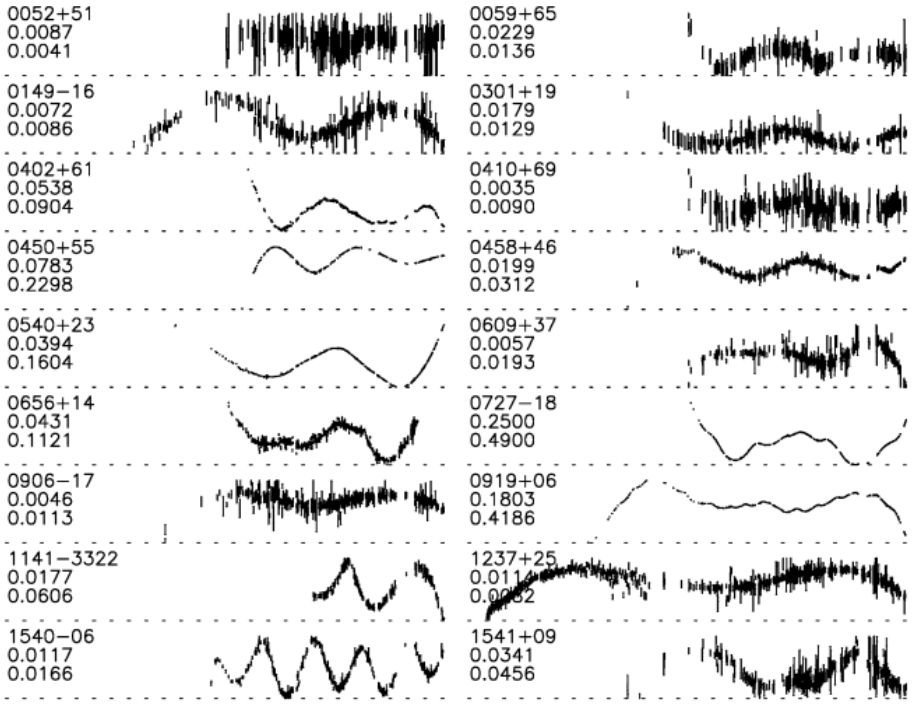
轨道参数	X（km）	Y（km）	Z（km）	Vx（m/s）	Vy（m/s）	Vz（m/s）
误差	3.2	6.6	4.5	7.3	3.3	4.2

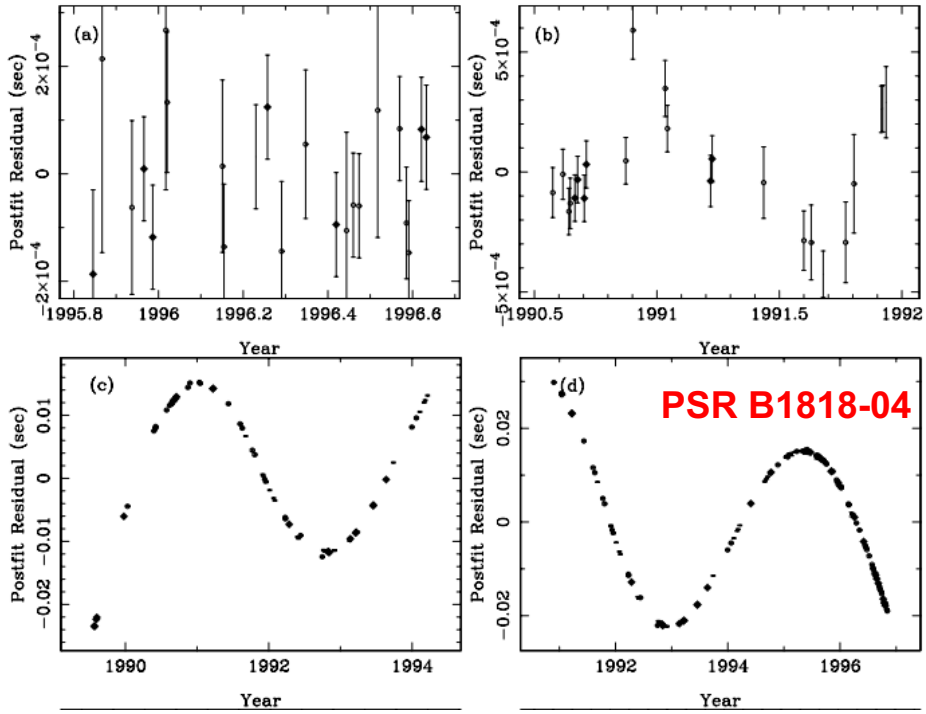
决定脉冲星导航精度的因素

- 脉冲星自转周期的稳定性（自转周期变化的规律性）
- 探测数据的信噪比

- 脉冲星**星历表的精度**（位置、自行、距离等的测量精度）
- 太阳系行星历表的精度
- 导航算法的精度以及与其他导航技术的融合使用
- 卫星轨道、平台指向稳定等

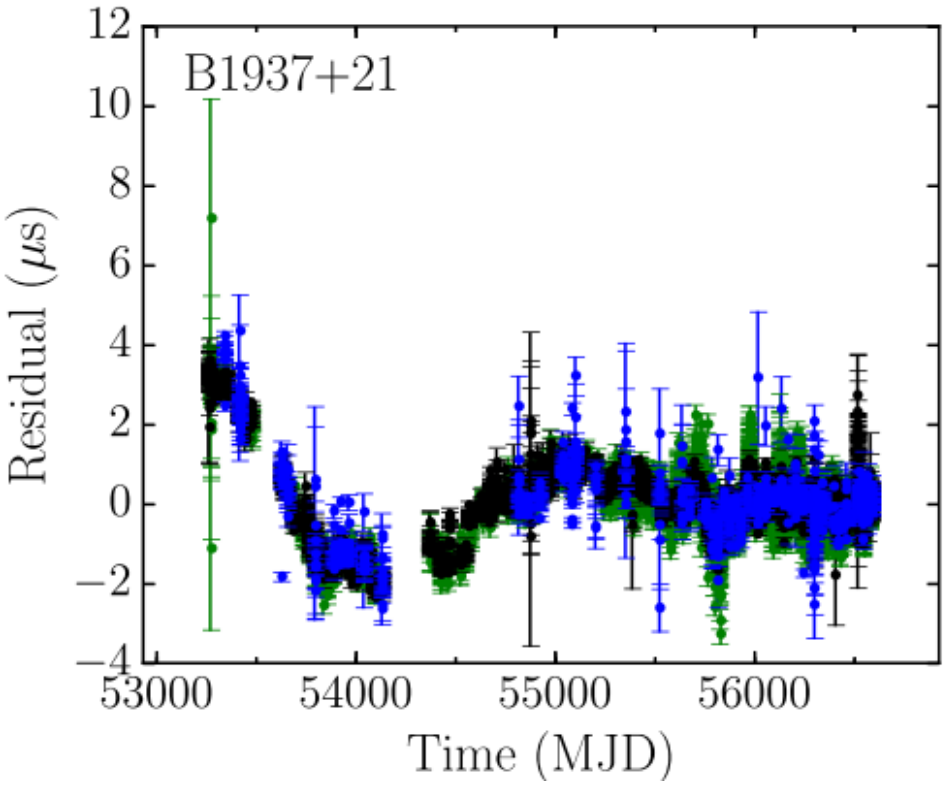
脉冲星计时噪声：与周期变化规律预言值之间的差别





（Hobbs, Lyne & Kramer 2010, MNRAS, 402, 1027 ）

计时噪声观测现状

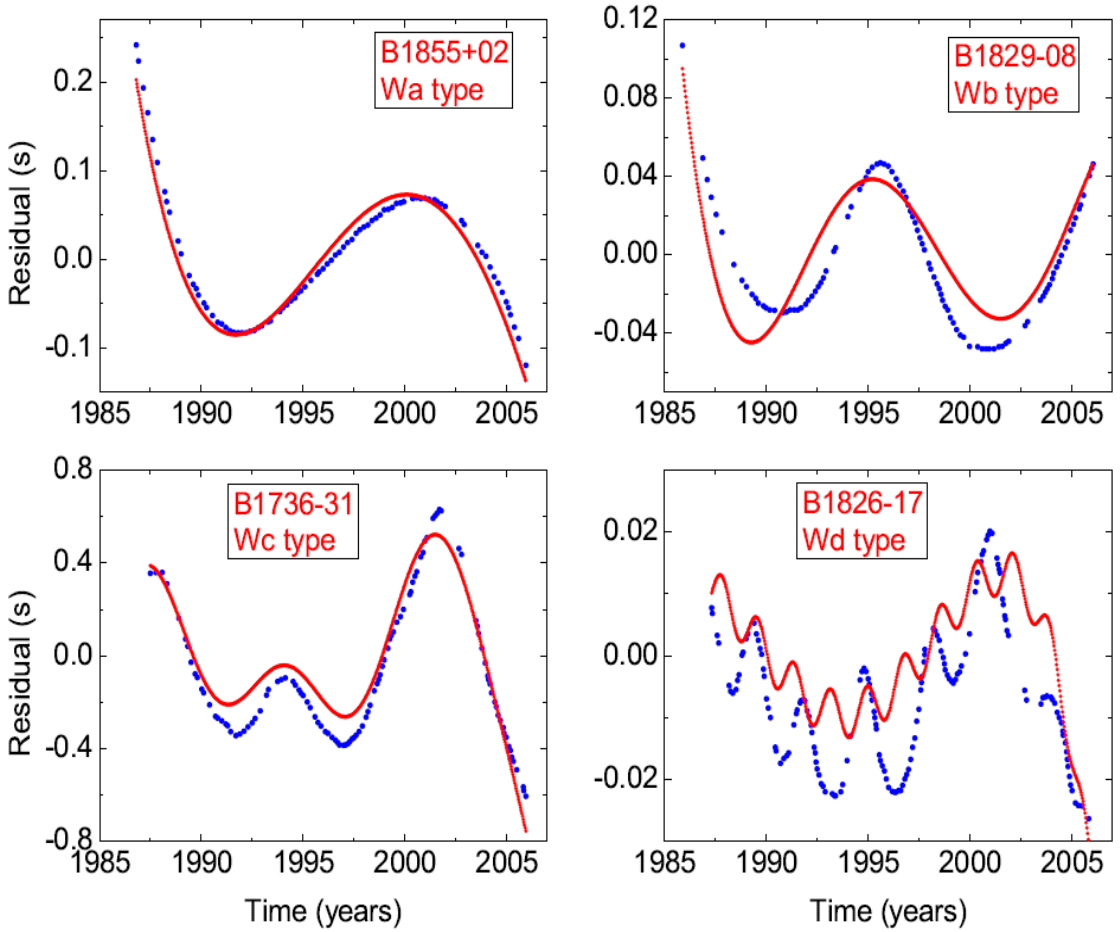


Pulsar	σ_W (μs)
J0023+0923*	5.35 ± 0.08
J0030+0451	3.22 ± 0.08
J0340+4130*	6.87 ± 0.06
J0613−0200*	2.45 ± 0.04
J0645+5158*	3.47 ± 0.04
J0931−1902*	7.80 ± 0.21
J1012+5307*	6.76 ± 0.08
J1024−0719*	5.90 ± 0.07
J1455−3330*	9.47 ± 0.11
J1600−3053[a]*	1.67 ± 0.01

即使是自转周期相对稳定的毫秒脉冲星，也存在振幅几个微秒的白噪声

(Lam et al. 2016, arXiV: 1610.01731v1)

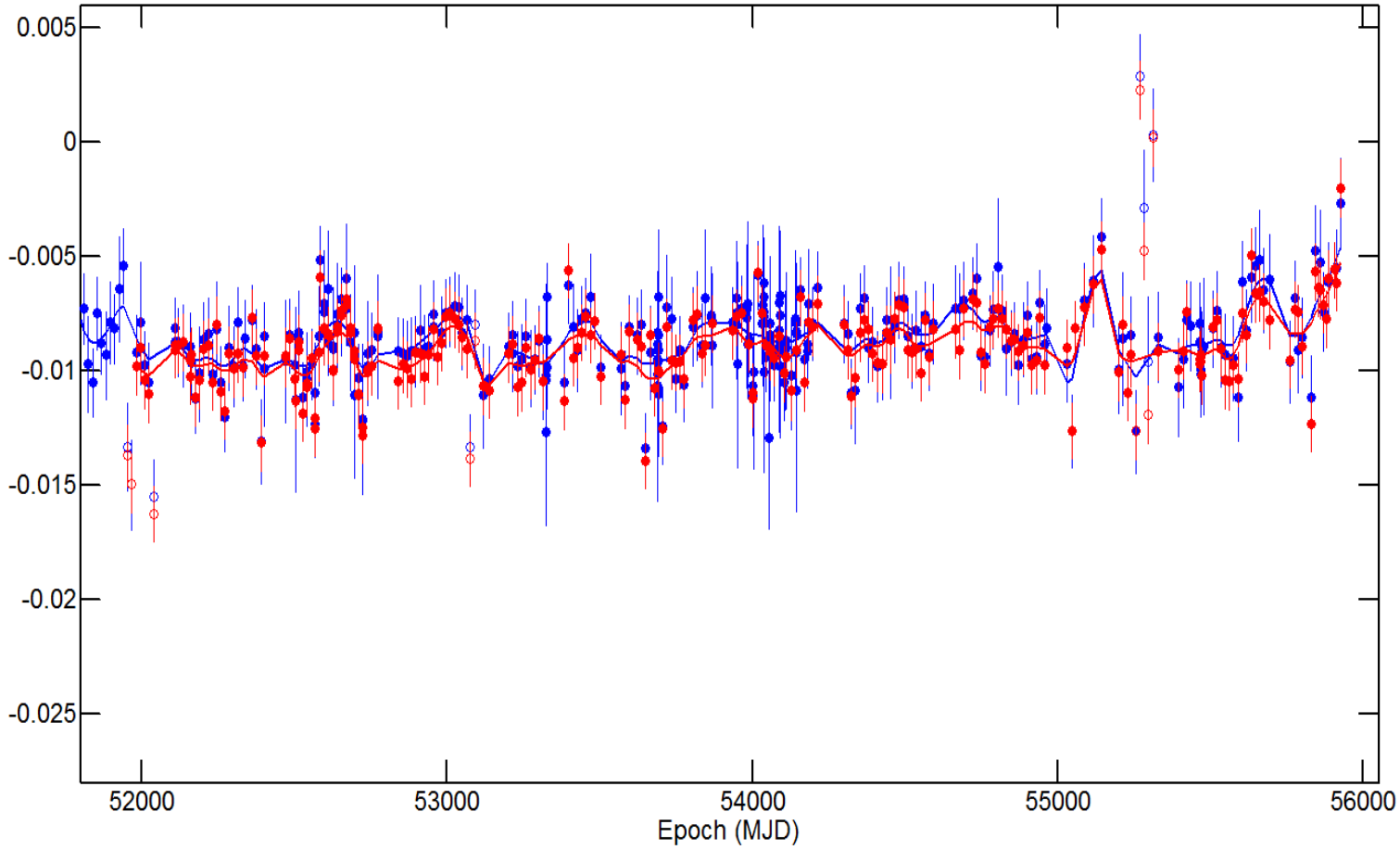
脉冲星计时噪声的研究进展



（Gao, 张双南 et al. 2016, MNRAS, 459, 402）

利用结合理论模型和已有射电观测数据，有可能较好地修正脉冲星计时噪声中的红噪声部分。对有的毫秒脉冲星，红噪声的修正精度可达微秒量级，如果对X射线脉冲星适用，理论上有望实现深空真正自主导航的亚公里级精度。

X射线和射电脉冲的关系



脉冲星X射线脉冲和射电脉冲之间的相位关系除了长期演化外，还“似乎”并不稳定，我们发现Crab脉冲星的振荡幅度达到30-100微秒，对应定位误差10-30 km（Yan et al. 2016, ApJ)。

未来的脉冲星导航？

必须从可行性迈向应用！

ESA于2018年宣布开始通过脉冲星观测校正伽利略卫星导航系统的原子钟！

on

esa

EGNOS | GALILEO | EVOLUTION | NAVISP

ESA > Our Activities > Navigation

Search here

ESA SETS CLOCK BY DISTANT SPINNING STARS



Pulsar encased in supernova bubble

24 December 2018 ESA's technical centre in the Netherlands has begun running a pulsar-based clock. The 'PulChron' system measures the passing of time using millisecond-frequency radio pulses from multiple fast-spinning neutron stars.

Operating since the end of November, this pulsar-based timing system is hosted in the Galileo Timing and Geodetic Validation Facility of ESA's ESTEC establishment, at Noordwijk in the Netherlands, and relies on ongoing observations



NAVISP

GMV

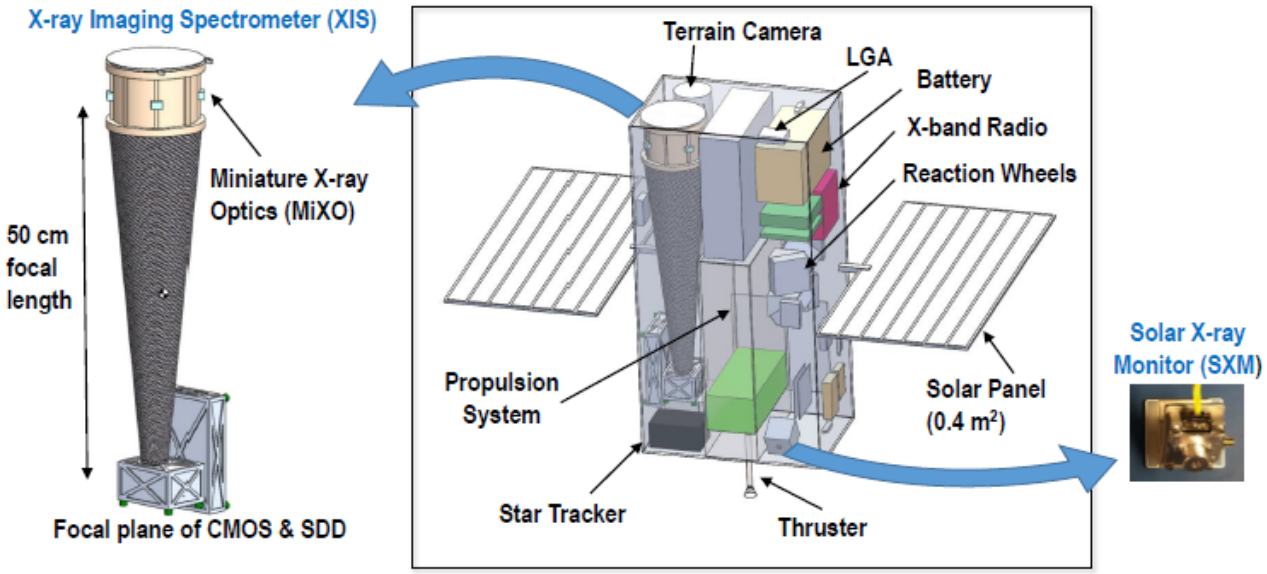
University of Manchester

National Physical Laboratory (NPL)

European Pulsar Timi Array



2019年5月29日，NASA在空间通讯上发表“NASA Navigation Tech Shows Timing Really Is Everything”，表示会将脉冲星导航技术用于“重返月球计划”以及之后的火星探测中。



CubeX（美国，2023-2027）

科学目标：

深空中的脉冲星导航实验；

通过月球荧光线研究月壳及月幔

我国也将脉冲星导航作为国家综合PNT体系的重要组成部分。

5. 综合PNT系统（北斗+）

■ 从深空到水下立体PNT信息源（个人设想）



5. 综合PNT系统（北斗+）

■ 综合PNT基础设施与终端

综合PNT基础设施

- 脉冲星探测设备与装置（-层）
- 拉格朗日点星座□（二层）□
- 高轨GNSS星座□（三层）□
- 低轨各类非GNSS星座（四层）
- 星间链路自主定轨定时（四层+）
- 量子干涉卫星网络（四层+）
- 地基无线电发射装置（五层）
- 海面信标网络（六层）
- 海底信标网络（七层）

综合PNT信息源

我国也将脉冲星导航作为国家综合PNT体系的重要组成部分。

杨长风指出，中国国家综合PNT体系建设重点可概括为“5+1+N”，“5”指5大基础设施，包括重点推进下一代北斗卫星导航系统、积极发展低轨导航增强系统、按需发展水下导航系统、大力发展惯性导航系统、积极探索脉冲星导航系统；“1”是实现1个融合发展，即加快推进北斗与以5G移动通信为代表的网络信息体系的深度融合；“N”主要是突破一系列新兴技术，包括超稳芯片级原子钟、仿生导航技术等。

“北斗”系统将发展脉冲星、量子导航等新技术

今日，中国卫星导航系统管理办公室副主任杨军在成都举行的第十一届中国卫星导航年会上展望“北斗”的未来。据介绍，中国将在2035年前建成更加泛在、更加融合、更加智能的国家综合定位导航授时体系，为未来智能化、无人化发展提供核心支撑。未来，“北斗”卫星导航系统将与人工智能、5G通信等新兴技术紧密融合，同时进一步创新，发展脉冲星及量子导航技术。（澎湃）

eXTP：聚焦极端宇宙的黑洞和中子星问题

“一奇二星三极端”：通过观测一奇二星（黑洞、中子星和夸克星）理解三极端（引力、磁场和密度）物理规律



