

美国军用卫星导航用户装备发展现状及趋势

刘栋梁, 陆 静, 郑紫霞, 张 嵩

Development status and trend of United States of America military satellite navigation user equipment

LIU Dongliang, LU Jing, ZHENG Zixia, and ZHANG Song

引用本文:

刘栋梁, 陆静, 郑紫霞, 等. 美国军用卫星导航用户装备发展现状及趋势[J]. 全球定位系统, 2022, 47(1): 121–126. DOI: [10.12265/j.gnss.2021071401](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021071401)

LIU Dongliang, LU Jing, ZHENG Zixia, et al. Development status and trend of United States of America military satellite navigation user equipment[J]. *Gnss World of China*, 2022, 47(1): 121–126. DOI: [10.12265/j.gnss.2021071401](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021071401)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021071401>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

陆基远程和超远程无线电导航系统发展现状与趋势

Development status and trend of land-based radio navigation system

全球定位系统. 2019, 44(1): 10–15

船用卫星导航接收设备国际标准分析

Analysis of International Standards for Shipborne Satellite Navigation Receiving Equipment

全球定位系统. 2018, 43(5): 129–134

《卫星导航原理》课程教学改革探索

Exploration of Teaching Reform on Principles of Satellite Navigation

全球定位系统. 2017, 42(5): 89–92

卫星导航欺骗干扰信号检测技术综述

Overview of Satellite Navigation Spoofing Signal Detection Technology

全球定位系统. 2018, 43(6): 1–7

卫星导航应用标准分析研究

Analysis and research on application standards of satellite navigation

全球定位系统. 2020, 45(3): 115–118

卫星导航增强系统建设与发展

Construction and development of satellite navigation augmentation systems

全球定位系统. 2019, 44(2): 1–12



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

美国军用卫星导航用户装备发展现状及趋势

刘栋梁, 陆静, 郑紫霞, 张嵩

(中国航天标准化研究所, 北京 100071)

摘 要: 以美国军用卫星导航用户装备为主, 对美国的 GPS 第一代、第二代、第三代典型用户装备现状进行分析, 在此基础上总结了 GPS 用户装备的发展特点, 并提出了 GPS 用户装备的发展趋势, 为我国卫星导航终端设备的研制提供了一定的参考价值。

关键词: GPS; 卫星导航; 终端; 用户装备; 发展趋势

中图分类号: P228.4

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2022)01-0121-06

0 引 言

卫星导航系统作为当前社会使用最广泛、最便捷、最有效的高精度、高实时、高可靠定位、导航和授时 (PNT) 手段, 自问世以来深刻地改变了人类社会生产生活方式, 颠覆了军事领域战争形态和作战样式。

20 世纪 90 年代初, 美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧盟的 Galileo 相继建成, 而我国的北斗卫星导航系统 (BDS) 作为当前全球四大全球卫星导航系统之一, 已经可以和美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、欧盟的 Galileo 相竞争^[1-3]。随着信息技术以及通信导航技术的发展, 终端发展愈发必要, 关于导航用户装备的研究也越来越多^[4-6], 希望能够寻求突破。

目前, 美国卫星导航用户装备已在多个领域有实际应用, 并在近年的战争中发挥了关键作用。为提高“导航战”能力, 美国不断研究并开发新的 GPS 终端设备或接收机, 把各种新技术融入设备之中, 真正做到了技术为装备服务。本文以美国军用卫星导航用户装备为主, 对 GPS 第一代、第二代、第三代典型用户装备现状进行分析, 在此基础上总结了 GPS 用户装备的发展特点, 并提出了 GPS 用户装备的发展趋势, 为我国卫星导航终端设备的研制提供了一定的参考价值。

1 GPS 用户装备现状

自 1990 年的海湾战争到目前美军的 GPS 用户装备已历经三代, 走过了从箱式整机到板卡, 再到模块的技术演变历程, 形成了脉络清晰、前后相承的装

备发展路线和具有通用化、系列化、模块化特征的简约实用的用户装备型谱。美军研制并装备过的主要用户装备及发展关系如图 1 所示^[7]。

GPS 用户装备采用装备形态与应用领域相结合的分类方式, 总体上分为单机独立应用装备 (便携或手持)、嵌入与集成应用装备、安全设备和天线系统四大类。其中单机独立应用装备和嵌入式集成应用装备为终端装备, 安全设备和天线系统为模块或芯片装备。

1.1 GPS 第一代用户装备

第一代 GPS 用户终端装备以整机为主, 均为单频接收机, 且有通道数少、体积和重量大等明显不足的问题。安全装备包括精密定位服务安全模块 (PPS-SM) 和辅助输出芯片 (AOC), 由于不具备防撬功能, 而且两个安全设备之间有明文和加密数据传输, 因此 GPS 第一代用户装备被认为是涉密装备, 其注册管理和密钥加注采用物理介质传输方式, 给勤务保障造成了极大负担。

第一代 GPS 用户终端装备实际上经历了两个发展阶段, 第一阶段是上世纪 80 年代末和 90 年代初, 图 2 为单兵便携装备 Manpack 和 SLGR, 机载高动态装备为 3A 接收机、中低动态装备为双通道接收机, 船载为 3S 接收机。第二阶段为 90 年代中后期, 单兵手持装备被第一款真正手持军用轻型精码 GPS 接收机 (PLGR) 所取代, 同时 PLGR 也是各种地面车辆的应用装备, 机载装备由功能相同, 但体积重量仅有 3A 接收机三分之一的微型机载 GPS 接收器 (MAGR) 取代, 船载装备在开发了基于 VME (VersaModule Eurocard) 总线的 GVRC 接收机卡以替换 3S 接收机中的 GPS 板卡, 实现了对 3S 接收机的升级。

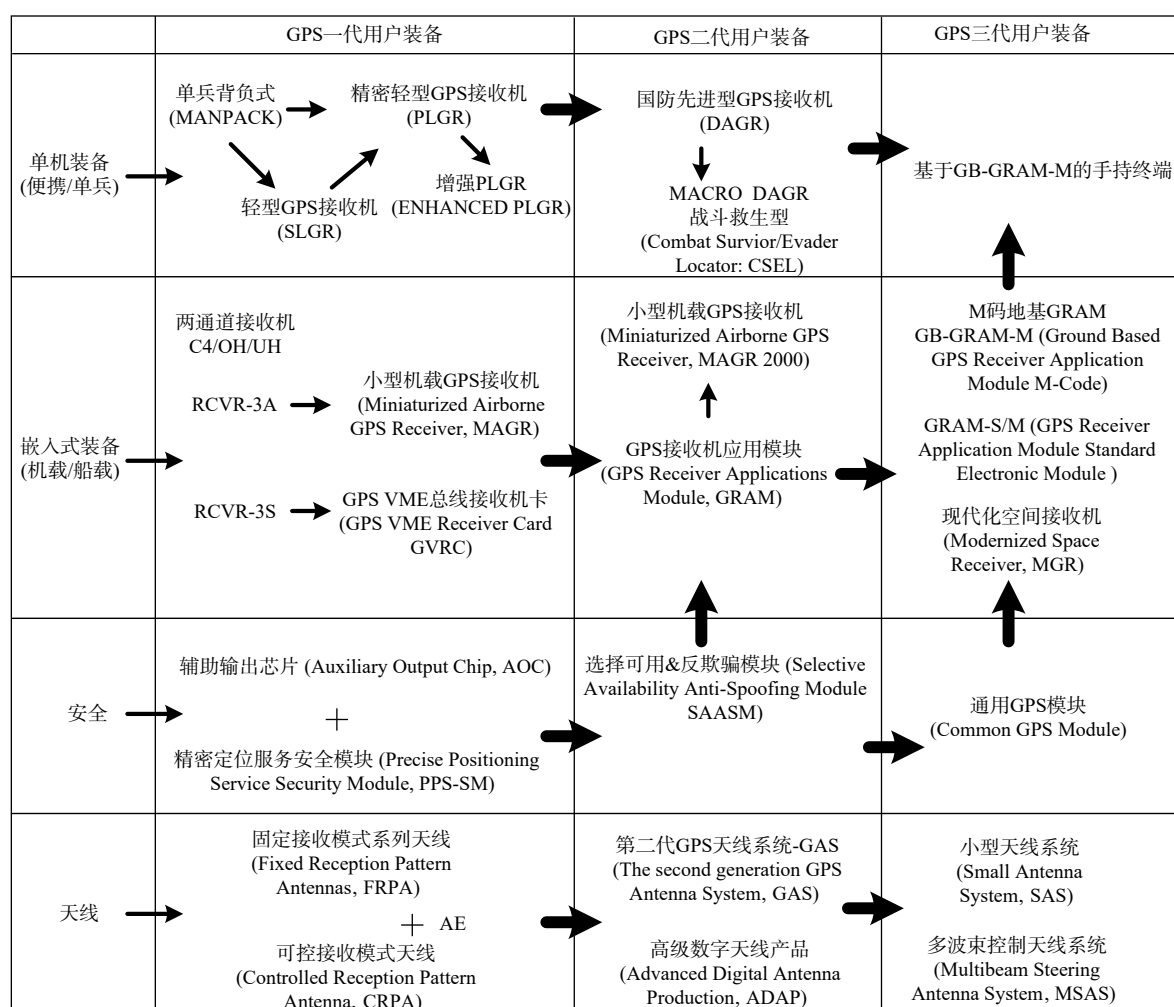


图 1 GPS 用户装备家族树



图 2 Manpack 接收机和 SLGR 接收机

1.2 GPS 第二代用户装备

第二代 GPS 用户装备采用开放式架构设计,其核心是选择可用性抗欺骗模块 (SAASM),这是新一代的 GPS 安全模块,是对第一代安全模块进行了整合,使其安全性更高,从而使 GPS 军用接收机从涉密装备变为非密装备,解决了灾难性的管理保障困难,因此成为 GPS 军用装备必不可少的核心组件,同时

也成为二代用户装备的标志。

作为型号装备,美军重点发展了单兵/车载和机载装备。手持装备 DAGR 继承了第一代手持机 PLGR 的功能特点,但体积更小、重量更轻,实现了单手操作,且首次采用了图形界面。MicroDAGR 是 DAGR 的升级版,如图 3 所示,采用了彩色图形界面,增加了摄像头、MP3 等功能,并且体积减小到适合在手腕上佩戴。CSEL 是一款战斗救生型装备,实际上它不仅具有 GPS 定位功能,还能通过通信卫星发送生还者位置并接收指令,因此是一款多卫星系统用户装备,而且还具有通过地面长波电台通信的能力,但舰载装备仍采用升级后的 3S 接收机^[7]。

1) 第二代 GPS 用户装备发展重点是嵌入式板卡,即 GPS 接收机应用模块 (GRAM)。如图 4 所示,这是一组由 GPS 联合工程办公室 (JPO) 定义和认证的 GPS 军用接收机标准板卡。



图 3 MicroDAGR 接收机

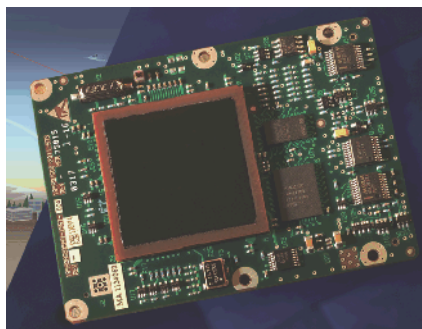


图 4 GRAM 板卡

根据美军相关政策要求,在没有获得 JPO 豁免的情况下,所有军用接收机必须基于 GRAM 进行开发,因此也标志着 GPS 装备发展从箱式向板卡的过渡。

1.3 GPS 第三代装备及美军军用装备现代化计划

根据 GPS 联合办公室于 2009 年启动军用 GPS 用户装备 (MGUE) 计划,它的目标是为已有的主用武器平台开发、集成和生产能接收 M 码的 GPS 接收机。第三代 GPS 装备首先在现有 SAASM 基础上研制安全性更好、芯片化程度更高,能提供核心的 GPS 信号处理功能的通用 GPS 模块 (CGM)^[8]。

美国军用装备现代化计划以分阶段增量发展的模式开展,总体上分为两个大的阶段,一是现代化用户设备 (MUE) 项目,二是军用 GPS 用户设备 (MGUE) 计划。

1) MUE 项目

GPS 现代化的一个最大特点就是设计了军队专用的 M 码信号,实现了军民信号的分离,从而提高军用导航信号的对抗能力。美军对 GPS 军用装备现代化的最基本要求就是能够接收和利用 M 码信号。美国空军从 2003 年就开始进行 M 码接收技术的研究,2006 年开展了 MUE 接收机卡开发项目,这一项目实质上是军用装备现代化前期的关键技术攻关,是为了

降低后续 MGUE 计划的技术和进度风险而开展的。MUE 项目 2013 年才完成,历时约 7 年,耗资近 5 亿美元。

2) MGUE 现代化计划

MGUE 计划于 2009 年正式提出,美国空军在 2011 年启动了该计划,虽然当时 MUE 项目还未最终完成,但已经进入了测试验证阶段,奠定了一定的技术基础。MGUE 计划的目的是开发具有 M 码接收能力的现代化 GPS 接收机,以满足军事需求。美国空军将 MGUE 计划分为了两个阶段来开展,即增量 1 和增量 2 两个阶段。

其中, MGUE 增量 1 是在 MUE 技术基础上进行开发,为每个兵种指定的主战武器平台提供 M 码信号接收机。此外,在增量 1 中提出并研发了计算机图形图元文件 (CGM) 和组件,作为军用终端的核心基础安全模块; MGUE 增量 2 是在增量 1 的建设成果的基础上,将开发用于较小尺寸、重量和功耗需求的板卡组件,使其成为未来军用 GPS 接收机的“引擎”,是对技术性能的进一步提升和对应用领域的进一步拓展^[9]。

2 GPS 用户装备发展特点

1) 高度重视装备安全性与密码保障能力升级

GPS 军用装备把确保安全使用作为首要前提,因此美军把 GPS 安全设施建设以及密码保障能力升级作为重点发展。综前所述,第一代安全设施包括其中 AOC 和 PPS-SM 两个芯片,由于两者完全独立,明文与密文的交互对用户可见,易于被逆向分析破解,一旦装备丢失将可能造成重大安全问题,同时对密钥分发的后勤保障难度极大。为了彻底改变军用装备安全性问题和后勤保障难题,美军研制第二代用户装备安全设施—SAASM。SAASM 是将 AOC 和 PPS-SM 两个芯片的功能进行了封装,形成一个完整的模块,该模块具有防撬功能,所有加密数据的流动均在该模块内完成,对外只提供明文数据。同时, SAASM 改变以前采用的对称密钥体制,采用非对称密钥体制,使密钥的传输可以采用公开方式进行,并且具备接收空中分钥的能力。在美军 GPS 第三代装备中, CGM 延续了 SAASM 的架构,把具备防欺骗、防撬技术的能力作为选择研发生产 CGM 工业伙伴的必要条件。

除此之外,美军每一代 GPS 用户装备不断加强选择可用性和反欺骗,高度重视抗干扰技术的研究,不断提高与抗干扰能力密切相关的天线抗干扰能力,因此安全性与密码保障能力得到极大地提高。

2) 注重装备建设的通用性

GPS 军用装备没有按照各军兵种单独发展,而是由 JPO 统管,在装备建设上尽量摆脱军兵种特色,坚持能通不专的原则,尽可能把每一型号应用范围扩大,使同一型号在不同军兵种广泛应用,减少装备型号,进而减少装备研发重复投入和技术风险,扩大每种型号的生产规模,降低生产成本。比如对于加装在飞机和舰船上的用户装备进行了最大程度上的通用性设计,美军绝大部分飞机采用 MAGR2000 接收机,舰船则主要采用 3S 接收机。

3) 不断提高模块和芯片化水平

美军 GPS 用户装备的发展道路经历了从箱式到插件,再到模块的演化过程。图 5 为 2008 年开始的 MGUE 计划,提出了以 CGM 为核心的装备建设发展思路,并基于 CGM 开展 GB-GRAM-M 和 GRAM-S/M 两种嵌入式板卡。CGM 是美军第三代 GPS 装备的核心组件,其实质是对 SAASM 模块的进一步强化,功能性能更为强大、安全性更高、体积功耗更小,集成应用更为灵活。

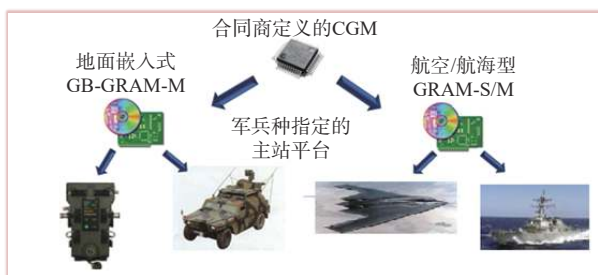


图 5 美军现代化 GPS 用户装备计划

4) 重视装备的向下兼容性

GPS 用户装备每 5~8 年进行一次较大的装备技术升级改造,约 10~15 年进行一次装备换代。GPS 用户装备在发展过程中具有高度的向后兼容性,每一次升级或换代都是在原有装备基础上的一次功能、接口的拓展和性能提升。以手持装备为例,第一代手持机 PLGR 经历了 1997 和 1999 年两次升级,2004 年第二代手持装备 DAGR 开始装备部队,第三代手持装备也将不久开始装备部队。DAGR 与 PLGR 相比提升了装备的安全性能、增加了图形用户界面和多项与作战结合的实用功能,体积重量和功耗也大幅降低;而开发中第三代手持机在 DAGR 基础上增加了 M 码的应用能力。装备的持续升级和向下兼容不仅最大限度地继承了早期的技术成果,减小了研发投入和生产成本,而且极大减轻了装备培训和维修保障难度。

5) 高度重视用户装备研制

GPS 用户装备普遍具有功能强、性能好、应用质量可靠性高的特点,受到美军及其盟军的高度认可。例如,绝大部分用户装备的平均无故障时间 (MTBF) 指标都在 15 000 h 以上,订货量最大的 GRAM 板卡超过了 20 000 h,整机、天线、板卡的质保期都达到 10 年。GPS 用户装备之所以具备如此品质与美军对装备研发阶段的高度重视密不可分。

美军新一代 GPS 用户装备从签订合同到大批量生产装备部队这个过程分为三个阶段,即需求论证、总体设计、产品设计和工程化、部队试用和装备完善,其中需求论证和总体设计在整个 GPS 用户装备研制过程中是工作量最大也是最关键的阶段,而大批量列装前的部队试用和装备完善阶段也得到高度重视。

3 GPS 用户装备发展趋势

上世纪 90 年代美军提出了 GPS 用户装备发展从箱式整机到板卡再到模块、芯片,最终到嵌入式软件的技术演化路线,并始终沿着这一路线发展,具体如图 6 所示。目前已进入到模块阶段,可以预计,未来 10 年内 GPS 用户装备发展总的技术发展趋势是向单芯片系统发展。此外,作为面向用户的装备,美军还在以下几个方面提出了装备现代化的发展需求和思路。

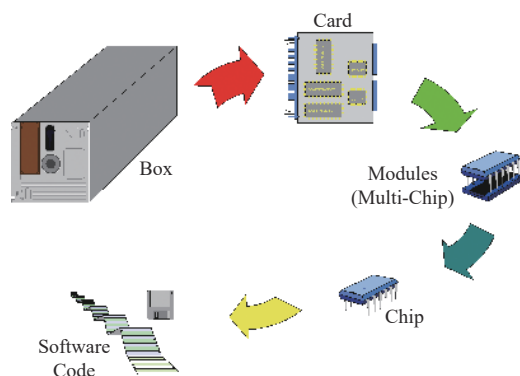


图 6 GPS 用户装备形态技术演化

1) 多 GNSS 军用接收机

开发能够接收 GNSS 系统信号的军用接收机是相关机构在对上千名一线美军士兵调研后得出的需求和建议。随着世界各大卫星导航系统建设推进,用户可接收的卫星信号越来越多,应用资源越来越丰富。相比于当前只能接收两个频点的军用信号的 GPS 用户装备而言,多 GNSS 接收机的抗干扰能力

更强,可用性更好,且定位精度更高.美军自2008年开始的MGUE计划开发的CGM模块已能够处理和应用在L1、L2两个频点上的所有军、民导航信号,下一代CGM将能够接收GPS所有信号和Galileo的E1、E2、E5信号.美军的一些专家建议,应当开发能够接收所有天基和地基PNT信号的多GNSS军用接收机.

2) 具有网络中心能力

美军认为,未来的GPS用户装备不再仅作为独立的用户装备,而且是作为具有自动上报功能的位置、时间和其他战场信息的传感器,因此未来的GPS用户装备应与现代通信技术相结合,具备丰富的通信手段和强大的通信能力.应当集成移动通信、互联网、卫星通信、Wi-Fi、蓝牙等各种无线通信能力,为每个用户装备作为网络上的一个节点.

3) 不断提高安全性与密码保障能力

美军高度重视装备的安全性,重点发展GPS安全设施建设,不断提高密码保障能力.GPS用户装备在硬件结构和密钥结构上极大提高了安全性,并通过改变GPS军用装备的管理保障模式以及相关政策法规的保障,实现对军用设备的生产、运输、加注和最终应用去向全过程的严格监管与控制.因此,将安全性作为首要前提,通过技术改革和政策保障,不断实现安全性与密码保障能力的迭代提升,是GPS用户装备的一大发展趋势.

4) 不断吸纳民用技术优势

军用装备具有安全性高、抗干扰能力强,能在复杂电磁环境下获得可靠的PNT信息,但也存在人机界面不友好,应用功能较为单一,便携性不强等缺点.因此,将先进的民用产品技术和特色融入军用产品中成为GPS用户装备的又一发展趋势.具体包括以下几个方面:一是进一步缩小装备的体积、重量和功耗,提高装备的便携性和对各种主战平台的安装适应性;二是向智能化发展,采用Windows、Android、iOS等通用的操作系统,开发友好、直观的人机界面,具备应用程序下载功能,通过软件不断丰富装备功能;三是能够实时显示三维地图数据以及谷歌、卫星影像等数据.

4 结束语

BDS作为我国研发的卫星导航定位系统,对于我国军事等领域发展具有重要意义^[10],而终端发展也十分必要.本文以美国军用卫星导航用户装备为主,对GPS第一代、第二代、第三代典型用户装备及实际应用现状进行分析,在此基础上总结GPS用户装备的发展特点,并对未来卫星导航终端装备的发展重点、最新发展计划及发展趋势进行了分析与预测,希望能够对我国BDS终端发展提供一定借鉴.

参考文献

- [1] 杨元喜.北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J].测绘学报,2010,39(1):1-6.
- [2] 冷树朋,田国辉,胡远志.GPS与伽利略卫星导航系统发展评述[J].交通企业管理,2004(12):54-55.
- [3] 徐文生.美国全球定位系统简介[J].卫星与网络,2008(8):24-27.
- [4] 黎俊明.北斗卫星导航终端的发展分析[J].信息通信,2018(3):96-97.
- [5] 高强.北斗卫星导航终端的发展分析[J].现代导航,2017(4):239-242.
- [6] 张婷,张健,董晶晶.北斗终端的现状与发展趋势浅谈[J].数字通信世界,2011(6):88-89.
- [7] 王杰华,石卫平.美国卫星导航终端装备的发展分析[J].中国航天,2009(11):31-35.
- [8] DJIGAN V I. Adaptive signal processing in multi-beam arrays[C]//The 9th East-West Design and Test Symposium, 2011. DOI: 10.1109/EWDTS.2011.6116576
- [9] KADLEC P, STUMPF M, RAIDA Z. Adaptive beam forming in time-domain[C]//International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, 2011. DOI: 10.1109/ICEAA.2011.6046359
- [10] 陈洪卿.北斗系统与中国PNT应用平台[J].电子测量与仪器学报,2010,24(12):1075-1081.

作者简介

刘栋梁 (1993—),男,硕士,工程师,研究方向为航天器总体、卫星导航等方面的标准化.

陆静 (1979—),女,硕士,研究员,研究方向为军事航天、卫星导航等方面的标准化.

Development status and trend of United States of America military satellite navigation user equipment

LIU Dongliang, LU Jing, ZHENG Zixia, ZHANG Song

(*China Aerospace Standardization Institute, Beijing 100071, China*)

Abstract: United States of America satellite navigation user equipment has been applied in many fields and has played a key role in recent wars. Focusing the United States of America military satellite navigation user equipment, this paper analyzes the current situation of the first, second and third generation of GPS user equipment, summarizes the development characteristics of GPS user equipment, and puts forward the development trend of GPS user equipment, which can be valuable reference value for the development of China's satellite navigation terminal equipment.

Keywords: GPS; satellite navigation; terminal; user equipment; development trend

(上接第 102 页)

regional, single station and combined ZTD prediction models are studied by using BP neural network, LSTM and the algorithm proposed in this paper. The prediction results of HKWS station show that the root mean square error (RMSE) of regional, single station and combined ZTD prediction models are 10.2 mm, 10.4 mm and 8.5 mm respectively, and the prediction accuracy of the combined model is improved by 17.2% and 18.4% compared with the regional model and the single station model, respectively.

Keywords: regional troposphere delay modeling; BP neural network; long-term memory network (LSTM); continuously operating reference stations (CORS); combined model