

# 基于 GAMP 的实时 PPP 软件实现及性能分析

刘 亚<sup>1,2</sup>, 何文涛<sup>1,3</sup>, 张 洁<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院微电子研究所, 北京 100029; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 杭州中科微电子有限公司, 浙江 杭州 310053)

**摘要:** 针对 GAMP 精密单点定位解算软件现阶段无法进行实时定位解算的问题, 分析和研究了软件中事后精密单点定位算法的原理和流程, 对比实时及事后精密单点定位数据来源和处理方式的不同, 结合现有的实时数据处理软件的处理方式, 在 GAMP 的基础上增加了实时数据流接收及预处理模块, 同时将卫星精密轨道及钟差的来源从事后精密星历文件转向广播星历结合实时改正数的方式。分别通过网络接收四测站卫星观测数据以及 UBLOX-F9T 模块接收数据进行实时精密单点定位可以发现, 静态实时精密单点定位精度可达厘米级, 动态可达分米级, 满足了实时定位解算需求。

**关键词:** 实时 PPP; 实时数据流; NTRIP 协议; UBLOX 协议; 组合 SSR

中图分类号: TN961; TP311

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.211514

中文引用格式: 刘亚, 何文涛, 张洁. 基于 GAMP 的实时 PPP 软件实现及性能分析[J]. 电子技术应用, 2022, 48(2): 55–59, 64.

英文引用格式: Liu Ya, He Wentao, Zhang Jie. Implementation and performance analysis of real time PPP software based on GAMP[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(2): 55–59, 64.

## Implementation and performance analysis of real time PPP software based on GAMP

Liu Ya<sup>1,2</sup>, He Wentao<sup>1,3</sup>, Zhang Jie<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. Hangzhou Zhongke Microelectronics Co., Ltd., Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that GAMP software lacks the function of real-time precise point positioning at this stage, this paper analyzes and studies the principle and process of the post precise point positioning algorithm in the software, compares the different data sources and processing methods of the real-time and post precise point positioning, and combines with the processing method of existing real-time data processing software. On the basis of GAMP, a real-time data stream receiving and preprocessing module is added. At the same time, the source of satellite precise orbit and clock bias changes from post precise ephemeris file to broadcast ephemeris combined with real-time corrections. Through the real-time precise point positioning experiment of four stations and UBLOX-F9T module, it can be found that the static real-time precision point positioning accuracy can reach centimeter level and the dynamic accuracy can reach decimeter level, which meets the needs of real-time precise point positioning.

**Key words:** real-time PPP; real-time data stream; NTRIP protocol; UBLOX protocol; combined SSR

## 0 引言

精密单点定位 (Precise Point Positioning, PPP) 利用卫星观测及导航数据, 事后精密星历等可在全球范围内实现高精度定位<sup>[1]</sup>, 相较于实时动态 (Real-Time Kinematic, RTK) 技术<sup>[2]</sup>摆脱了参考站的束缚, 可以适用于更多的测量环境。

目前事后 PPP 在函数模型以及定位解算策略上都比较成熟, 不过对于 PPP 实时化应用却显得不太稳定。现如今精密单点定位应用在各个领域, 包括卫星定位、地震监测、大气误差反演及空间环境探测等<sup>[3]</sup>。对于大部分领域的应用, PPP 的实时化必不可少, 而限制实时

PPP 性能最主要的原因就来自于精密星历。

2007 年国际全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 服务组织 (International GNSS Service, IGS) 启动了实时项目 (IGS Real-Time Pilot Project, IGS-RTPP), 2013 年 4 月 1 日起利用全球实时跟踪网采集的 GNSS 数据, 实时估计轨道及钟差改正数以空间状态表示 (State Space Representation, SSR) 形式, 通过国际海运事业无线电技术委员会标准协议 (Radio Technical Commission for Maritime services, RTCM) 编码, 基于 RTCM 网络传输协议 (Network Transport of RTCM via the Internet Protocol, NTRIP) 向全球用户播发<sup>[4]</sup>。对于实时 PPP, 可以通过广播星历结

合 SSR 改正获得实时精密星历来进行高精度定位解算<sup>[5]</sup>。目前已有的处理实时 PPP 软件有 RTKLIB<sup>[6]</sup>和 BNC<sup>[7]</sup>等, 不过在 PPP 处理策略或配置选择上没有 GAMP 软件丰富, 但是 GAMP 是事后 PPP 处理软件, 所以本文在 GAMP 软件的基础上增加了实时数据接收及处理模块, 完成了实时 PPP 软件的搭建, 验证了其处理实时数据及实时 PPP 定位解算的功能。

## 1 GAMP 软件简介

GAMP 是山东科技大学周峰博士基于 RTKLIB 精密单点定位部分编写的软件<sup>[8]</sup>, 可以在多平台下运行, 且对 RTKLIB 中很多算法进行了改进, 如周跳探测、钟跳修复以及 GLONASS 频间偏差处理等, 同时也增加了新的算法让其更加适用于精密单点定位。GAMP 软件结构或精密单点定位处理流程如图 1 所示, 图中 EOP、DCB 文件分别为地球定向参数和差分码偏差文件, atx 文件为卫星及接收机天线相位信息文件, ZTD、AMB 和 sTEC 分别表示对流层天顶总延迟、载波相位模糊度和倾斜电离层电子浓度总含量。

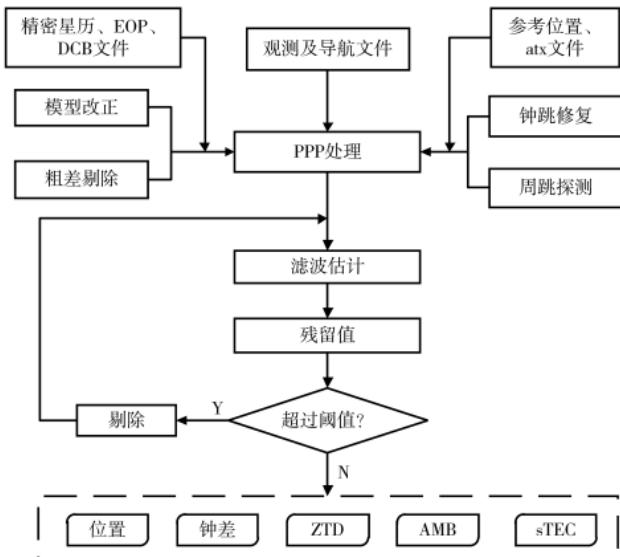


图 1 GAMP 软件精密单点定位处理流程

GAMP 进行精密单点定位处理具有较高的定位精度, 且定位稳定性较好, 同时也配备了配置文件进行 PPP 处理策略的选择, 对于从事 PPP 研究人员来说是一个更好的选择。不过从图 1 中可以看出, GAMP 适用于事后精密单点定位, 其处理数据来源于观测、导航、精密星历文件等, 所以需要增加实时数据接收及处理模块让其适用于实时 PPP 定位解算, 更加偏向于实时化应用。

## 2 实时 PPP 软件模块搭建

基于 GAMP 软件, 本研究需要搭建实时数据接收及

处理模块来实现实时 PPP 解算。首先要确定实时数据来源, 本文的实时 PPP 软件实时数据来源有两种, 分别为基于 NTRIP 协议网络播发的实时数据以及接收机串口数据。根据实验或实际应用需求对观测数据来源进行选择, 并且可以设置合适的数据采样间隔。软件实现结构如图 2 所示。

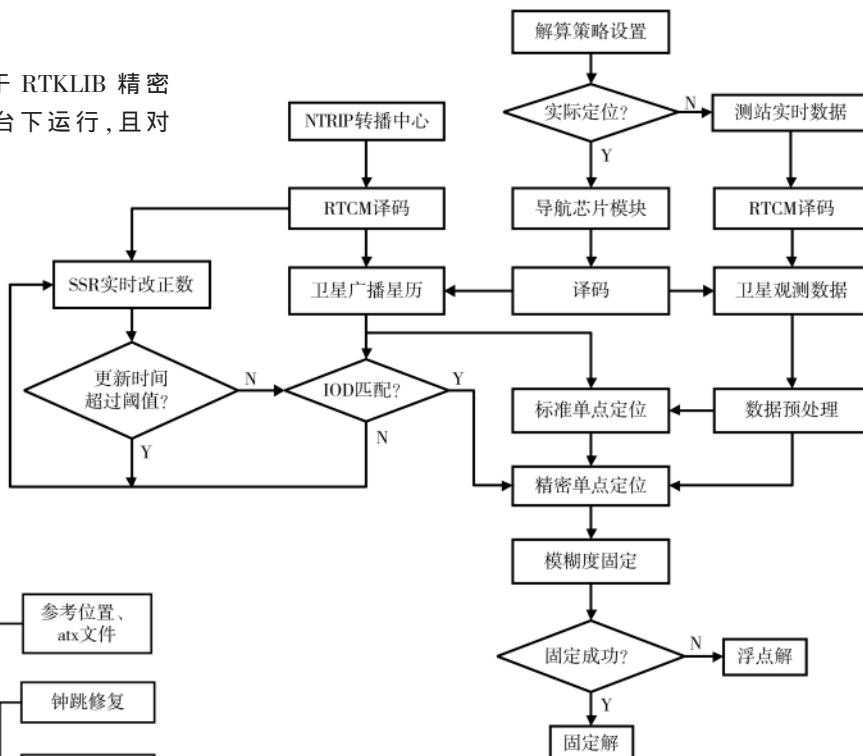


图 2 实时 PPP 软件实现结构

对于串口输入以及 UBLOX 译码, 这里不详细阐述<sup>[9]</sup>, 这是一种固定的编译码格式, 设定好串口波特率等参数来接收 UBLOX 数据进行译码。这里 UBLOX 模块结合天线外部输入提供了卫星导航以及观测数据, 为了验证实时 PPP 软件的性能, 也可以使用网络播发的各个测站的观测数据来进行测试, 这些数据来源是基于 NTRIP 协议。卫星导航、观测以及 SSR 数据等在传输中以 RTCM 格式形成数据源, 需要接收来自转播中心的实时数据然后进行 RTCM 格式译码获得所需要的信息。RTCM 格式主要是由一系列电文结构和电文内容构成<sup>[10]</sup>, 在实时处理时需要先匹配同步码, 获取到数据长度, 据此来提取整个数据段然后进行 24 位 CRC 校验, 校验成功后获取对应的信息编号进行实时数据的提取。

很显然, 实时 PPP 处理的数据并不是单一来源, 所以需要进行多线程处理, 前文中提到实时 PPP 的稳定性除了接收的卫星观测数据质量的好坏, 很大一部分来自于 SSR 信息的稳定, 因此采用组合 SSR 信息的方式尽量减小由单一 SSR 数据源长时间中断而带来的影响<sup>[11]</sup>, 详细操作流程如图 3 所示。

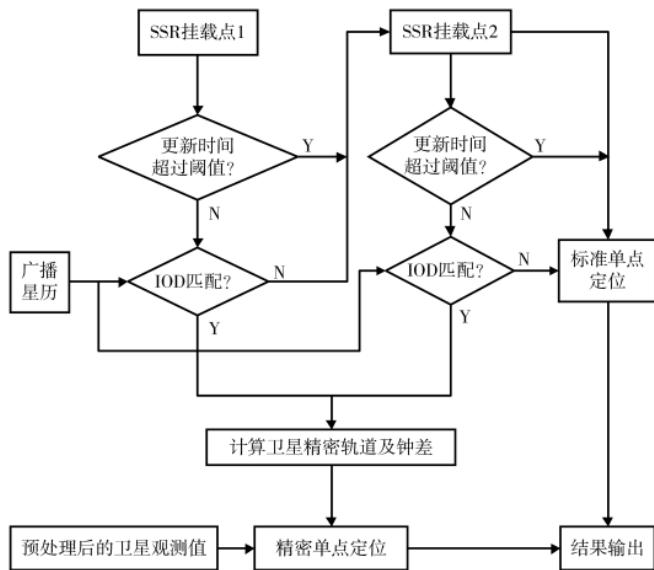


图 3 组合 SSR 挂载点操作流程

不同 SSR 挂载点数据更新频率不一样,大部分为 5 s 的更新周期,获得 SSR 改正数后结合广播星历可以计算出精密单点单位所需要的卫星精密轨道及钟差。计算步骤如下所示<sup>[12]</sup>:

(1) 计算出  $t$  时刻 RAC (Radial, Along-track and Cross-track) 坐标下的改正数:

$$[\delta O_r, \delta O_a, \delta O_c]_t =$$

$$[\delta O_r, \delta O_a, \delta O_c]_{t_0} + [\delta \dot{O}_r, \delta \dot{O}_a, \delta \dot{O}_c] \cdot (t - t_0) \quad (1)$$

其中,  $t$  为卫星轨道及钟差计算时刻,  $t_0$  为 SSR 数据更新时刻,  $\delta O_r$ 、 $\delta O_a$  和  $\delta O_c$  分别为轨道改正数径、切和法方向分量,  $\delta \dot{O}_r$ 、 $\delta \dot{O}_a$  和  $\delta \dot{O}_c$  分别为轨道改正数径、切和法方向时间变化率。

(2) 将 RAC 坐标下改正数转化为地心地固 (Earth-Centered-Earth Fixed, ECEF) 坐标下改正数:

$$R = \left[ \frac{\mathbf{v}}{|\mathbf{v}|} \times \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{|\mathbf{r} \times \mathbf{v}|}, \frac{\mathbf{v}}{|\mathbf{v}|}, \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{|\mathbf{r} \times \mathbf{v}|} \right]^T \quad (2)$$

$$[\delta x, \delta y, \delta z]_t^T = R \cdot [\delta O_r, \delta O_a, \delta O_c]_t^T \quad (3)$$

其中,  $\mathbf{r}$  和  $\mathbf{v}$  分别为广播星历所计算出的卫星位置及速度,  $R$  为转换矩阵,  $\delta x$ 、 $\delta y$  和  $\delta z$  分别为轨道改正数  $x$ 、 $y$  和  $z$  方向分量。

(3) 计算卫星精密轨道:

$$[X_{\text{prec}}, Y_{\text{prec}}, Z_{\text{prec}}]_t = [X_{\text{brd}}, Y_{\text{brd}}, Z_{\text{brd}}]_t - [\delta x, \delta y, \delta z]_t \quad (4)$$

其中,  $X_{\text{prec}}$ 、 $Y_{\text{prec}}$  和  $Z_{\text{prec}}$  为卫星精密轨道三维坐标,  $X_{\text{brd}}$ 、 $Y_{\text{brd}}$  和  $Z_{\text{brd}}$  为广播星历计算出的卫星轨道三维坐标。

(4) 计算卫星精密钟差:

$$\delta C = C_0 + C_1(t - t_0) + C_2(t - t_0)^2 \quad (5)$$

$$\delta t_{\text{prec}} = \delta t_{\text{brd}} - \frac{\delta C}{c} \quad (6)$$

其中,  $\delta C$  为实时钟差改正量,  $C_0$  为 SSR 改正数中钟差改正量,  $C_1$  和  $C_2$  分别为钟差一阶及二阶钟差变化量,  $\delta t_{\text{prec}}$

为卫星精密钟差,  $\delta t_{\text{brd}}$  为广播星历卫星钟差,  $c$  为光速。整个计算过程需要注意 SSR 改正数与广播星历数据版本号(Issue Of Data, IOD)的匹配, GPS 和 GALILEO 的 IOD 匹配可以直接进行, BDS 和 GLONASS 需要进行一定的变换<sup>[13]</sup>。

最后将实时接收的数据经过预处理后再进入精密单点定位的处理流程。数据预处理中包括对粗差探测与剔除、钟跳探测与修复以及周跳探测, 周跳探测采用比较通用的 Geometry-free 和 Melbourne-Wübbena 组合探测方式<sup>[14]</sup>。在进行精密单点定位处理时若因观测量不足或是 SSR 改正数缺失则输出标准单点定位值。程序停止的条件除了有定位时长设定之外, 当某一数据源长时间未接收新数据或是数据源连接失败都可以终止整个程序。另外, 对原先 GAMP 使用文件形式对解算策略进行配置的方式进行了改变, 统一到程序中进行配置。对一些只能用于事后 PPP 的改正文件进行了改变或去除, 如差分码偏差(Differential Code Bias, DCB)文件在实时 PPP 软件中改为使用 SSR 的码偏差数据(部分 SSR 挂载点会播发绝对码偏差数据), 但是天线相位中心改正文件保留不变, 若是可提供接收机天线型号及相关参数, 则可进行天线相位中心偏差及变化改正。软件还保留有实时 PPP 模糊度固定模块<sup>[15]</sup>, 但目前固定率未能满足要求, 所以实际应用中不会使用该模块。

### 3 IGS 测站定位性能分析

通过 NTRIP 协议可以接收到部分 IGS 测站通过网络播发的实时观测数据, 观测数据内容、采样间隔、卫星系统以及测站相关信息可通过转播中心数据源表进行查询。预先设定好实时 PPP 软件的解算策略即观测数据采样间隔为 1 s, 使用 GPS/GLONASS 双系统双频消电离层组合的方式进行 PPP 定位解算。在 2021-01-07~2021-01-12, 随机对 ABMF、CAS1、LMMF 和 ZIM2 4 个测站进行实时静态精密单点定位, 定位时长为 5 h, 三维方向的定位性能如表 1 所示(实时 PPP 三维方向定位精度及收敛时间)。

表 1 4 测站定位性能表

测站	ABMF	CAS1	LMMF	ZIM2
$E/\text{cm}$	4.93	1.03	2.96	1.94
$N/\text{cm}$	5.34	1.18	0.46	1.29
$U/\text{cm}$	3.30	1.24	5.71	5.24
收敛时间/h	1.62	0.91	0.78	1.09

注:  $E$ 、 $N$ 、 $U$  分别代表东、北、天三方向, 定位精度由后 500 历元三维定位偏差作 RMS 所得, 收敛条件是三维方向上定位偏差都小于 10 cm 且至少保持 10 min 以上。

4 测站 5 h 最终的定位精度都可以达到厘米级, 特别是 LMMF 测站,  $N$  方向可以达到毫米级。不过收敛时间有很大差异, CAS1 和 ZIM2 测站收敛时间在 1 h 左右, 而 ABMF 测站收敛时间为 1.62 h, 部分原因来自于各个

测站位置不同,可观测卫星数量级卫星构型不同。同时,从表1中可以看出,ZIM2测站历元数明显小于其他3个测站(4个测站历元数据均少于18 000),这说明在随机选择测站进行实验时,因为实时数据流通过网络进行传播,网络或是挂载点稳定性无法得到保障,所以会出现信号中断的情况。网络或数据挂载点的不稳定会影响PPP的收敛速度,实时PPP的稳定性因此也会出现波动。如果没有出现长时间的信号中断,实时PPP的定位精度可以达到预期目标。

#### 4 UBLOX-F9T 定位性能分析

为了验证实时PPP处理软件在实际应用中功能是否稳定,采用UBLOX-F9T模块进行实时静/动态PPP测试。SSR挂载点采用组合SSR形式(CLK93和SSRA00CAS0,两挂载点转播中心不同,数据有效周期设置为90 s),广播星历以及卫星观测数据来自于UBLOX-F9T模块的接收。

测试分为静态模式和动态模式,静态模式采用单GPS、GPS+GALILEO和GPS+GALILEO+BDS组合方式进行定位解算,每种方式进行3次重复实验(实验时间不同),每次持续时间为5 h,3种方式平均定位收敛时间以及定位精度如图4所示。

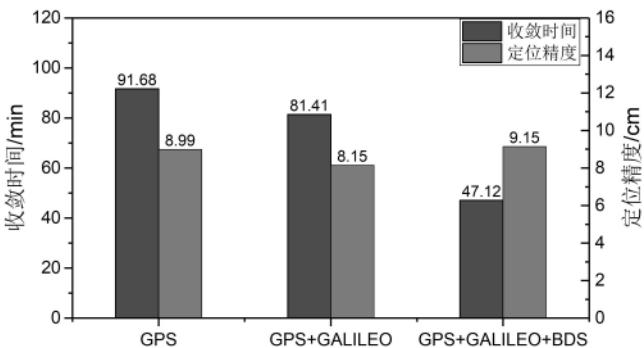
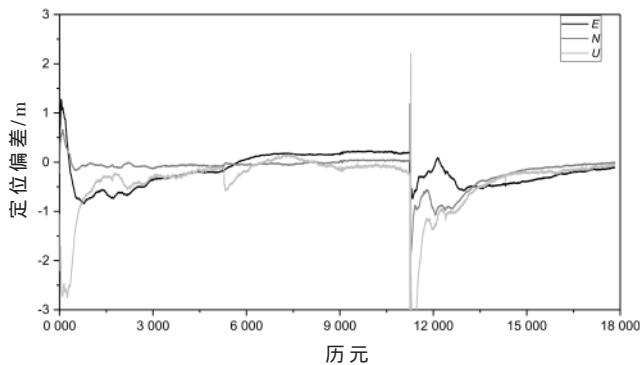


图4 静态实时PPP收敛时间及定位精度

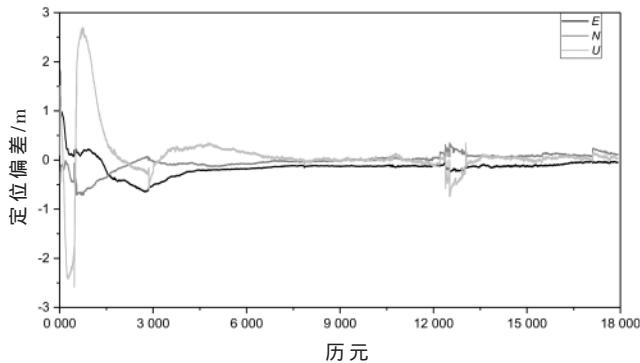
不同GNSS组合方式静态实时PPP定位收敛时间及精度不同,与单GPS系统相比,GPS+GALILEO和GPS+GALILEO+BDS系统组合在收敛时间上都有所加快,其中GPS+GALILEO组合PPP收敛时间加快11.20%,GPS+GALILEO+BDS组合PPP收敛时间加快48.60%。因为BDS实时改正数精度的限制,所以在定位精度上逊色于单GPS静态PPP。总体上3种方式静态实时PPP定位精度都在厘米级,收敛时间最快约为40 min,同时多系统组合可加快PPP定位收敛,GALILEO系统的加入也可提高静态PPP定位精度。

动态实时PPP采用GPS+GALILEO+BDS组合方式进行定位解算,进行3次重复实验,每次持续时间为5 h,定位效果如图5所示。

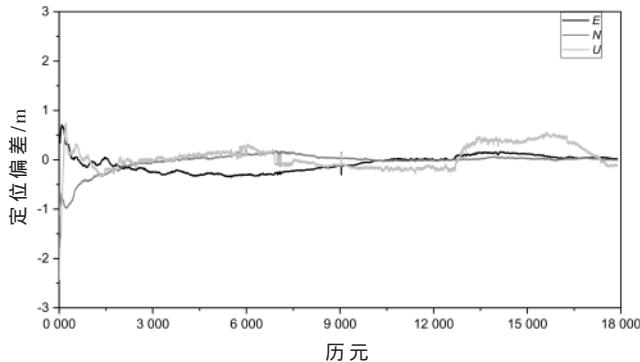
动态精密单点定位对于测量值和卫星轨道和钟差质量要求较高,应用所设计的实时PPP软件通过UBLOX模块接收数据进行实时动态PPP解算,定位精度可达到



(a) 测试1 动态实时PPP偏差



(b) 测试2 动态实时PPP偏差



(c) 测试3 动态实时PPP偏差

图5 动态实时PPP偏差

分米级,部分时间段可达厘米级,整体来看满足实时动态PPP定位需求。从图5中可以看出,动态PPP定位过程高程方向有个别定位跳动的情况,其中测试1出现定位偏离以及再收敛的过程,原因可能来自于所接收的实时改正数钟差会出现跳动和异常值,或是SSR挂载点切换时带来的钟差异常。后期需要对SSR改正数进行历元间滤波,以减小钟差异常所带来的影响。

#### 5 结论

GAMP软件在处理事后PPP上性能稳定优异,但无法应用于实时PPP解算,因此本文通过对实时PPP算法模型及系统的搭建增加了实时数据的接收及处理模块,实现了事后PPP处理向实时PPP解算的转化。通过IGS测站以及UBLOX模块接收数据进行实时PPP实验测试

发现,静态模式下实时 PPP 定位精度可达厘米级,动态模式下可达到分米级,满足了实际工程化应用。不过在实验中也发现静态 PPP 收敛时间过长以及动态 PPP 会因 SSR 改正数异常问题定位出现偏离,后期会优化 PPP 算法,同时进行不同分析中心 SSR 改正数历元间滤波算法研究,增加组合 SSR 滤波模块,减少挂载点切换时对动态 PPP 所带来的影响。

#### 参考文献

- [1] ZUMBERGE J F, HEFLIN M B, JEFFERSON D C, et al. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1997, 102(4): 5005–5017.
- [2] 袁正午, 何格格. 一种高精度的 GPS-RTK 定位技术设计与实现[J]. 电子技术应用, 2018, 44(6): 63–67.
- [3] 张翠英, 赵兴旺. GNSS 观测值统一表达及组合 PPP 解算性能分析[J]. 测绘科学技术学报, 2017, 34(1): 10–14, 18.
- [4] CAISSY M, AGROTIS L, WEBER G, et al. The international

(上接第 54 页)

距逐渐拉开,这是由于贪婪算法没有考虑 D2D 对受到的干扰,故用户数量增加时同频干扰的影响会更严重。除此之外改进后算法在系统和速率上也有一定的提升,充分说明了优先级序列在帮助联盟博弈提高系统性能上的有效性和可行性。

#### 4 结论

在 SCMA 多址下,由于蜂窝用户和 D2D 对共享相同频谱资源,二者间存在同频干扰,本文要解决的就是通过合理的 SCMA 码本分配,在控制干扰的同时有效提高系统和速率的问题。为便于计算将资源分配问题转化为联盟博弈进行求解,在单小区蜂窝下行链路场景中,建立联盟博弈模型和目标函数。而后针对传统联盟博弈算法中存在的收敛速度慢、算法复杂度高等问题,提出利用优先级序列指导联盟初始化和形成过程,从而在保证用户通信质量的同时降低了算法复杂度,提升了系统和速率。

#### 参考文献

- [1] 钱志鸿, 王雪. 面向 5G 通信网的 D2D 技术综述[J]. 通信学报, 2016, 37(7): 1–14.
- [2] 李少华, 覃锡忠, 贾振红, 等. 基于 QoS 的 D2D 能效优化[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(4): 1188–1193.
- [3] 邬春明, 尚恒蕾. 基于 QoS 的 D2D 资源分配算法[J]. 东北电力大学学报, 2020, 40(2): 89–95.
- [4] 孙晨, 张波. 异构蜂窝网络中功率和资源分配博弈算法研究[J]. 计算机工程, 2021, 47(10): 160–165, 173.
- [5] 汪汉新, 李鹏威. 基于遗传退火的密集 D2D 网络资源分配算法[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2020, 39(1):

GNSS real-time service[J]. GPS World, 2012, 23(6): 52–58.

- [5] 徐泽远, 李淑慧, 谢名强, 等. SSR 改正的 GLONASS/GPS 实时 PPP 性能分析[J]. 测绘科学技术学报, 2020, 37(3): 246–251.
- [6] TAKASU T. RTKLIB: an open source program package for GNSS positioning[EB/OL].[2021-03-16]. <http://www.rtklib.com/>.
- [7] WEBER G, MERVART L, STUERZE A, et al. BKG NTRIP Client(BNC) Version 2.12[M]. Frankfurt: BKG, 2016: 1–161.
- [8] ZHOU F, DONG D N, LI W W, et al. GAMP: an open-source software of multi-GNSS precise point positioning using undifferenced and uncombined observations[J]. GPS Solutions, 2018, 22(2): 33.
- [9] DONG X, CHEN W. Research and implementation of dual-frequency precise point position based on U-blox F9P[C]// 2020 5th International Conference on Computer and Com-

(下转第 64 页)

79–84.

- [6] 张达敏, 张绘娟, 闫威, 等. 异构网络中基于鸽群优化算法的 D2D 资源分配机制[J]. 控制与决策, 2020, 35(12): 2959–2967.
- [7] 徐勇军, 刘子腱, 李国权, 等. 基于 NOMA 的无线携能 D2D 通信鲁棒能效优化算法[J]. 电子与信息学报, 2021, 43(5): 1289–1297.
- [8] SULTANA A, WOUNGANG I, ANPALAGAN A, et al. Efficient resource allocation in SCMA–enabled Device–to–Device communication for 5G networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2020, 69: 5343–5354.
- [9] CHUNG K. NOMA for correlated information sources in 5G systems[J]. IEEE Communications Letters, 2020, 25: 422–426.
- [10] ZHANG M, LI D, ZHANG J, et al. Resource allocation for SCMA based D2D underlaid cellular system[C]// 2019 IEEE 2nd International Conference on Electronics Technology(ICET). Chengdu, 2019: 56–60.
- [11] Yu Xiang, Zhang Haibo, Ke Wentao. Research on resource allocation for enhancing access rate in dense D2D networks[J]. Application of Electronic Technique, 2017, 43(3): 96–99, 103.
- [12] EDMONDS J. Matroids and the greedy algorithm[J]. Mathematical Programming, 1971, 1(1): 127–136.

(收稿日期: 2021-05-07)

#### 作者简介:

陈雨洁(1997-), 通信作者, 女, 硕士研究生, 主要研究方向: D2D 通信资源分配, E-mail: 929897085@qq.com。

马彩虹(1978-), 硕士, 副教授, 主要研究方向: 网络融合。



扫码下载电子文档

学习算法,实现了一套电缆接头制作虚拟培训系统,包括理论学习、操作模拟、人员考核评估等四部分内容。该系统不仅能对电力电缆实际的工作环境、工作流程以及各种可能发生的电网事故进行虚拟仿真重建,同时还利用时空图卷积网络(ST-GCN)对受训人员进行动作识别,对照标准操作进行分析和考核,从而对出现频率较高的错误操作进行重点纠正培训。所设计的系统大幅提升了电缆接头制作的培训效率和标准化程度,降低了培训过程中的风险,使得受训人员培训能够快速熟悉作业现场环境,快速提高电缆接头制作水平。

#### 参考文献

- [1] 陈朋,张帆,乔春来,等.10 kV 柱上变压器台肘型电缆接头烧毁故障的分析[J].变压器,2020,57(7):71–74.
- [2] 莫森.交联电缆中间接头制作工艺评价系统的研究[J].计算机产品与流通,2020(2):67.
- [3] 蒋利明,许燕,易华,等.可重用电缆接头橡胶件配方研制及其实操培训考评应用[J].自动化与仪器仪表,2016(5):130–132,135.
- [4] Xu Jing,Cao Yang.Research and application of virtual training system for power safety and operation based on VR virtual reality technology[J].Think Tank Era ,2017(16):177,180.
- [5] Wang Na,Shen Li,Deng Shuping.Application of VR virtual reality in education and training of power safety production[J].Telecom Power Technologies ,2017,34(5):166–167,169.
- [6] FANG H,XIE S,TAI Y,et al.RMPE :regional multi–person pose estimation[C]//2017 IEEE International Conference on Computer Vision(ICCV) ,Venice ,Italy ,2017 :2353–2362.
- [7] CHEN Y,WANG Z,PENG Y,et al.Cascaded pyramid network for multi–person pose estimation[C]//2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition ,Salt Lake City ,UT ,USA ,2018 :7103–7112.
- [8] 董凤龙,陈虹伊,华曼磊,等.基于 Unity3D 的电力培训虚拟现实系统设计与实现[J].工业控制计算机,2019,32(9):6–8.
- [9] 李军锋,熊山,刘晓,等.VR 和 AR 技术助力电力仿真培训[J].中国电力教育,2017(2):22–27.
- [10] 祁永超,田铭兴,陈小强,等.基于 Unity3d 的变电站虚拟仿真培训系统构建[J].兰州交通大学学报,2021,40(1):53–59.
- [11] 陈酌灼,梁雪青,田纯青,等.基于移动平台变电设备增强现实系统的研究[J].中国新通信,2017,19(21):124–125.
- [12] 李兰.基于 VRML 和 Java Applet 的动态交互场景的构建[J].现代计算机,2019(27):87–90.
- [13] YAN S,XIONG Y,LIN D.Spatial temporal graph convolutional networks for skeleton–based action recognition[C]//Thirty–second AAAI Conference on Artificial Intelligence ,2018.
- [14] CAO Z,SIMON T,WEI S,et al.Realtime multi–person 2D pose estimation using part affinity fields[C]//2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) ,Honolulu ,HI ,USA ,2017 :1302–1310.
- [15] 万磊,佟鑫,盛明伟,等.Softmax 分类器深度学习图像分类方法应用综述[J].导航与控制,2019,18(6):1–9,47.

(收稿日期:2021–01–13)

#### 作者简介:

王亮(1980–),通信作者,本科,工程师,主要研究方向:电力电缆技术,E-mail:398282815@qq.com。

郭海涛(1968–),本科,工程师,主要研究方向:电力电缆技术。

齐宏斌(1974–),本科,工程师,主要研究方向:电力电缆故障测寻。



扫码下载电子文档

(上接第 59 页)

- munition Systems(ICCCS) ,2020.
- [10] 陈振,王权,秘金钟,等.新一代国际标准 RTCM V3.2 及其应用[J].导航定位学报,2014,2(4):87–93.
  - [11] 刘亚,何文涛.组合 SSR 改正数实时精密单点定位性能研究[J].微电子学与计算机,2021,38(2):14–18.
  - [12] WANG L,LI Z S,GE M R,et al.Validation and assessment of multi–GNSS real–time precise point positioning in simulated kinematic mode using IGS real–time service[J].Remote Sensing ,2018 ,10(2):337–355.
  - [13] KAMIL K,KRZYSZTOF S,TOMASZ H.Quality assessment of multi–GNSS orbits and clocks for real–time precise point positioning[J].GPS Solutions ,2018 ,22(1):1–12.

- [14] BLEWITT G.An automatic editing algorithm for GPS data[J].Geophysical Research Letters ,1990 ,17(3):199–202.

- [15] 李盼.GNSS 精密单点定位模糊度快速固定技术与方法研究[D].武汉:武汉大学,2016.

(收稿日期:2021–03–16)

#### 作者简介:

刘亚(1995–),男,硕士研究生,主要研究方向:卫星导航算法。

何文涛(1982–),男,博士,研究员,主要研究方向:卫星导航接收机信号处理算法、超大规模集成电路设计。

张洁(1995–),女,硕士研究生,主要研究方向:超大规模集成电路设计。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所