http://bhxb.buaa.edu.cn jbuaa@buaa.edu.cn
DOI: 10.13700/j.bh.1001-5965.2018.0281

基于混沌粒子群优化的北斗/GPS组合导航选星算法

王尔申[1,2,3,*]，贾超颖[1]，曲萍萍[1]，黄煜峰[1]，庞涛[1]，别玉霞[1]，姜毅[4]

（1. 沈阳航空航天大学 电子信息工程学院，沈阳 110136；2. 北京航空航天大学 电子信息工程学院，北京 100083；3. 沈阳航空航天大学 辽宁省通用航空重点实验室，沈阳 110136；4. 大连海事大学 水上智能交通行业重点实验室，大连 116026）

摘 要：全球卫星导航系统（GNSS）接收机在接收信号的过程中会受到诸如建筑物遮挡、信号干扰等因素的影响，无法得到全部可见星。为减轻多星座组合接收机的处理负担，研究利用部分可见卫星进行定位的快速选星算法，提出了一种基于混沌粒子群优化（CPSO）的北斗/GPS组合导航选星算法。首先，对当前历元时刻可见卫星进行连续编码，按照选星数目分组，每个分组视为一个粒子。然后，通过混沌映射初始化粒子种群，选取几何精度因子（GDOP）作为评价粒子优劣的适应度函数；粒子通过粒子群优化算法的速度-位移模型更新自身位置，逐渐趋近空间卫星几何分布较好的卫星组合全局最优解。最后，采集北斗/GPS实际数据对选星算法进行仿真验证和性能比较，结果表明，所提算法在选星颗数多于5颗时，单次选星耗时为遍历法选星的37.5%，选星结果的几何精度因子计算误差在0~0.6之间。该算法可适用于北斗/GPS组合导航定位不同选星颗数的情况。

关 键 词：北斗/GPS组合导航；选星；混沌粒子群优化（CPSO）；几何精度因子（GDOP）；适应度函数

中图分类号：V241.6；TN967.1

文献标识码：A **文章编号**：1001-5965(2019)02-0259-07

随着全球卫星导航系统（Global Navigation Satellite System，GNSS）的不断建设和完善，由多个系统支持的组合导航成为了可能。组合导航使得可见卫星数大大增加，获得远比单一星座更优的卫星几何结构和更多的导航冗余信号，同时也加大了接收机的信号处理负担[1-2]。此外，导航信号在传播过程中还会受到电离层延迟、对流层延迟、建筑物遮挡、电磁波干扰等因素的影响，接收机很难接收到全部可见卫星。为此，根据导航需求，在定位之前粗略判别接收机所在位置的可见卫星分布，从中选择一个卫星子集进行定位解算。通过最小化几何精度因子（Geometric Dilution of Precision，GDOP）来获得最佳卫星子集的算法称为最优选星算法；以使接收机与可见卫星构成空间体积尽可能大，选择卫星子集最佳的算法称为最大体积算法。对于单一系统，由于定位和时钟偏差，定位所需的卫星最小数目为4颗[3]，而对于组合导航，由于不同系统的时钟偏差有所

收稿日期：2018-05-17；**录用日期**：2018-06-29；**网络出版时间**：2018-07-26 19:31

网络出版地址：kns.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20180725.1854.007.html

基金项目：国家自然科学基金（61571309，61101161）；中央高校基本科研业务费专项资金（3132016317）；辽宁“百千万人才工程”；辽宁省教育厅项目（L2014059，L201716，UPRP2018198）；辽宁省高等学校优秀人才支持计划（LR2016069）

* **通信作者**. E-mail：wanges_2016@126.com

引用格式：*王尔申，贾超颖，曲萍萍，等. 基于混沌粒子群优化的北斗/GPS组合导航选星算法[J]. 北京航空航天大学学报，2019，45(2)：259-265. WANG E S，JIA C Y，QU P P，et al. BDS/GPS integrated navigation satellite selection algorithm based on chaos particle swarm optimization[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics，2019，45(2)：259-265 (in Chinese).*

http://bhxb.buaa.edu.cn

差异,用于定位的卫星数目最少为 5 颗[4]。因而,对于组合导航选星算法通常选择超过 5 颗卫星来尽可能提高定位精度。

现有的快速选星算法主要集中在 2 个方面:①从所有可见卫星中选择最佳卫星几何分布的某些可见卫星。研究者根据最优选星方案的卫星分布特点,利用卫星高度角和方位角信息实现卫星的区域划分,并对如何分配高仰角和低仰角的选星数目展开讨论[5-6]。②GDOP 的计算。GDOP 通常可看作是接收机测量误差与定位误差之间的放大倍数,是用来衡量从 m 颗可见卫星($m > n$)中选择出的 n 颗卫星子集是否具有较好的空间几何分布的重要指标。GDOP 的计算存在矩阵相乘和求逆过程,明显增加了选星的计算量。若实现快速选星,可通过求逆引理等方法简化求解 GDOP 的计算公式[7],也可以采用优化算法尽可能减少 GDOP 的计算次数[8-10],二者都能在一定程度上缩减选星耗时。2010 年,Mosavi 和 Divband[8] 提出用遗传算法(GA)实现选星,通过 GA 的快速寻优能力减少 GDOP 的计算次数。然而 GA 选星存在易陷入局部最优的问题,研究者又对算法进行大量改进,提高了算法选星结果的准确性[9-10]。但由于 GA 的计算过程需要调节的参数过多,所以在保证选星准确性的条件下,GA 选星速度也会随着可见卫星数目的增加而减慢。

与 GA 类似,粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法是一种随机寻优算法。目前该算法已经在目标跟踪、图像处理等诸多领域得到应用[11-12],但在多星座选星方面少有文献提及。本文针对 PSO 算法在组合导航选星上的应用进行研究,建立了 PSO 选星算法模型;引入混沌序列改进算法,提高选星有效性;通过实际的导航数据进行仿真实验,验证所提算法的性能。

1 混沌粒子群优化模型

在多星座组合卫星导航系统中,为了降低接收机的运算量,需要从可见的所有卫星中选出空间结构较优的一组用于定位。精度因子(DOP)常用来衡量卫星空间几何分布情况,其计算公式中存在矩阵相乘和求逆,是选星中比较耗时的运算。而 PSO 算法能够通过有限次迭代,从全部解空间中快速搜索到符合条件的目标解。因此,运用 PSO 算法的快速寻优能力,从全部可见卫星组合中快速选取空间几何分布较好的卫星组合,能够减少 DOP 的计算次数,从而减少选星的耗时。

PSO 算法是 Eberhart 和 Kennedy 通过模仿鸟类的觅食行为而产生的[13],搜索空间的个体通过比较自身所经过的最优位置和种群中其他粒子最优位置,不断调整自身速度,使其向最优解靠拢。个体被称为“粒子”,每个粒子为 d 维空间的一个点,第 i 个粒子可以表示为 $\boldsymbol{x}_i = [\boldsymbol{x}_{i1}, \boldsymbol{x}_{i2}, \cdots, \boldsymbol{x}_{id}]$,粒子在运动过程中,会根据自身经验产生个体极值 $\mathbf{pbest} = [p_{i1}, p_{i2}, \cdots, p_{id}]$,同时在种群中会产生全局极值 **gbest**,粒子通过 2 个“极值”不断调整自身位置,位置更新如式(1)所示,使其不断趋近全局最优值。第 i 个粒子的位置变化速度被表示为 $\boldsymbol{v}_i = [v_{i1}, v_{i2}, \cdots, v_{id}]$。

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 r_1(\mathbf{pbest} - \boldsymbol{x}_{id}(t)) + c_2 r_2(\mathbf{gbest} - \boldsymbol{x}_{id}(t)) \tag{1}$$

$$\boldsymbol{x}_{id}(t+1) = \boldsymbol{x}_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad i = 1,2,\cdots,N \tag{2}$$

式中:t 为当前迭代次数;N 为种群中粒子的总数;ω 为惯性权重;c_1 和 c_2 为加速常数,分别调节向 **pbest** 和 **gbest** 方向的运动速度;r_1 和 r_2 为 0 ~ 1 之间均匀分布的随机数。另外,通过设置微粒的速度范围 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 和位置范围 $[x_{\min}, x_{\max}]$,可以对粒子运动的步长进行适当的限定。

惯性权重 ω 对全局和局部搜索的平衡起到了重要作用,其值通常是从 0.9 ~ 0.4 线性递减的[14]。在迭代过程中,表达式为 $\omega = \omega_{\max} - (\omega_{\max} - \omega_{\min}) t / t_{\max}$,$\omega_{\max}$ 和 $\omega_{\min}$ 分别为最大和最小惯性权重,$t_{\max}$ 为总的迭代次数。

PSO 算法的结果容易陷入局部最优,为此引入混沌理论,提高结果的有效性。混沌搜索,即对于给定的优化函数,将变量从混沌空间映射到解空间,然后利用混沌变量进行搜索[15],可避免搜索结果陷入“局部最优”。

Logistic 映射是较为常见的混沌序列产生方法,其表达式为

$$z_{i+1} = f(z_i) = \mu z_i(1 - z_i) \quad i = 0,1,\cdots \tag{3}$$

式中:$z_i \in (0,1)$。当 $z_0 \notin \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$、$\mu = 4$ 时,Logistic 映射产生混沌序列。利用 Logistic 映射初始化均匀分布的初始粒子,能够增强 PSO 算法的稳定性[16]。

首先生成(0,1)的随机数 z_i,根据式(3)更新 z_i,然后根据公式 $x_i = x_{i\min} + z_i(x_{i\max} - x_{i\min})$,将混沌空间映射到待优化的解空间。

2 北斗/GPS 组合导航选星算法

2.1 混沌粒子群优化适应度函数

适应度函数又称为目标函数,是用来评价粒

http://bhxb.buaa.edu.cn

子优劣的重要衡量标准,适应度函数的选取直接影响算法结果的有效性。本文采用的适应度函数是各可见卫星组合的 GDOP 值,用于评价所选卫星组合的空间几何结构性能。

选星算法主要以用户与可见卫星组合的空间几何分布为衡量标准。针对用户与可见卫星组合的空间几何分布特性的表征,DOP 是应用最广泛的参数,按照 DOP 进行选星可以保证定位精度[1]。卫星导航定位系统的 DOP 可用 GDOP 与用户等效测距误差(User Equivalent Range Error, UERE)的乘积来表示,即

$$\sigma_{\mathrm{p}} = \mathrm{GDOP} \cdot \sigma_{\mathrm{UERE}} \tag{4}$$

式中:σ_{p} 为导航定位位置/时间解的精度;σ_{UERE} 为伪距测量值的标准差;GDOP 与用户到卫星的几何结构有关。从式(4)可知,当 σ_{UERE} 确定时,GDOP 越小,定位精度越高。

GDOP 可定义为协方差矩阵的迹的平方根,即

$$\mathrm{GDOP} = \sqrt{\mathrm{trace}\{(\boldsymbol{H}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{H})^{-1}\}} \tag{5}$$

式中:trace(·)表示矩阵的迹;$\boldsymbol{H}$ 为观测矩阵。假设北斗/GPS 组合导航接收机能接收到 m 颗 GPS 卫星、k 颗北斗卫星,即可产生 $m+k$ 个观测量,构成的观测矩阵为

$$\boldsymbol{H} = \begin{bmatrix} e_{\mathrm{G},1} & n_{\mathrm{G},1} & u_{\mathrm{G},1} & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{\mathrm{G},m} & n_{\mathrm{G},m} & u_{\mathrm{G},m} & 1 & 0 \\ e_{\mathrm{B},1} & n_{\mathrm{B},1} & u_{\mathrm{B},1} & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{\mathrm{B},k} & n_{\mathrm{B},k} & u_{\mathrm{B},k} & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中:(e_i, n_i, u_i)为接收机近似位置指向第 i 颗卫星单位矢量的方向余弦,下标 G 代表 GPS 星座,可见星数目为 1,2,…,m,下标 B 代表北斗星座,可见星数目为 1,2,…,k。

2.2　混沌粒子群优化选星算法设计

假设某时刻接收机接收到可见卫星总数为 n 颗,从中选取 m 颗,使其 GDOP 值尽可能小。在混沌粒子群优化(CPSO)算法选星中,每个粒子代表一种可见卫星组合,粒子的位置由 m 个元素决定,每个元素代表一颗可见卫星,CPSO 选星算法具体步骤如下:

步骤 1　可见卫星提取。根据导航电文,提取当前时刻仰角大于遮蔽角的卫星(本文中的遮蔽角取值为 5°),得到该时刻的可见卫星总数。

步骤 2　编码。对当前时刻接收机观测到的所有可见卫星进行随机排列,然后将可见卫星从 1,2,…,n 依次连续编码,编码与可见卫星一一对应。

步骤 3　生成初始种群。将 n 颗可见卫星按照每 m 颗为一组进行组合,形成 C_n^m 种可见卫星组合,每种组合方式被视为一个粒子。设定种群大小为 M,根据式(3),从 C_n^m 种可见卫星组合中混沌搜索 M 个组合,形成初始种群 $G_0 = \{\boldsymbol{x}_{0i}\}$ $(i = 1,2,\cdots,M)$;种群中第 i 个粒子表示为 $\boldsymbol{x}_{0i} = [x_{0i,1}, x_{0i,2}, \cdots, x_{0i,m}]$,$x$ 为卫星编号,m 为选星颗数;初始速度 $\boldsymbol{v}_{0i} = [v_{0i,1}, v_{0i,2}, \cdots, v_{0i,m}]$,$v$ 为卫星号的改变量,初始速度设置为[0,0,…,0]。下标"0"表示粒子经过 0 次迭代,即为初始位置和速度。

步骤 4　适应度的计算。本文采用的适应度函数是编码所对应的可见卫星组合的 GDOP,记为粒子的目标值 f_{ti} = GDOP,下标"t"为粒子经过 t 次迭代。将初始种群中的粒子依次代入适应度函数中,得出各粒子的适应度值(即 GDOP)。将种群中 GDOP 最小的粒子设置为初始种群最优位置 **gbest**,每个粒子当前的位置 $\boldsymbol{g}_{t,i}$ 为初始个体最优位置 **pbest**。

步骤 5　更新。对于每个粒子,根据式(1)和式(2)不断修正种群中粒子的位置 $\boldsymbol{x}_{ti}$ 和速度 $\boldsymbol{v}_{ti}$,分别计算新位置对应的目标值 f_{ti},并更新粒子所经过的最优位置 **pbest** 和种群最优位置 **gbest**。直到达到最大迭代次数,终止迭代。

将 CPSO 算法应用到选星过程中,需要明确 3 个量:初始化粒子种群、选取适应度函数和速度位置的更新,其基本步骤流程如图 1 所示。

在算法流程中,粒子更新时需注意 2 个关键点:①可见卫星编号为整数,因此更新过程中必须

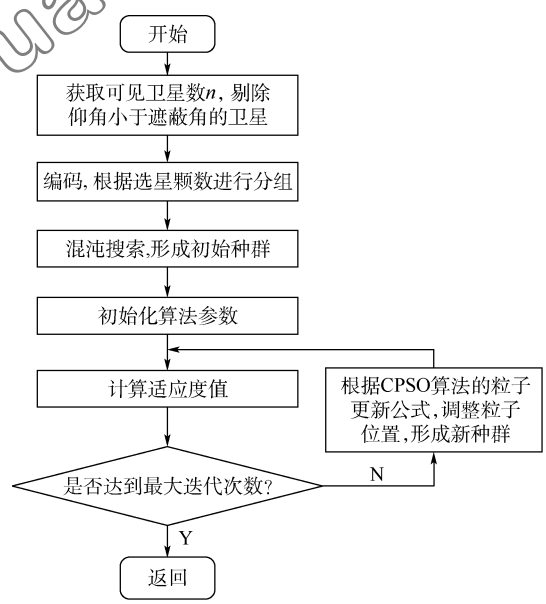


图 1　CPSO 选星算法流程

Fig. 1　Flowchart of CPSO satellite selection algorithm

http://bhxb.buaa.edu.cn

保证粒子位置中的每个元素都为整数，否则将找不到与编码对应的可见星；②选星颗数为 m 颗，如果粒子位置中的元素有相同的，选星颗数就会少于 m 颗。为了保证选星数目，每次更新都必须判断更新后的粒子位置中是否有相同元素。本文给出的解决办法是在粒子进入迭代循环后，首先判断每个粒子中是否存在相同的元素。如果存在相同元素，则对粒子中元素从小到大排序，找出相同元素的个数及位置，在与之重复的第 k 个元素值上加 k，然后返回重新判断是否有重复元素，直到该粒子中无相同元素为止。

3 仿真验证与结果分析

CPSO 选星是为了解决北斗/GPS 组合导航下选星颗数大于 5 的选星问题。本文选取北斗/GPS 接收机坐标为[-2 279 827. 315 6,5 004 704. 309 4, 3 219 776. 209 3]m，选星颗数为 6。卫星位置由导航星历计算，卫星的截止高度角设为 5°，仿真开始时间为 2016-07-31 00:00:00，仿真时长为3 h，仿真步长为 1 min。

本文将采用遍历法选星得到的 GDOP 值作为参考。假设全部可见卫星数目为 n，从中选取 m 颗可见星，有 C_n^m 种组合。所谓遍历法，就是逐个计算 C_n^m 种组合的 GDOP 值，得出 GDOP 最小值。北斗/GPS 可见卫星数目及其对应的 GDOP 最小值如图 2 所示。

由图 2 中可以看出，同一时刻，接收机接收到北斗/GPS可见卫星数目约为 18 颗，以从 18 颗可见卫星中选取6 颗为例，需要进行 $C_{18}^6 = 18\,564$ 次 GDOP 值的计算，单次选星耗时约为 4 s 左右。

按照PSO选星步骤，设定算法参数：迭代次数 MaxIt = 50，种群大小 $M = 100$，惯性权重 $\omega = 0.729\,8$，加速常数 $c_1 = c_2 = 1.496\,2$，$v_{max} = 2$。选取某一时刻进行 GDOP 值的计算，随着迭代次数的增加 GDOP 值的变化如图 3 所示。

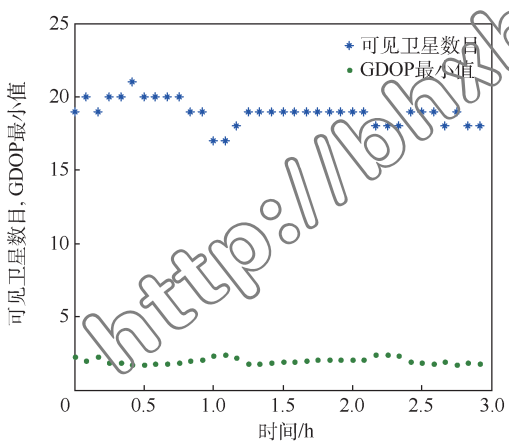


图 2 北斗/GPS 可见卫星数及对应的 GDOP 最小值

Fig. 2 Number of BDS/GPS visible satellite and their minimum GDOP

通过遍历法得出该时刻的 GDOP 最小值为 2.25。图 3 中的结果显示，PSO 算法的收敛速度很快，迭代次数在小于 15 次时就稳定在 2.34 附近，且在后续迭代过程中保持不变。很明显，PSO 算法出现“早熟”现象，即陷入局部最优解。

采用 CPSO 算法对同一时刻进行仿真实验，结果如图 4 所示。

从图 4 中可以看出，CPSO 算法同样在迭代次数低于 15 次时收敛，并有效改善了 PSO 选星算法易陷入局部最优的缺点。在迭代次数为 50 次时，耗时约为 1.5 s 左右，如果按需求适当减少迭代次数，选星耗时也会有所减少。

遍历法、PSO 和 CPSO 选星算法在相同历元的选星耗时及其对应的选星结果（最后一列数字代表卫星号）如表 1 所示。

从表 1 中数据得知，基于 PSO 和 CPSO 的选星算法在单次选星所用时间约为遍历法选星的

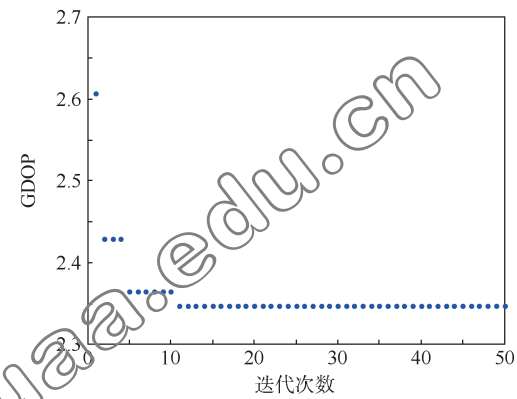


图 3 PSO 选星时 GDOP 值随迭代次数的变化

Fig. 3 Change of GDOP with iteration numbers of PSO satellite selection

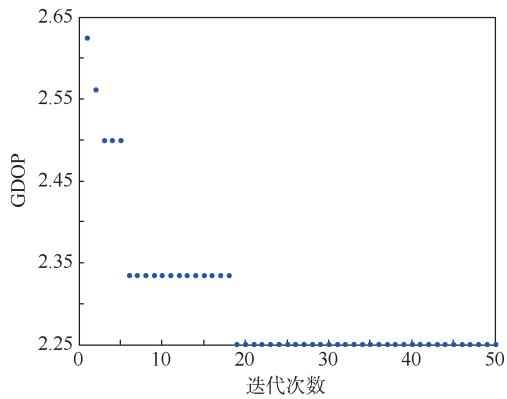


图 4 CPSO 选星时 GDOP 值随迭代次数的变化

Fig. 4 Change of GDOP with iteration numbers of CPSO satellite selection

http://bhxb.buaa.edu.cn

37.5%，但选星结果仍有偏差。为了充分验证算法性能，下面将给出仿真时长为 3 h 的 PSO 和 CPSO 选星 GDOP 计算误差，其误差定义为新算法所得到的 GDOP 值与遍历法选星所得到 GDOP 值的差值，结果如图 5 所示。

从图 5 中可知，PSO 和 CPSO 选星算法的 GDOP 计算误差均小于等于 0.6。对所得数据进行统计，CPSO 选星的 GDOP 计算误差平均值为 0.2609，方差为 0.0424；PSO 选星的 GDOP 计算误差平均值为 0.2632，方差为 0.0430。

表 1　三种选星算法性能对比

Table 1　Performance comparison of three satellite selection algorithms

选星算法	单次耗时/s	GDOP	选星结果
遍历法	4.074 824	2.251 038	92127373839
PSO	1.665 020	2.647 418	92127373842
CPSO	1.435 994	2.333 044	92127333837

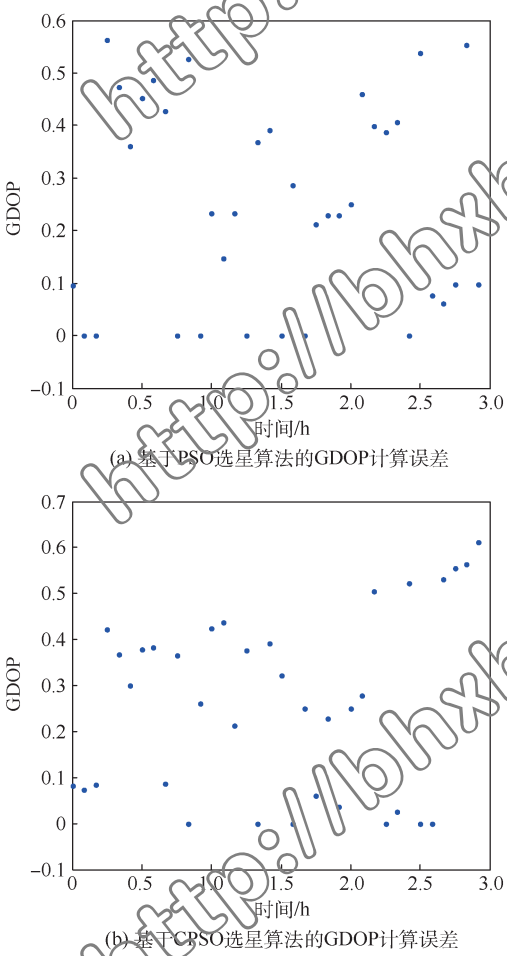


图 5　PSO 和 CPSO 选星的结果误差

Fig. 5　Result error of satellite selection by PSO and CPSO

4　结　论

本文提出了一种基于 CPSO 的北斗/GPS 组合导航选星算法，利用 CPSO 算法的快速寻优能力，减少 GDOP 的计算次数，从而实现了北斗/GPS 组合导航快速选星，通过对算法进行仿真验证，得到以下结果：

1）在北斗/GPS 组合导航下，选星颗数为 6 时，算法能够实现快速选星。该算法的单次选星时间约为 1.5 s，约为遍历法选星的 37.5%。

2）利用混沌方程初始化种群粒子能够提高选星结果的准确性。

3）PSO 和 CPSO 选星算法的 GDOP 计算误差均小于等于 0.6，二者的平均计算误差约为 0.26。

本文将 CPSO 算法应用于组合卫星导航选星过程中，为多星座组合导航快速选星问题提供了新的解决方法。

参考文献（References）

[1] 张军. 空地协同的空域监视新技术[M]. 北京：航空工业出版社，2011：36-38.
ZHANG J. Air-ground collaborative airspace surveillance[M]. Beijing：Aviation Industry Press，2011：36-38(in Chinese).

[2] 王尔申，杨福霞，庞涛，等. BDS/GPS 组合导航接收机自主完好性监测算法[J]. 北京航空航天大学学报，2018，44(4)：684-690.
WANG E S，YANG F X，PANG T，et al. BDS/GPS combined navigation receiver autonomous integrity monitoring algorithm[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics，2018，44(4)：684-690(in Chinese).

[3] ZHANG M，ZHANG J. A fast satellite selection algorithm：Beyond four satellites[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing，2009，3(5)：740-747.

[4] SWASZEK P F，HARTNETT R J，SEALS K C，et al. Multi-constellation GNSS：New bounds on DOP and a related satellite selection process[C]// Proceedings of the 29th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS + 2016). Washington，D. C.：INST Navigation，2016：228-235.

[5] 丛丽，AHMED I A，谈展中. 卫星导航几何因子的分析和仿真[J]. 电子学报，2006，34(12)：2204-2208.
CONG L，AHMED I A，TAN Z Z. Analysis and simulation of the GDOP of satellite navigation[J]. Acta Electronica Sinica，2006，34(12)：2204-2208(in Chinese).

[6] 陈灿辉，张晓林. 一种新的卫星导航系统快速选星方法[J]. 电子学报，2010，38(12)：2887-2891.
CHEN C H，ZHANG X L. A fast satellite selection approach for satellite navigation system[J]. Acta Electronica Sinica，2010，38(12)：2887-2891(in Chinese).

[7] PHATAK M S. Recursive method for optimum GPS satellite selection[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems，2001，37(2)：751-754.

[8] MOSAVI M R，DIVBAND M. Calculation of geometric dilution

http://bhxb.buaa.edu.cn

of precision using adaptive filtering technique based on evolutionary algorithms[C]// International Conference on Electrical and Control Engineering. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010: 4842-4845.

[9] 宋丹,许承东,胡春生,等. 基于遗传算法的多星座选星方法[J]. 宇航学报,2015,36(3):300-308.
SONG D, XU C D, HU C S, et al. Satellite selection with genetic algorithm under multi-constellation[J]. Journal of Astronautics, 2015, 36(3): 300-308(in Chinese).

[10] 霍航宇,张晓林. 组合卫星导航系统的快速选星方法[J]. 北京航空航天大学学报,2015,41(2):273-282.
HUO H Y, ZHANG X L. Fast satellite selection method for integrated navigation systems[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2015, 41(2): 273-282(in Chinese).

[11] 徐小钧,马利华,艾国祥. 基于多目标遗传算法的多星座选星方法[J]. 上海交通大学学报,2017,51(12):1520-1528.
XU X J, MA L H, AI G X. Satellite selection with multi-objective genetic algorithm for multi-GNSS constellations[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2017, 51(12): 1520-1528(in Chinese).

[12] EBERHART R C, SHI Y H. Particle swarm optimization: Developments, applications and resources[C]// Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2002: 81-86.

[13] EBERHART R C, KENNEDY J. A new optimizer using Particle swarm theory[C]// Proceeding of the 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995: 39-43.

[14] SHI Y H, EBERHAR R. A modified particle swarm optimizer[C]// IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1998: 69-73.

[15] 胥小波,郑康锋,李丹,等. 新的混沌粒子群优化算法[J]. 通信学报,2012,33(1):24-30.
XU X B, ZHENG K F, LI D, et al. New chaos-particle swarm optimization algorithm[J]. Journal on Communications, 2012, 33(1): 24-30(in Chinese).

[16] TIAN D P, SHI Z Z. MPSO: Modified particle swarm optimization and its applications[J]. Swarm & Evolutionary Computation, 2018, 41: 49-68.

作者简介:

王尔申 男,博士,教授,硕士生导师。主要研究方向:卫星导航定位技术、接收机信号处理算法、航空电子技术。

贾超颖 女,硕士研究生。主要研究方向:卫星导航定位技术。

http://bhxb.buaa.edu.cn

BDS/GPS integrated navigation satellite selection algorithm based on chaos particle swarm optimization

WANG Ershen[1,2,3,*], JIA Chaoying[1], QU Pingping[1], HUANG Yufeng[1], PANG Tao[1], BIE Yuxia[1], JIANG Yi[4]

(1. School of Electronic and Information Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;
2. School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China;
3. Liaoning General Aviation Key Laboratory, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;
4. Key Laboratory of Intelligent Waterway Transport of Ministry of Transport, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In the process of signal receiving, global navigation satellite system (GNSS) receiver will be affected by factors such as building blockages and signal interference and will not be able to obtain all the visible satellites; moreover, in order to reduce the processing burden of multi-constellation receivers, the fast satellite selection algorithm using partial visible satellites to achieve positioning solution is investigated, and the BDS/GPS integrated navigation satellite selection algorithm based on chaos particle swarm optimization (CPSO) is proposed. First, the visible satellites are continuously numbered and randomly divided into groups. Each group is regarded as a particle. Then, chaotic maps are used to select several groups from all grouping spaces to form initial population. The geometric dilution of precision (GDOP) is chosen as fitness function to evaluate the particle's quality. In addition, the particle's position is updated by the velocity-displacement model of the PSO algorithm, and it gradually approaches the global optimal solution of the satellite combination with better geometric distribution of the space satellite. Finally, using real navigation data, the algorithm is verified by simulation experiments. The results demonstrate that when the number of selected satellite is more than 5, the time that the proposed algorithm takes to select satellite once is 37.5% of the time that the traversing algorithm takes, and the GDOP error of the selected satellites is between 0 and 0.6. Moreover, the proposed algorithm can be applied to the case of different numbers of selected satellite in BDS/GPS integrated navigation.

Keywords: BDS/GPS integrated navigation; satellite selection; chaos particle swarm optimization (CPSO); geometric dilution of precision (GDOP); fitness function

http://bhxb.buaa.edu.cn

Received: 2018-05-17; **Accepted**: 2018-06-29; **Published online**: 2018-07-26 19:31

URL: kns.cnki.net/kcms/detail/11.2625.V.20180725.1854.007.html

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (61571309, 61101161); the Fundamental Research Funds for the Central Universities (3132016317); Liaoning BaiQianWan Talents Program; Scientific Study Project for Liaoning Province Ministry of Education (L2014059, L201716, UPRP2018198); Program for Liaoning Excellent Talents in University (LR2016069)

* **Corresponding author**. E-mail: wanges_2016@126.com