

# 基于改进型差分进化的 MLAT 系统布站方法研究

胥松寿<sup>1</sup>, 郭歆莹<sup>2</sup>

(1. 民航河南空管分局 技术保障部, 河南 郑州 450000; 2. 河南工业大学 信息科学与工程学院, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 对于多点定位系统的定位精度受基站几何布局影响的问题, 提出基于改进型差分进化算法的布站优化方法。基于差分进化算法并适当改进, 结合场面多点定位系统的其他条件和限制因素, 以几何精度因子 GDOP 为适应度函数, 实现基站优化布站, 为系统设计和建设中基站位置的选取提供参考依据。仿真结果表明, 该布站优化方法在多点定位系统中可获得较高的定位精度。

**关键词:** 多点定位系统; GDOP; 差分进化算法; 最优布站设计; 定位精度

中图分类号: TN971.1; TP391

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200458

中文引用格式: 胥松寿, 郭歆莹. 基于改进型差分进化的 MLAT 系统布站方法研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(8): 101–105.

英文引用格式: Xu Songshou, Guo Xinying. Research on station layout of a MLAT system based on improved DE[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(8): 101–105.

## Research on station layout of a MLAT system based on improved DE

Xu Songshou<sup>1</sup>, Guo Xinying<sup>2</sup>

(1. Technical Support Department, Henan Air Traffic Management Bureau, CAAC, Zhengzhou 450000, China;

2. College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the geometric layout of the base station of multilateration system directly affects the positioning precision of the target, an optimization method of station layout based on an improved Differential Evolution(DE) algorithm is proposed. Based on the DE algorithm and appropriate improvement, combined with other conditions and limiting factors of a multilateration system, the Geometric Dilution Precision(GDOP) is used as the fitness function to optimize the geometric layout of base stations, providing a reference basis for system design and selection of base station locations during construction. Simulation results show that this method of optimizing station placement can obtain higher positioning precision in a multilateration system.

**Key words:** multilateration system; GDOP; differential evolution algorithm; optimal station; positioning precision

## 0 引言

场面多点定位(Multilateration, MLAT)系统是一种新式机场场面监视技术, 通过计算目标发射信号到达地面中心站和基站的时间差(Time Difference of Arrival, TDOA)来计算其空间位置。系统的目标定位精度除了与伪距测量误差有关外, 还受基站的几何布局影响。传统的布站多采用三角形、菱形、Y 形等, 此种布站形式受基线长度和人为主观因素等的影响<sup>[1-5]</sup>。本文将差分进化算法应用于多点定位系统的最优布站设计, 通过不断迭代计算来获得地面基站的最优布站位置。本文对差分进化算法进行了适当改进, 使其在搜索前期有较强的全局探索能力, 在后期有较强的局部开发能力, 使之应用于多点定位系统站点布局设计的工程优化问题中, 提高了系统定位精度对目标位置变化的鲁棒性。实验仿真表明, 该布站设计方法在多点定位系统中可获得较高的定位精度。

## 1 基于改进型 DE 的布站方法

差分进化(Differential Evolution, DE)算法为求解切比雪夫多项式的问题, Rainer Storn 和 Kenneth Price 在 1995 年提出的经典优化算法。此算法是一种在连续空间进行随机搜索的优化算法, 其优点主要体现在涉及参数少、算法简单有效、搜索过程随机、有助于理解和实现。经典的 DE 算法始于种群的随机初始化, 然后分别经过变异(Mutation)、交叉(Crossover)、选择(Selection)操作产生新一代种群, 迭代进行该过程, 直到满足停止条件<sup>[6-10]</sup>。

针对多点定位系统的最优布站问题, 本文对经典 DE 算法进行适当改进, 平衡了算法的全局搜索和局部开发能力, 流程主要包括参数设置、种群初始化、改进的变异操作、交叉操作和改进的选择操作。

### 1.1 参数设置

参数设置对优化算法的性能和效率有很大的影响, 针对特定的优化问题, 应根据实际情况, 设定理想的控

制参数。改进型 DE 算法涉及的控制参数主要为：种群规模  $NP$ 、种群个体的维度  $D$ 、尺度因子  $F$  和交叉因子  $Cr$  等。

## 1.2 参种群初始化

场面多点定位系统包括 1 个中心站和  $N$  个基站，站点坐标为  $B_k(x_k, y_k, z_k)$ ,  $k=0, 1, 2, \dots, N$ , 其中  $k=0$  为重心站坐标。种群大小为  $NP$ , 每个个体的维度为  $D$ 。中心站一般安装于塔台，因此只需对中心站的  $z_0$  坐标进行优化，故  $D$  的大小为  $(1+3\times N)$ 。设  $P^t=[X_1^t, X_2^t, \dots, X_{NP}^t]$  表示  $t$  时刻的进化种群，称为目标种群(Target Vector);  $V^t=[V_1^t, V_2^t, \dots, V_{NP}^t]$  表示  $t$  时刻对  $P^t$  进行变异操作后的群体，称为变异种群(Donor Vector);  $U^t=[U_1^t, U_2^t, \dots, U_{NP}^t]$  表示  $t$  时刻对  $P^t$  和  $V^t$  进行交叉操作后的群体，称为试验种群(Trial Vector);  $P^{t+1}$  是对  $P^t$  和  $U^t$  执行选择操作后的下一代进化群体。通常情况下，初始群体  $P^0$  应尽可能覆盖整个搜索域。因此对  $P^0$  中任意目标矢量  $X_i^0=[x_{i,1}^0, x_{i,2}^0, \dots, x_{i,D}^0]^T$  的第  $j$ -th 维元素的初始化可由式(1)进行表征，其中  $i$  为当前目标矢量索引  $1 \leq i \leq NP$ ,  $j$  的取值范围为  $1 \leq j \leq D$ ，以满足初始群体尽可能覆盖整个搜索域的要求：

$$x_{i,j}^0 = x_j^{\min} + \text{rand}_{i,j}(0, 1) \times (x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (1)$$

其中， $\text{rand}_{i,j}(0, 1)$  表示位于 0 与 1 之间均匀分布的随机数， $x_j^{\min}$  和  $x_j^{\max}$  表征群体搜索区域临界最小值和最大值。

## 1.3 改进的变异操作

经典 DE 算法的变异过程为对目标种群(Target Vector)  $P$  进行变异操作，变异成分源于上一代的差分向量，对应的变异种群(Donor Vector)以  $V_i^t$  表示。常用的变异操作有 5 种形式，以  $DE/x/y/z$  表示。已有的大量实验表明， $DE/rand/1/bin$ (如式(2)所示)和  $DE/best/2/bin$ (如式(3)所示)的性能优于其他形式<sup>[11-12]</sup>。

$$DE/rand/1/bin: V_i^t = X_{r1}^t + F \times (X_{r2}^t + X_{r3}^t) \quad (2)$$

$$DE/best/2/bin: V_i^t = X_{\text{best}}^t + \dots F \times [(X_{r1}^t + X_{r2}^t) + (X_{r3}^t + X_{r4}^t)] \quad (3)$$

其中， $r_1, r_2, r_3, r_4 \in \{1, 2, \dots, NP\}$  为互不相等的整数，且  $r_1, r_2, r_3, r_4$  均不等于索引  $i$ ;  $X_{\text{best}}^t$  表征  $t$  时刻种群中最优个体;  $F$  为尺度因子，其范围在  $[1, 2]$  之间。

由式(2)可知， $V_i^t$  由任意 3 个互不相同的个体得到，其优点为丰富种群多样、全局搜索能力较强，但其缺点体现在收敛速度较慢；由式(3)可知， $V_i^t$  与  $X_{\text{best}}^t$  相关，其优点为局部开发能力强、收敛速度较快，但其有可能使算法陷入局部最优。结合式(2)和式(3)的特点，本文将两种变异进行融合，平衡算法的全局探索和局部开发能

力<sup>[13-14]</sup>，使得算法不仅具有较强的搜索能力，同时收敛速度和精度得到较大提升。改进后的变异方程如式(4)所示：

$$V_i^t = (1-\lambda)X_{r1}^t + \lambda X_{\text{best}}^t + F \times (X_{r2}^t + X_{r3}^t) \quad (4)$$

其中， $\lambda = \frac{i}{I}$ ,  $I$  表示优化最大迭代次数， $i$  表示当前迭代次数。

## 1.4 交叉操作

为了增加种群多样性，使个体得到进化，实验个体  $U_i^t$  由目标个体  $X_i^t$  和变异个体  $V_i^t$  通过交叉操作产生。二项式交叉和指数交叉为常用的两种交叉方式，相对于指数交叉，二项式交叉易于操作、实现便捷。本文采用二项式交叉，操作方程如式(5)所示：

$$U_{ij}^t = \begin{cases} V_{ij}^t & (\text{rand}(0, 1) \leq Cr \text{ or } (j = \text{sn}) \\ X_{ij}^t & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

其中， $Cr \in [0, 1]$  为交叉因子，影响  $X_i^t$  和  $V_i^t$  对  $U_i^t$  的贡献。为了保证  $U_i^t$  中任意一维元素由  $V_i^t$  提供，设置  $sn$  为随机维度索引，范围为  $[1, 2, \dots, D]$ ，以避免出现无法产生新个体的情况，即  $U_i^t = X_i^t$ 。

## 1.5 改进的选择操作

DE 采用“贪婪”搜索策略，让试验个体  $U_i^t$  和目标个体  $X_i^t$  进行竞争，当  $U_i^t$  的适应度值优于  $X_i^t$  时选择相应的  $U_i^t$  作为子代，否则直接将  $X_i^t$  作为子代。以最小化适应度值为例，选择操作的方程如式(6)所示：

$$X_i^{t+1} = \begin{cases} U_i^t & f(U_i^t) < f(X_i^t) \\ X_i^t & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

其中， $f(\cdot)$  为适应度函数。

由式(6)可知，传统的 DE 算法只对  $U_i^t$  和  $X_i^t$  进行选择，未考虑优秀的变异个体  $V_i^t$ 。为提高种群的多样性，本文在传统算法流程基础上增加一步选择操作。在试验种群  $U_i^t$  和目标种群  $X_i^t$  进行贪婪选择后，将产生的新种群继续与变异种群  $V_i^t$  进行贪婪选择，选择的方法与式(6)的方法相同。改进型 DE 算法流程如图 1 所示。

## 1.6 适应度函数

多点定位系统是一种利用双曲线/面定位的技术，根据目标到达地面中心站和基站的到达时间差 TDOA 定位目标位置。系统的定位精度取决于 TDOA 测量误差和站点布局，如式(7)所示：

$$\Delta_s = \Delta_{\text{TDOA}} \times G_s \quad (7)$$

式中， $\Delta_s$  为机场第  $s$  个小区域定位精度，其中  $s \in \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $M$  为场面区域等分为若干小区域的个数，进而可计算每个小区域的定位精度； $\Delta_{\text{TDOA}}$  为多点定位系统的

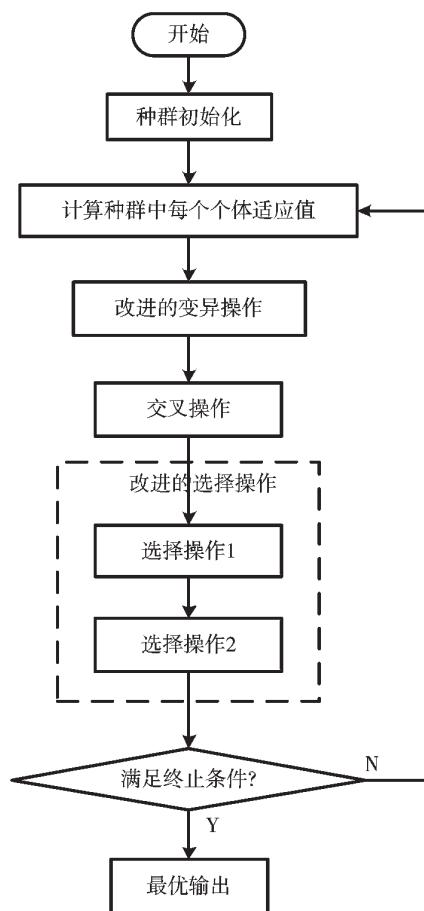


图 1 改进型 DE 算法流程图

TDOA 测量误差,与系统性能和时钟测量有关,系统搭建完场后,此参数基本保持固定; $G_s$  为第  $s$  个小区域几何精度因子(GDOP),由站点布局决定<sup>[15-16]</sup>。

由式(7)可知,  $G_s$  直接影响系统的定位精度, 因此如何降低  $G_s$  值对系统的定位精度非常重要。基于此, 本文以 GDOP 为数据支撑, 以最小化  $G_s$  值为优化目标, 定义适应度函数如式(8)所示:

$$f = \frac{\sum_{s=1}^M G_s}{M} \quad (8)$$

式中,  $M$  表示场面区域等分为若干小区域的个数。因此本文以最小化适应度函数  $f$  为目标进行优化, 搜索区域内地面基站的最优布站位置。

2 仿真与分析

仿真条件：GDOP 计算区域大小设定为  $1000 \times 1000$  m，布站的搜索区域设定为  $1000 \times 1000$  m，基站高度搜索区域为  $[0, 50]$ ，单位为 m，将 GDOP 计算区域等分为  $10 \times 10$  m 的小区域，计算每块小区域中心的 GDOP 值，累加计算适应度函数的值。设定种群规模 NP 大小为 50，迭代次数 I 为 100 次。

## 2.1 最优布站和传统布站的定位精度分析

仿真条件：设定站点数量为 4，其中 1 个中心站，3 个

基站，因此种群个体的维度  $D=10$ ，目标高度设定为 50 m。传统布站采用倒三角和星型布站，具体的站点坐标和最优化站点坐标及对应布站方法的适应度值如表 1 所示。

表 1 站址坐标

协议	倒三角	星型	最优化布站
主站	(0, 0, 5)	(0, 0, 5)	(0, 0, 1.2)
基站 1	(-500, 500, 5)	(-500, 500, 5)	(1000, -330.4, 0)
基站 2	(0, 500, 5)	(500, 500, 5)	(-837.3, -837.5, 0)
基站 3	(500, 500, 5)	(0, -500, 5)	(-330.8, 1000, 5.7)
适应度值	31.57	19.17	12.11

由表 1 可知, 相比于传统布站方法, 最优化布站方法搜索的基站坐标呈不规则分布且定位精度得到了较大的提高。

图 2 给出了改进型 DE 算法(IDE)和两种不同变异方案(DE/rand/1/bin 和 DE/best/2/bin)的适应度值进化曲线。

由图2可知,在进化的开始阶段,改进型DE算法(IDE)与DE/rand/1/bin有相似的收敛性;随着进化的进行,IDE与DE/best/2/bin有相似的收敛性。验证了式(2)和式(3)的有效结合,使得改进的DE算法较好地平衡了算法前期的全局探索和后期的局部开发能力,不仅避免早熟收敛现象,同时加快了收敛速度。

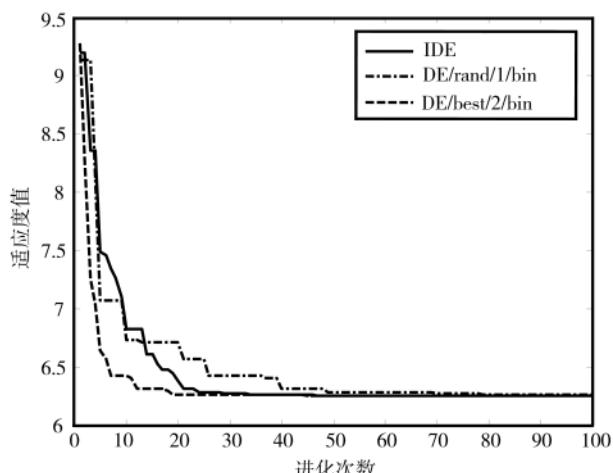


图 2 改进型 DE 和传统 DE 适应度值进化曲线

图 3~图 5 给出了倒三角布站、星型布站和最优布站的定位精度 GDOP 分布图。图中倒三角布站、星型布站和最优布站的位置坐标如表 1 所示, 图中以“\*”表示。

由图3~图5所示,经统计得到, GDOP值小于10 m的定位精度覆盖率为倒三角布站和星型布站的23.4%、31.9%提高到采用最优布站的46.5%,系统的定位精度得到了显著的提高。

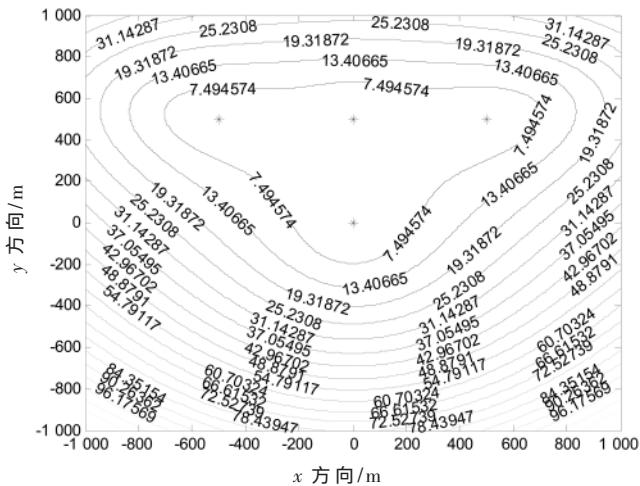


图 3 倒三角布站 GDOP 分布图

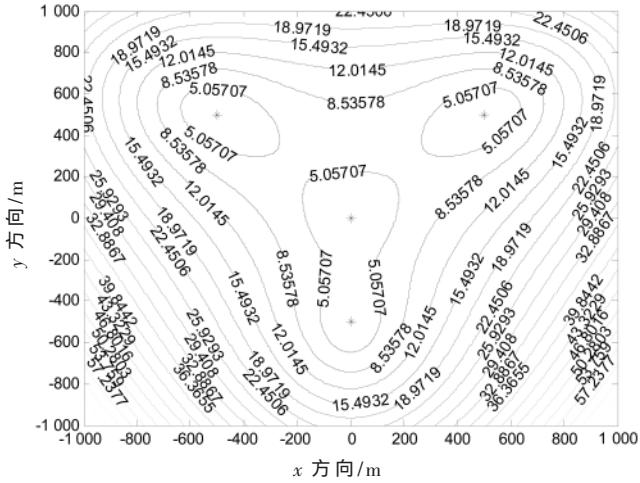


图 4 星型布站 GDOP 分布图

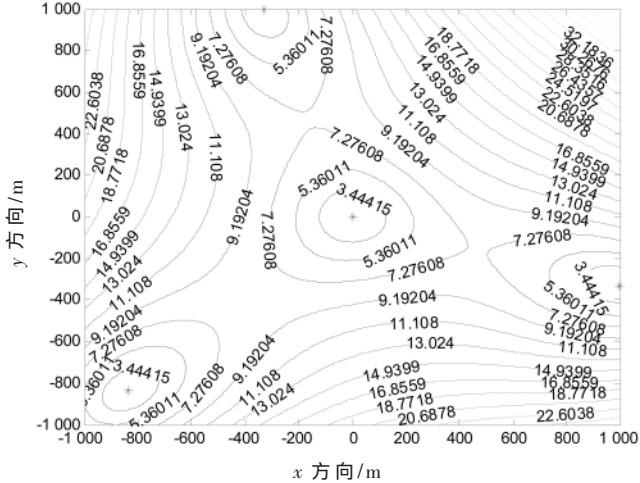


图 5 最优布站方法 GDOP 分布图

## 2.2 目标位置变化对系统定位精度的影响分析

仿真条件:设站点数量为 4,其中 1 个中心站,3 个基站,因此种群个体的维度  $D=10$ 。倒三角布站、星型布站和最优布站的站点坐标如表 1 所示。图 6 给出了 3 种

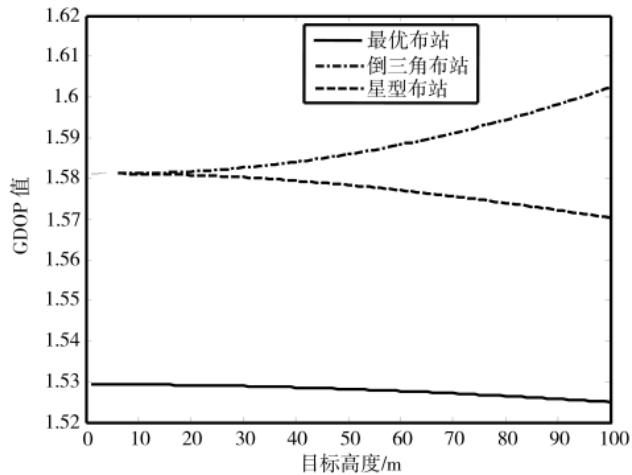


图 6 定位精度 GDOP 随目标高度变化曲线

布站方法的中心站上方定位精度 GDOP 随目标高度变化的曲线图。

由图 6 可知,倒三角布站和星型布站中心站上方的定位精度 GDOP 值变化趋势波动较大;最优布站的中心站上方的定位精度 GDOP 值变化趋势波动较小,且定位精度较倒三角布站和星型布站得到显著的提高,验证了最优布站的定位精度对目标高度变化具有较好的鲁棒性。

图 7 给出了 3 种布站方法的定位精度 GDOP 值随目标角度变化的曲线图。其中设目标高度为 50 m,曲线值表征以中心站为中心,目标在半径 500 m 圆周上移动时的 GDOP 值。

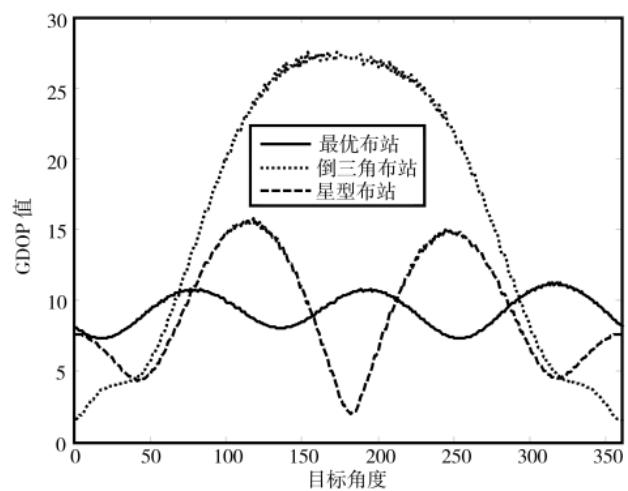


图 7 定位精度 GDOP 随目标角度变化曲线

由图 7 可知,倒三角布站和星型布站中,目标角度发生变化,定位精度 GDOP 值出现剧烈的波动,倒三角布站的定位精度波动最剧烈。相对于倒三角布站和星型布站,最优布站的定位精度 GDOP 值随目标角度变化的波动较小,验证了最优布站的定位精度对目标角度变化表现出较好的鲁棒性。

### 3 结论

本文对差分进化算法进行了适当改进,较好地平衡了算法前期的全局探索和后期的局部开发能力,不仅能够避免早熟收敛现象,同时加快了收敛速度。算法以GDOP为数据支撑,设计合理的适应度函数,结合多点定位系统的实际工程建设情况,建立仿真模型,通过不断地迭代产生最优布站的站点坐标。仿真结果验证了最优布站方法相比于传统布站,对目标的高度和角度变化表现出了较好的鲁棒性,布站区域内的定位精度得到了显著的提高,为系统实际工程建设提供可靠的理论依据。

### 参考文献

- [1] 李家蓬,韩明,苑克剑.多点定位系统的布站设计[J].电光与控制,2016,23(1):71-74.
- [2] 宫峰勋,雷艳萍,许跃,等.机场场面多点定位系统定位精度研究[J].计算机工程,2011,37(15):276-278.
- [3] 崔自峰,闫修林,钱葵东.广域多点定位系统设计与验证[J].指挥信息系统与技术,2016,7(38):55-60.
- [4] 吴宏刚,刘昌忠,黄忠涛.机场场面多点定位系统远端站优选方法[J].电讯技术,2009,49(12):5-8.
- [5] 李露.基于标记牌识别的机场场面车辆定位技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2015.
- [6] 易文周.粒子群与差分进化混合算法的研究[D].桂林:广西师范大学,2009.
- [7] 方力智,张翠芳,易芳.基于改进差分进化算法的RBF神经网络优化方法[J].成都大学学报(自然科学版),2009,

(上接第 100 页)

- 资源拍卖机制研究[J].电子与信息学报,2019,41(5):1243-1250.
- [5] 王意洁,孙伟东.云计算环境下的分布式存储关键技术[J].软件学报,2012,23(4):962-986.
- [6] 周平,殷波,邱雪松,等.面向服务可靠性的云资源调度方法[J].电子学报,2019,47(5):1036-1043.
- [7] 尚志会,张建伟,蔡增玉,等.云桌面环境下基于蚁群算法的作业调度方法[J].计算机工程与设计,2017,38(6):1668-1672,1680.
- [8] 王万良,臧泽林,陈国棋,等.大规模云计算服务器优化调度问题的最优二元交换算法研究[J].通信学报,2019,40(5):180-191.
- [9] Wei Yi, Pan Li, Liu Shijun, et al. DRL-scheduling: an intelligent QoS-aware job scheduling framework for applications in clouds[J]. IEEE Access, 2018, 6: 55112-55125.
- [10] BHATTI S S, Fan Jiahao, Wang Kangrui, et al. An approximation algorithm for bounded task assignment problem in spatial crowdsourcing[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2020(99): 1.

28(3):231-233.

- [8] 胡畔.基于差分进化算法的预测控制及其应用研究[D].兰州:兰州交通大学,2011.
- [9] 杨艳.基于微分进化算法的电力系统最优潮流[D].成都:西南交通大学,2009.
- [10] 苗晓锋,刘志伟.一种基于混合策略的差分进化算法研究[J].计算机应用与软件,2019,36(3):266-270.
- [11] 文武,乔龙辉,何鹏.基于自适应差分进化极限学习机的车牌识别算法[J].电子技术应用,2017,43(1):133-136,140.
- [12] 刘红平,黎福海.面向多目标优化问题的自适应差分进化算法[J].计算机应用与软件,2015,32(12):249-252.
- [13] 刘波,王凌,金以慧.差分进化算法研究进展[J].控制与决策,2007(7):3-11.
- [14] 吴亮红.差分进化算法及应用研究[D].长沙:湖南大学,2007.
- [15] 邵良琪,李署坚,邵定蓉.某导航系统中基于 DSP 的几何精度因子(GDOP)计算[J].测控技术,2004(z1):174-176.
- [16] 赵琨,何青益.基于 GDOP 的三站时差定位精度分析[J].无线电工程,2012,45(5):19-21.

(收稿日期:2020-06-06)

### 作者简介:

胥松寿(1987-),男,硕士,工程师,主要研究方向:多点定位、雷达监视、无线通信。  
郭歆莹(1989-),女,博士,讲师,主要研究方向:无线通信。



扫码下载电子文档

- [11] ALHUSSIAN H, ZAKARIA N, PATEL A, et al. Investigating the schedulability of periodic real-time tasks in virtualized Cloud environment[J]. IEEE Access, 2019(7): 29533-29542.
- [12] HSIEH S Y, CHEN C T, CHEN C H, et al. Novel scheduling algorithms for efficient deployment of MapReduce applications in heterogeneous computing environments[J]. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2018, 6(4): 1080-1095.
- [13] 胡涛,马晨辉,申立群,等.基于蚁群算法的测试任务调度优化方法[J].兵工学报,2019,40(6):1310-1316.
- [14] 胡志刚,常健,周舟.面向云环境中任务负载的粒子群优化调度策略[J].湖南大学学报(自然科学版),2019,46(8):117-123.

(收稿日期:2020-07-21)

### 作者简介:

杨戈(1974-),通信作者,男,博士,副教授,主要研究方向:计算机视觉、视觉跟踪技术,E-mail:yangge@pkusz.edu.cn。

吴俊言(1992-),男,硕士研究生,主要研究方向:云计算、下一代网络。



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