

基于混沌粒子群的多飞艇资源配置规划方法^{*}

李龙梅, 伍江江, 翟保荣, 李 军, 景 宁

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要:对地观测具有任务繁多、约束复杂、资源有限等特点,对观测资源配置进行合理规划具有重要意义。面向多飞艇多载荷对地观测任务,结合经典粒子群算法,研究了满足任务完成度、分辨率要求和负载均衡度等多目标的资源配置规划方法。在经典粒子群算法的基础上利用混沌优化技术进行改进,并设计实现了原型系统。实验验证了该资源配置规划方法的有效性。

关键词:多飞艇;资源配置;粒子群算法;混沌优化

中图分类号:TP391

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2014.10.021

A planning method for multi-airship resource deployment based on chaotic particle swarm optimization

LI Long-mei, WU Jiang-jiang, ZHAI Bao-rong, LI Jun, JING Ning

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Since the observation tasks are various, task restrictions are complex while observing resources are limited, it is important to schedule the resource deployment rationally. Based on multi-airship multi-payload earth observation tasks, the classic Particle Swarm Optimization (PSO) is utilized to fulfill resource deployment, satisfying observation goals such as task completion, resolution and payloads equilibrium. A method involving Chaotic optimization is proposed so as to improve classic PSO, and an application is developed based on ArcGIS Engine and Visual Studio. Experiments show that the proposed planning method for resource deployment is effective.

Key words: multi-airship; resource deployment; particle swarm optimization (PSO); chaotic optimization

1 引言

经济社会的迅速发展对对地观测系统提出了更高、更迫切的要求,不仅要有更精细的高分辨率有效载荷,而且需要更灵活的观测方式、更高重访率的观测平台,以满足不同的观测要求^[1]。临近空间介于航空和航天的范畴之间,其独特的资源优势为对地观测提供了新的发展方向。平流层飞艇运行在临近空间底部,可长时间定点驻空,搭载可见光、红外等设备,对地面目标实现大范围立体探测

和监视,具有精度高、时间长、范围广、成本低等特点^[2],是临近空间实施对地观测的主要平台。

面对观测任务繁多、需求多样、观测资源有限的特点,对观测资源进行合理的规划配置具有重要意义。目前关于临近空间资源配置的研究较少,部分研究针对临近空间通信、导航平台的优化配置,将飞艇与卫星联合组网^[3,4]。文献[5]利用差分进化方法研究临近空间探测任务调度,研究重点在于任务调度而不是资源配置。文献[6]运用遗传算法研究多载荷观测平台的优化配置,建模中未考虑任务优先级需求,算法存在计算复杂、易陷入局部最

^{*} 收稿日期:2013-03-29;修回日期:2013-05-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61174159, 61101184)

通信地址:410073 湖南省长沙市国防科学技术大学电子科学与工程学院

Address: College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, Hunan, P. R. China

优等缺陷。

本文基于混沌粒子群优化研究多飞艇观测资源配置的规划方法。首先对多飞艇资源配置的特点进行说明,建立配置规划模型,并结合观测任务执行特点给出约束表达式和目标函数。在该模型的求解中利用混沌优化技术对基本粒子群算法进行改进,使原有算法在具备计算简单、易于调节等特点的同时,克服了早熟收敛的缺陷。最后基于 Visual Studio 2010 和 ArcGIS Engine 设计实现了原型系统,系统仿真结果表明,该方法对于解决多飞艇资源配置问题切实有效,应用前景广阔。

2 问题描述与建模

2.1 问题描述

多飞艇资源配置,是指在观测资源有限、任务繁多的情况下,合理安排多架飞艇的驻空观测位置,在尽可能多完成任务的同时,使实际观测分辨率尽可能高。飞艇平台携带载荷包括可见光、红外、高精度相机等观测设备,任务需求各异,载荷特性不同。控制中心根据载荷特性和任务需求,规划多飞艇的驻空位置。

资源配置规划首先需考虑载荷特性和任务需求,其中载荷特性包括:

(1)飞艇平台驻空时间长,载荷随平台在高空悬停,通过万向架侧摆实现大范围观测。

(2)目标实际观测分辨率随目标与载荷的距离变化,距离越远其观测分辨率越低。

(3)载荷调度与观测执行受能耗限制,载荷开关机受时间约束、天气影响等。

观测任务需求包括:

(1)地理位置要求。任何观测任务请求都需要目标的具体地理坐标信息,对点目标而言,用该点的经纬度坐标表示。

(2)观测模式要求。通常情况下,用户给出的观测需求包括载荷类型及最低分辨率,而一些特殊的观测请求会需要多种传感器观测,如揭露伪装等。

(3)优先级要求。由于观测资源有限,用户请求不能同时被满足。为了优先获取重要的、紧急的观测信息,任务请求通常包含优先级的设置。

2.2 问题建模

将载荷的位置用其所在飞艇平台的位置表示,多飞艇资源配置规划可描述为:有 M 个载荷,需要

完成 N 个观测任务,规划多飞艇的驻空位置,在满足各种约束的条件下最大化观测收益。为便于描述,采用如表 1 所示的符号。

Table 1 Symbol table of multi-airship resource deployment modeling

表 1 多飞艇资源配置建模符号表

集合符号	集合描述	元素属性符号	元素属性描述
T	任务集合	$TargetID$	任务标识
		$Location$	任务位置
		$LowestResolving$	任务最低分辨率要求
		PRI	任务优先级
		$PayloadTypeRe$	任务载荷需求集合
P	载荷集合	$PayloadID$	载荷标识
		$AirshipID$	载荷所属飞艇
		$PayloadType$	载荷类型
		$Resolving$	载荷固有分辨率
K	载荷可完成任务集合	P_j	完成任务的载荷
		T_i	所完成任务
		$ActualResolving$	观测实际分辨率
		$Energy$	完成任务消耗的能量

其中, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}$, 对 $\forall T_i \in T$, $T_i = \{TargetID_i, Location_i, LowestResolving_i, PRI_i, PayloadTypeRe_i\}$; $P = \{P_1, P_2, \dots, P_M\}$, 对 $\forall P_j \in P$, $P_j = \{PayloadID_j, AirshipID_j, PayloadType_j, Resolving_j\}$, 以任务集合 T 和载荷集合 P 为规划输入, 遍历每一种组合, 删除不符合约束条件的组合后得到载荷可完成的任务集合 $K = \{K_1, K_2, \dots, K_S\}$, 对 $\forall K_t \in K$, $\exists T_i \in T, P_j \in P$, 使得 $K_t = \{T_i, P_j, ActualResolving_t, Energy_t\}$, 表示载荷 P_j 能以分辨率 $ActualResolving_t$ 完成任务 T_i , 消耗的能量为 $Energy_t$ 。

2.2.1 约束条件

(1)分辨率约束。载荷偏转一定角度执行观测任务时,其观测实际分辨率不低于任务要求,且不低于艇下点正视分辨率(即载荷固有分辨率)。

$P_j, Resolving \leq ActualResolving_t \leq T_i, LowestResolving, \forall K_t \in K$

(2)载荷类型约束。若任务有载荷类型需求,则必须由特定载荷完成。

if $T_i, PayloadTypeRe \neq \emptyset$, then $P_j, PayloadType \in T_i, PayloadTypeRe, \forall K_t \in K$

(3)距离约束。飞艇的覆盖范围在地表投影近似为圆,设其半径为 $CoverRadius$, 目标与载荷在地表投影点的距离不能超过该半径。

$$Dis(P_j, AirshipID, Location, T_i, Location) \leq P_j, AirshipID, CoverRadius, \forall K_i \in K$$

(4)能量约束。对集合 K 中的元素按飞艇分类,得飞艇 a 所有载荷可完成的任务集合 $K_a \subset K$,消耗总能量不大于飞艇能量 $AirshipEnergy_a$ 。

$$\sum K_i, Energy \leq AirshipEnergy_a, \forall K_i \in K_a$$

2.2.2 目标函数

(1)在考虑优先级的情况下最大化可观测的任务数目。在大多数情况下,任务数目比载荷数目大很多,因此最大程度地完成任务是资源配置的首要目标。集合 K 中将 T 去重后的数目即为可观测任务数目 L ,优先级取值范围 $PRI \in [0, 1]$,级别越高取值越大,应使完成任务的总优先级最大。

$$\max J_1 = \sum_{i=1}^L T_i, PRI$$

(2)最优化观测质量。分辨率影响着观测质量的好坏,分辨率数值越小,其分辨率越高。艇下点正视分辨率 ($P_j, Resolving$) 最高且为定值,由载荷特性决定。目标距离艇下点越远分辨率越差,应尽量使任务观测的实际分辨率 ($ActualResolving_i$) 提高,即 $ActualResolving_i$ 数值越小越好。

$$\max J_2 = \sum_{i=1}^S \frac{P_j, Resolving}{ActualResolving_i}$$

(3)负载均衡。载荷的调度与观测任务的执行需消耗能量,应尽量使每个载荷负担的任务数量均衡,即负载方差最小。对集合 K 中的元素按载荷分类,得载荷 P_j 可完成的任务个数为 N_j ,则负载均衡由下式表示:

$$\min J_3 = \sum_{j=1}^M \left[N_j - \frac{\sum_{j=1}^M N_j}{M} \right]^2$$

3 基于混沌粒子群的资源配置规划方法

粒子群优化算法 PSO (Particle Swarm Optimization) 是 Kennedy J 和 Eberhart R 于 1995 年提出的一种基于种群进化的随机算法,源于对鸟群觅食过程的模拟,有着计算简单、易于实现、参数少、易于调节等优点,在优化及规划领域中已广泛应用^[7]。同时,粒子群算法存在着早熟收敛、容易陷入局部最优的缺陷,不少学者对其提出改进策略以增强局部搜索能力,如基于遗传策略和梯度信息

的改进算法、基于模拟退火机制的改进方法等。本文利用混沌搜索的随机性、遍历性,对粒子群的初始化和迭代进行改进,提高了多飞艇资源配置优化性能。

3.1 基本粒子群算法

在基本 PSO 算法中,每个粒子就是一个备选解,多个粒子共存、合作寻优。一个由 PN 个粒子组成的群体在 D 维空间中以一定的速度“飞翔”,第 i 个粒子当前(第 k 步)的位置表示为 $x_i^{(k)} = (x_{i1}^{(k)}, x_{i2}^{(k)}, \dots, x_{iD}^{(k)})$, $1 \leq k \leq PN$,第 i 个粒子当前的速度表示为 $v_i^{(k)} = (v_{i1}^{(k)}, v_{i2}^{(k)}, \dots, v_{iD}^{(k)})$,第 i 个粒子当前历史最优位置表示为 $pbest_i^{(k)} = (pbest_{i1}^{(k)}, pbest_{i2}^{(k)}, \dots, pbest_{iD}^{(k)})$,当前群体最优解 $gbest$ 为 PN 个 $pbest$ 中的最优,表示为 $gbest^{(k)} = (gbest_1^{(k)}, gbest_2^{(k)}, \dots, gbest_D^{(k)})$ 。第 i 个粒子的适应度值记为 f_i ,每个粒子记忆、追随当前的最优粒子,根据自身经验和群体经验在问题空间中向更好的位置“飞翔”,搜索最优解(即适应度值最大的解)。

基本 PSO 算法步骤如下:

(1)初始化粒子群。令迭代次数 $k=0$,设定最大迭代次数 $kmax$ 、粒子总数 PN 、位置范围 $[x_{min}, x_{max}]$ 和速度范围 $[v_{min}, v_{max}]$ 。粒子初始位置和速度在范围内随机选取,将初始位置作为个体最优解的初值 $pbest_i^{(0)}$,计算各个粒子的适应度值 $f_i^{(0)}$, $1 \leq i \leq PN$,找出其中最大的 $fmax^{(0)}$ 为最优适应度初值,其位置作为群体最优解的初值 $gbest^{(0)}$ 。

(2)更新粒子的速度和位置。按照下面的迭代公式计算新一代的粒子位置。

$$v_{id}^{(k+1)} = w \times v_{id}^{(k)} + c_1 \times rand() \times [pbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}] + c_2 \times rand() \times [gbest_{id}^{(k)} - x_{id}^{(k)}]$$

$$x_{id}^{(k+1)} = x_{id}^{(k)} + v_{id}^{(k+1)}, 1 \leq i \leq PN, 1 \leq d \leq D$$

其中, c_1 、 c_2 为正常数,称为加速因子; $rand()$ 为 $[0, 1]$ 的随机数; w 称惯性因子,用于控制当前速度对下次迭代的影响,目前采用较多的是线性递减权重策略^[8],即:

$$w = (w_i - w_e)(kmax - k)/kmax + w_e$$

$kmax$ 为最大迭代次数, k 为当前迭代次数, w_i 为初始惯性权值, w_e 为进化至最大迭代时的惯性因子,习惯上 $w_i = 0.9$, $w_e = 0.4$ 。

(3)更新个体最优解和群体最优解。计算新一代各粒子的适应度 $f_i^{(k+1)}$,若大于 $f_i^{(k)}$,则将其位

置更新为个体最优解 $pbest_i^{(k+1)}$; 设 $fmax^{(k+1)}$ 为新—代个体最优解中的最大值, 若其大于 $fmax^{(k)}$, 则将其位置更新为群体最优解 $gbest^{(k+1)}$ 。

(4) 令 $k=k+1$ 。如果 $k>kmax$ 或者 $fmax^{(k)}$ 达到设定值 $maxFit$, 则转向(5); 否则, 转向(2)继续迭代。

(5) 结束迭代, 输出群体最优位置 $gbest^{(k)}$ 为规划结果。

3.2 混沌优化

混沌(Chaos)是自然界广泛存在的一种非线性现象, 具有遍历性、随机性、规律性、初值敏感性等特征^[9], 能在一定范围内按其自身规律不重复地遍历所有状态。混沌搜索的基本思想是首先产生一组与优化变量数目相同的混沌变量, 然后把混沌运动的遍历范围映射到优化变量的取值范围, 最后直接利用混沌变量具有的随机性、遍历性进行搜索。常用的混沌序列是 Logistic 序列^[10]: $z_{i+1} = \mu z_i(1 - z_i)$, 其中, $i = 0, 1, 2, \dots; 0 \leq z_0 \leq 1; \mu$ 为控制系数, μ 取 4 时为完全混沌。通过载波方式, 可将混沌序列线性映射到优化空间 $[a, b]$ 中: $x_i = a + z_i(b - a)$, $x_i \in [a, b]$ 。

针对基本粒子群初始随机、早熟收敛的缺陷, 在初始化和迭代搜索中引入混沌优化思想:

(1) 基本 PSO 的初始解随机产生, 不能保证粒子质量, 同时无法让初始种群均匀分布在解空间。利用混沌的随机性和遍历性产生初始种群, 在不改变初始随机性本质的同时提高了粒子在解空间分布的均匀性, 在产生遍布空间的大量粒子基础上, 择优选取产生初始解。

(2) 在 PSO 算法收敛过程中, 提高粒子的多样性有助于避免早熟收敛。群体最优解 $gbest$ 在每次迭代中影响着下一代粒子的位置, 若陷入局部最优, 则粒子群无法继续搜索。利用混沌的遍历性、随机性对 $gbest$ 的邻域进行搜索, 寻找最优粒子替代 $gbest$, 可帮助算法跳出局部最优。

3.2.1 混沌初始化

混沌初始化步骤如下:

(1) 生成一个 D 维的向量 $Z_1 = [z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1D}]$, 其中每个元素在 $[0, 1]$ 上随机取值。

(2) 按照 Logistic 序列将每个元素迭代 $2PN$ 次, 得到 $2PN \times D$ 的混沌矩阵 $Z_{2PN \times D}$, 记 z_{ij} 为第 i 行、第 j 列的元素, 则有 $z_{(i+1)j} = 4z_{ij}(1 - z_{ij})$, $0 \leq i \leq 2PN - 1, 1 \leq j \leq D$ 。

(3) 将矩阵每个元素映射到 $[x_{min}, x_{max}]$, 每行

对应一个粒子的位置, 共得到 $2PN$ 个粒子。

(4) 计算这 $2PN$ 个粒子的适应度值, 选取其中最优的 PN 个粒子作为初始粒子。

3.2.2 群体最优解混沌搜索

对群体最优解 $gbest$ 的邻域混沌搜索步骤如下, 需设定邻域个数 SN 及邻域范围 $[-\Delta x, \Delta x]$:

(1) 按照混沌初始化的方法产生 $SN \times D$ 的混沌矩阵 $Z_{SN \times D}$ 。

(2) 将矩阵每个元素映射到 $[-\Delta X, \Delta X]$, 记 z_{id} 为矩阵第 i 行第 d 列的元素映射后的值, 按照 $gbest_{id} = gbest_{id} + z_{id}$, $1 \leq i \leq SN, 1 \leq d \leq D$ 得到 $gbest$ 的 SN 个邻域解。

(3) 计算这 SN 个粒子的适应度值, 若大于 $gbest$ 的适应度, 则取最大者替代 $gbest$ 。

3.3 多飞艇资源配置规划流程

本文研究的问题将基本粒子群的位置拓展到 x 和 y 两个方向上, 用 (x, y) 表示飞艇的经纬度坐标, 搜索空间维度 D 为待配置的飞艇数目, 则第 i 个粒子当前(第 k 步)的位置记为 $p_i^{(k)} = \{(x_{i1}^{(k)}, y_{i1}^{(k)}), (x_{i2}^{(k)}, y_{i2}^{(k)}), \dots, (x_{iD}^{(k)}, y_{iD}^{(k)})\}$, $1 \leq i \leq PN$, 第 i 个粒子当前的速度向量记为 $v_i^{(k)} = \{(vx_{i1}^{(k)}, vy_{i1}^{(k)}), (vx_{i2}^{(k)}, vy_{i2}^{(k)}), \dots, (vx_{iD}^{(k)}, vy_{iD}^{(k)})\}$, 第 i 个粒子当前历史最优位置记为 $pbest_i^{(k)} = \{(xpbest_{i1}^{(k)}, ypbest_{i1}^{(k)}), (xpbest_{i2}^{(k)}, ypbest_{i2}^{(k)}), \dots, (xpbest_{iD}^{(k)}, ypbest_{iD}^{(k)})\}$, 当前群体最优解记为 $gbest^{(k)} = \{(xgbest_1^{(k)}, ygbest_1^{(k)}), (xgbest_2^{(k)}, ygbest_2^{(k)}), \dots, (xgbest_D^{(k)}, ygbest_D^{(k)})\}$ 。

适应度函数定义为 $f = \alpha J_1 + \beta J_2 + \gamma e^{-J_3}$, 其中 α, β, γ 为取值在 $[0, 1]$ 的加权系数, 可根据任务需求进行设置, 满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。 J_1, J_2, J_3 对应目标函数中的任务完成度、分辨率因素和负载均衡度, 式中 J_1, J_2 已进行归一化处理, 用负指数函数将 J_3 的最小化转为最大化, 同时满足了归一化要求。可知 $0 \leq f \leq 1$, 粒子群算法的目标就是求出使 f 取最大值的粒子。

将混沌优化过程引入 PSO 的算法流程, 对初始化和群体最优解 $gbest$ 进行优化, 得到混沌粒子群算法 CPSO (Chaotic Particle Swarm Optimization), 其算法流程图如图 1 所示。

4 仿真实现与测试分析

本文基于 Visual Studio 2010 和 ArcGIS En-

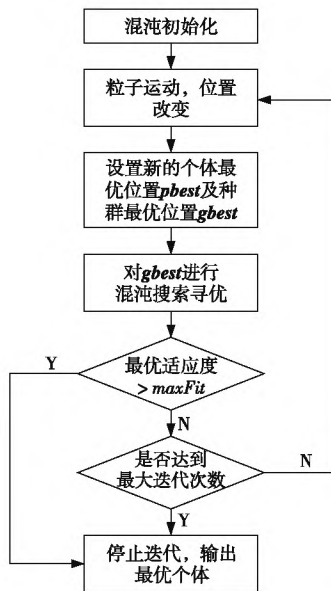


Figure 1 Flow of CPSO algorithm

图1 CPSO 算法流程

gine 建立实验系统。我国东南沿海区域对地观测活动频繁,观测目标多、种类复杂,具有一定代表性,算例随机产生分布在东南沿海的一系列观测任务点,如图 2 中三角符号所示,任务点分布较均匀。任务坐标、最低分辨率、优先级、载荷需求如表 2 所示,篇幅所限只列出其中 10 个。

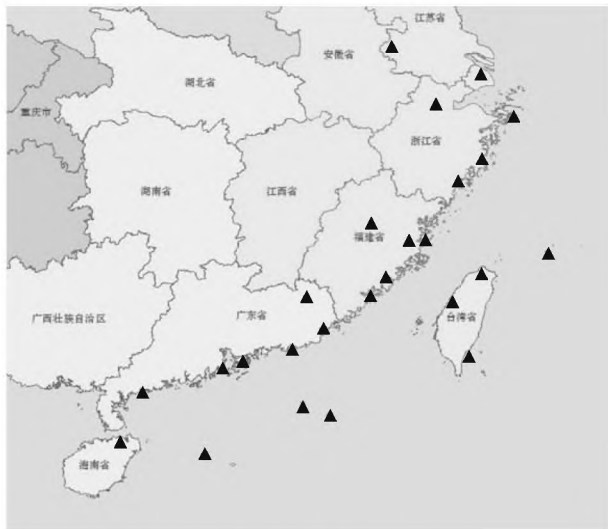


Figure 2 Distribution of tasks

图2 任务目标点分布

实验中待配置的飞艇数目为 5 架,驻空高度为 20 km,每架飞艇搭载了可见光、红外、多光谱、成像雷达四种载荷,艇下点正视分辨率分别为 0.3 m、2 m、0.5 m、1 m。相关参数设置为 $PN=30$, $kmax=500$, $maxFit=0.9$ 。

考虑到粒子群算法是基于概率的随机搜索方法,每次仿真结果的最优适应度值都可能存在差异。

Table 2 Property data of tasks

表 2 任务属性数据

任务	坐标	最低分辨率/m	优先级	载荷需求
点目标 1	(22.725,115.706)	2.0	0.8	无
点目标 2	(24.329,116.148)	1.6	0.9	无
点目标 3	(22.33,114.184)	0.5	1.0	无
点目标 4	(22.787,115.316)	2.0	0.8	无
点目标 5	(22.902,116.311)	2.0	0.8	无
点目标 6	(23.382,116.677)	0.6	1.0	无
点目标 7	(22.764,114.699)	2.0	0.8	无
点目标 8	(24.388,118.129)	1.4	0.9	无
点目标 9	(123.082,25.181)	2.0	1.0	可见光
点目标 10	(131.46,20.633)	2.0	1.0	红外

对此,本文对 PSO 和 CPSO 分别进行 30 次仿真,并对其最优适应度值进行统计,得到 30 次结果的最优值、最差值和平均值,如表 3 所示。从表 3 可以看出,在 30 次仿真条件下,CPSO 算法仿真结果的最优值、最差值和平均值都优于 PSO 算法。

Table 3 Comparison of PSO and CPSO results

表 3 PSO 和 CPSO 算法结果对比

算法	最优值	最差值	平均值
PSO	0.771	0.758	0.767
CPSO	0.786	0.775	0.782

两种算法的平均收敛曲线如图 3 所示。从收敛曲线可以看出,CPSO 经过混沌初始化后得到的初始解明显优于 PSO,PSO 迭代 300 次左右收敛,可能陷入局部最优,CPSO 通过混沌搜索后增强其局部搜索能力,跳出局部最优。

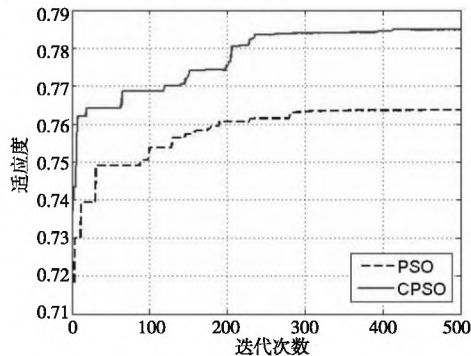


Figure 3 Comparison of PSO and CPSO convergent curves

图3 PSO 和 CPSO 收敛曲线对比

CPSO 的最优解结果为 (111.026, 19.529)、(119.062, 26.798)、(120.928, 25.215)、(116.305, 22.98)、(120.439, 30.747),如图 4 飞艇图标位置所示,此时 $\alpha:\beta:\gamma=10:9:1$ 。

改变 α 、 β 、 γ 的比值和任务分布重新实验,可以

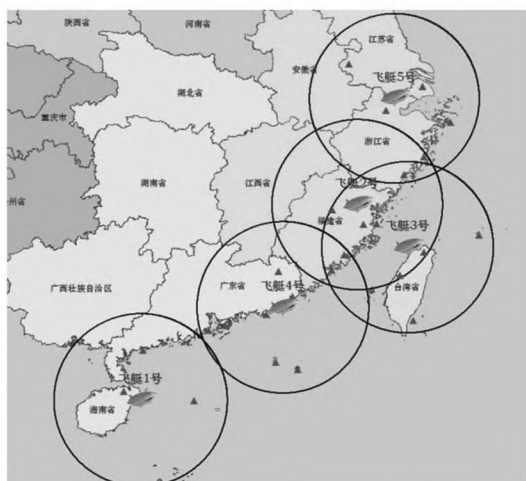


Figure 4 CPSO deployment result
when tasks are uniformly distributed

图4 任务分布均匀的CPSO配置结果图

发现,为了在满足各种约束的前提下又多又好地完成对地观测任务,任务完成度权重 α 和分辨率权重 β 应赋较大的值,前者对应完成任务的数量,后者对应完成任务的质量。在任务分布较均匀时,负载均衡度 γ 对结果几乎无影响;任务分布不均匀时负载均衡度 γ 对结果有一定影响。图5a和图5b分别为任务分布不均匀时 $\alpha:\beta:\gamma=10:9:1$ 和 $\alpha:\beta:\gamma=10:9:6$ 的结果,可以看出提高负载均衡度 γ 的比重使飞艇覆盖任务量趋于均匀。

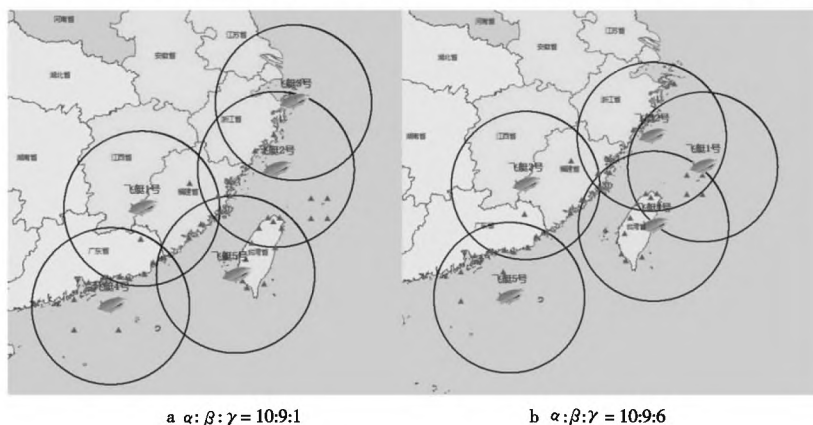
5 结束语

本文基于混沌粒子群优化算法,提出了平流层多飞艇资源配置规划方法,通过实验验证了方法的可行性和有效性。混沌优化可使粒子群算法扩大搜索范围、跳出局部最优。通过实验发现目标函数

的权值分配较为重要,应根据观测需要合理设置。同时,根据对地观测应急任务的需要,研究飞艇浮空位置动态调整和小范围机动技术,可作为进一步的研究方向。

参考文献:

- [1] Wang Yan-guang, Yao Wei, Li Yong. Development and application prospect of stratospheric airships [J]. Satellite & Network, 2010(4): 18-21. (in Chinese)
- [2] Yu Jing. Research on key technologies of cooperative task scheduling for airborne and spaceborne earth observing assets [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011. (in Chinese)
- [3] Hu Wei, Yang Jian-jun, He Ping. Research on fake satellite distribution based on deployment of stratospheric airships [J]. Radio Engineering, 2009, 39(10): 25-27. (in Chinese)
- [4] Wang Xu-yu, Gao Xin-bo, Zong Ru, et al. An optimal model and solution of deployment of airships for high altitude platforms[C]//Proc of International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2010: 78-84.
- [5] Dai Jing, Cheng Jian, Song Min. Detection resource scheduling of near space based on differential evolution [J]. Computer Engineering, 2010, 36(18): 220-222. (in Chinese)
- [6] Yin Ye-fei, Huang Shu-cai. Optimization deployment of multi-sensor platforms in near-space based on adaptive genetic algorithm[C]//Proc of International Conference on Information Engineering and Computer Science, 2009: 53-58.
- [7] Wang Ding-wei, Wang Jun-wei, Wang Hong-feng, et al. Intelligent optimization methods[M]. 1st ed. Beijing: Higher Education Press, 2007. (in Chinese)
- [8] Bi Lei. Research on mix-PSO algorithm and application of commercial site selection[D]. Tianjin: Nankai University, 2008. (in Chinese)
- [9] Hu Jin. Grid task scheduling algorithm under the improved PSO algorithm [D]. Changsha: Central South University,



a $\alpha:\beta:\gamma=10:9:1$

b $\alpha:\beta:\gamma=10:9:6$

Figure 5 CPSO deployment result
when tasks are not uniformly distributed

图5 任务分布不均匀的CPSO配置结果图

2011. (in Chinese)

- [10] Li Peng. An improved algorithm of particle swarm optimization [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2008. (in Chinese)

附中文参考文献:

- [1] 王彦广,姚伟,李勇. 平流层飞艇技术发展及其应用前景展望[J]. 卫星与网络, 2010(4): 18-21.
- [2] 余婧. 空天对地观测资源协同任务规划关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- [3] 呼玮,杨建军,何苹. 基于临近空间飞艇定位的伪卫星布局研究[J]. 无线电工程, 2009,39(10): 25-27.
- [5] 戴静,程建,宋敏. 基于差分进化的临近空间探测资源调度[J]. 计算机工程, 2010,36(18): 220-222.
- [7] 汪定伟,王俊伟,王洪峰,等. 智能优化方法[M]. 第一版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [8] 毕磊. 混合粒子群算法研究及其在商业网点选址中的应用[D]. 天津: 南开大学, 2008.
- [9] 胡金. 基于改进 PSO 算法的网格任务调度算法[D]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [10] 李鹏. 一种改进的粒子群优化算法[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2008.

作者简介:



李龙梅(1989-),女,湖北孝感人,硕士生,研究方向为智能优化和任务规划。
E-mail: Vivianlee527@163.com

LI Long-mei, born in 1989, MS candidate, her research interests include intelligent optimization, and mission planning.



伍江江(1982-),男,四川广安人,博士,讲师,研究方向为智能优化和任务规划。
E-mail: jiang_wu_820@sina.com

WU Jiang-jiang, born in 1982, PhD, lecturer, his research interests include intelligent optimization, and mission planning.



翟保荣(1987-),男,陕西泾阳人,博士生,研究方向为信息处理和信息系统技术。
E-mail: zhaibaorong@gmail.com

ZHAI Bao-rong, born in 1987, PhD candidate, his research interests include information processing, and information systems.



李军(1973-),男,湖南益阳人,博士,教授,研究方向为卫星规划技术和三维地理信息系统技术。
E-mail: junli@nudt.edu.cn

LI Jun, born in 1973, PhD, professor, his research interests include satellite scheduling, and 3D GIS.



景宁(1963-),男,重庆人,博士,教授,研究方向为信息处理与信息系统、空间数据库。
E-mail: ningjing@nudt.edu.cn

JING Ning, born in 1963, PhD, professor, his research interests include information processing and systems, and spatial database.

作者: [李龙梅](#), [伍江江](#), [翟保荣](#), [李军](#), [景宁](#), [LI Long-mei](#), [WU Jiang-jiang](#), [ZHAI Bao-rong](#), [LI Jun](#), [JING Ning](#)
作者单位: [国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南长沙, 410073](#)
刊名: [计算机工程与科学](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [Computer Engineering and Science](#)
年, 卷(期): 2014, 36(10)

参考文献(18条)

1. [Wang Yan-guang, Yao Wei, Li Yong. Development and application prospect of stratospheric airships\[J\]. Satellite & Network, 2010\(4\):18-21. \(in Chinese\) 2010](#)
2. [Yu Jing. Research on key technologies of cooperative task scheduling for airborne and spaceborne earth observing assets\[D\]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011. \(in Chinese\) 2011](#)
3. [Hu Wei, Yang Jian-jun, He Ping. Research on fake satellite distribution based on deployment of stratospheric airships\[J\]. Radio Engineering, 2009, 39\(10\):25-27. \(in Chinese\) 2009](#)
4. [Wang Xu-yu, Gao Xin-bo, Zong Ru, et al. An optimal model and solution of deployment of airships for high altitude platforms\[C\]//Proc of International Conference on Wireless Communications and Signal Processing \(WCSP\), 2010:78-84. 2010](#)
5. [戴静, 程建, 宋敏 基于差分进化的临近空间探测资源调度\[期刊论文\]-计算机工程 2010\(18\)](#)
6. [Yin Ye-fei, Huang Shu-cai. Optimization deployment of multisensor platforms in near-space based on adaptive genetic algorithm\[C\]//Proc of International Conference on Information Engineering and Computer Science, 2009:53-58. 2009](#)
7. [Wang Ding-wei, Wang Jun-wei, Wang Hong-feng, et al. Intelligent optimization methods\[M\]. 1st ed. Beijing: Higher Education Press, 2007. \(in Chinese\) 2007](#)
8. [Bi Lei. Research on mix-PSO algorithm and application of commercial site selection\[D\]. Tianjin: Nankai University, 2008. \(in Chinese\) 2008](#)
9. [Hu Jin. Grid task scheduling algorithm under the improved PSO algorithm\[D\]. Changsha: Central South University, 2011. \(in Chinese\) 2011](#)
10. [Li Peng. An improved algorithm of particle swarm optimization\[D\]. Changsha: Hunan Normal University, 2008. \(in Chinese\) 2008](#)
11. [王彦广, 姚伟, 李勇 平流层飞艇技术发展及其应用前景展望\[期刊论文\]-卫星与网络 2010\(04\)](#)
12. [余婧 空天对地观测资源协同任务规划关键技术研究\[学位论文\] 2011](#)
13. [呼玮, 杨建军, 何苹 基于临近空间飞艇定位的伪卫星布局研究\[期刊论文\]-无线电工程 2009\(10\)](#)
14. [戴静, 程建, 宋敏 基于差分进化的临近空间探测资源调度\[期刊论文\]-计算机工程 2010\(18\)](#)
15. [汪定伟, 王俊伟, 王洪峰, 等. 智能优化方法\[M\]. 第一版. 北京: 高等教育出版社, 2007. 2007](#)
16. [毕磊 混合粒子群算法研究及其在商业网点选址中的应用\[学位论文\] 2008](#)
17. [胡金 基于改进PSO算法的网格任务调度算法\[学位论文\] 2011](#)
18. [李鹏 一种改进的粒子群优化算法\[学位论文\] 2008](#)

引用本文格式: [李龙梅](#), [伍江江](#), [翟保荣](#), [李军](#), [景宁](#), [LI Long-mei](#), [WU Jiang-jiang](#), [ZHAI Bao-rong](#), [LI Jun](#), [JING Ning](#) 基于混沌粒子群的多飞艇资源配置规划方法[期刊论文]-计算机工程与科学 2014(10)