

基于演化算法的带侧摆多星点目标调度算法

王茂才*, 程 格, 戴光明, 宋志明

(中国地质大学 计算机学院, 武汉 430074)

(* 通信作者电子邮箱 cugwmc@163.com)

摘 要:针对成像卫星观测效率较低的问题,提出了一种侧摆情况下的多星点目标调度方法。首先分析了卫星与地面目标的角度关系、正负侧摆角度以及时间窗口的计算方法。在此基础上,以最大化观测收益、最小化侧摆次数及最小化总的侧摆角度为优化目标,建立了带侧摆的多星点目标调度模型。并基于演化算法,提出了一种载荷侧摆情况下优化调度算法。算法中采用任务级别的单点交叉算子,通过时间窗口的选取进行变异操作,定义了基于冲突度的适应度计算函数,通过调整活动的实际开始时间来减少冲突,基于目标的优先顺序设计了个体的选择策略,基于冲突代价的概念设计了冲突消除方法。最后,针对一个具体的实例,给出了5星100个点目标在侧摆情况下的调度与仿真结果,并对侧摆角度分别为0°、10°、25°时的调度性能进行了分析。实验结果表明,当侧摆角度为25°时,其观测效率比无侧摆时提高18%,该方法在应急救援及战时快速响应等应用上有着重要的价值。

关键词:调度算法;时间窗口;点目标;侧摆模式;演化算法

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Scheduling algorithm for multi-satellite and point target task on swinging mode based on evolution algorithm

WANG Maocai*, CHENG Ge, DAI Guangming, SONG Zhiming

(School of Computer Science, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Concerning the low efficiency of earth observation satellite, a scheduling method for multi-satellite and point target task on swinging mode was proposed. In this paper, the angle relation between satellites and ground targets and the computing method of the positive and negative swinging angle and time window were firstly analyzed. On the basis of these analyses, a scheduling model for multi-satellite and point target task on swinging mode was developed. In the model, the maximum observation was obtained, the minimum swinging number and the minimum total swinging angle were set as the optimization objectives. Based on evolution algorithm, an optimal scheduling algorithm on swinging mode was proposed. In the algorithm, the single point crossover operator and the mutation operation through the selection of time window were adopted. The fitness function based on conflict was defined. The conflicts were reduced by adjusting the actual start time of the activities. The selection strategy was designed according to the order of the optimization objectives. The conflicts were eliminated by defining the conflict cost. Finally, the scheduling result and the simulation of a practical example on 5 satellites and 100 point targets with swinging mode were given, and the scheduling performances were also analyzed with the swinging angle of 0°, 10° and 25°. The experimental results show that the observation efficiency improves by 18% when the swinging angle is 25°. The method has important application value in emergency relief and wartime rapid response.

Key words: scheduling algorithm; time windows; point target; swinging mode; evolution algorithm

0 引言

利用卫星在太空对地面进行观测,是目前获取地面信息的重要手段。随着科学技术和航天领域相关技术的发展,由于卫星对地观测分布范围广、时效性强、不受地域与国界限制等优点,而使得各行各业,如军事和经济等领域,对航天技术的需求越来越多^[1]。同时,各种各样的卫星、遥感器、中继卫星和地面接收站等相关设施的投入使用,给对地面控制系统的管理能力提出了重大的挑战^[2]。因此,如何最大限度地发挥资源的价值,充分利用各种资源,以获取最大的效益成为卫

星地面控制系统中一个重要的课题^[3]。

根据观测任务的区域面积的不同,可将任务分为点目标任务和区域目标任务^[4]。针对点目标观测任务,美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的 Frank 等^[5]和 Dungan 等^[6]将多星成像调度问题描述为约束优化问题,Chien 等^[7]为追踪未预期的地面事件对一组对地观测卫星进行调度,英国剑桥的 Abramson 等^[8]针对大量小卫星调度问题建立了整数线性规划模型,意大利的 Bianchessi 等^[9]基于整数规划数学模型,研究合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)卫星星座的任务规划问题,

收稿日期: 2013-05-22; **修回日期:** 2013-07-22。 **基金项目:** “十二五”民用航天预先研究基金资助项目;高分辨率对地观测系统重大专项预研项目;国家自然科学基金资助项目(61103144, 60873107);中国博士后科学基金特别资助项目(2012T50681);中国博士后科学基金资助项目(2011M501260);中央高校基本科研业务费专项(CUGL090241)。

作者简介: 王茂才(1974-),男,湖北襄阳人,副教授,博士,主要研究方向:优化算法设计、卫星任务规划调度;程格(1991-),女,湖北天门人,硕士研究生,主要研究方向:成像卫星任务规划调度;戴光明(1964-),男,安徽安庆人,教授,博士,主要研究方向:优化算法;宋志明(1986-),男,山东淄博人,博士研究生,主要研究方向:成像卫星任务规划调度。

德国的 Florio^[10] 采用优先级分配策略解决 SAR 卫星星座任务规划问题。国内研究中,贺仁杰等^[11] 建立了成像侦察卫星调度问题的约束满足问题模型和混合整数规划模型;李菊芳等^[12] 多星多地面站的混合约束规划模型;王钧等^[13] 针对多星成像调度问题,采用全局优化和阶段优化两种处理策略;白保存等^[14] 针对多星成像采用快速模拟退火和自适应蚁群算法进行求解。

这些研究都针对点目标的调度方法进行了研究并取得了较好的结果,但是这些成像卫星调度方案,都没有考虑卫星的侧摆。卫星在侧摆成像时,通过合理选定遥感设备每次的观测摆角,可使卫星在任务时间段内对目标区域的空间覆盖率增大,观测时间增长,从而有效提高卫星的观测效率。本文提出了一种侧摆情况下的多星点目标调度模型,并基于遗传算法,设计了相应的带侧摆的多星点目标调度算法。

1 相关计算

1.1 卫星与地面目标的角度关系

卫星与地面目标的角度关系^[15] 如图 1 所示,其中: θ 为星下点角, φ 为地心角, ζ 为卫星的仰角。

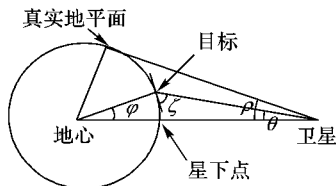


图 1 卫星与地面目标的角度关系

首先求地球半径 ρ :

$$\sin \rho = \frac{R_E}{R_E + H} \quad (1)$$

已知 θ , 则可由几何关系式 $\sin \theta = \cos \zeta \sin \rho$ 求得卫星的仰角:

$$\zeta = \arccos \frac{\sin \theta}{\sin \rho} \quad (2)$$

则通过关系式 $\varphi + \theta + \zeta = 90^\circ$ 可以求得地心角:

$$\varphi = 90^\circ - \theta - \arccos \frac{\sin \theta}{\sin \rho} \quad (3)$$

根据覆盖角度以及遥感器的视场角与侧摆角度,可以得到该时刻遥感器对目标点的覆盖状况以及覆盖所需要的遥感器的最小侧摆角度。

1.2 侧摆角度正负计算

在侧摆时,用正负来表示遥感器侧摆的方向。卫星围绕地球转动,在地心天球系里,若不考虑地球摄动的影响,卫星的轨道平面是固定的,在卫星调度周期内取两个时刻点 t_a 和 t_b , 其中 $t_a < t_b$, 分别计算卫星 t_a, t_b 时刻在天球系下位置 P_a, P_b , P_a, P_b 可分别作为 t_a, t_b 时刻卫星在天球系下的位置向量,计算这两个向量的叉积即可得到 $[t_a, t_b]$ 时间段卫星运行平面的法向量 $\text{planeVector}_{\text{sat}}$, 将 t_a 时刻目标点 target 的位置坐标转换为天球系下的位置向量为 $\text{Target}_{\text{ECI}}$, 然后将 $\text{planeVector}_{\text{sat}}$ 与 $\text{Target}_{\text{ECI}}$ 进行点积运算,若运算结果大于 0,则表示 t_a 时刻目标点在轨道的正侧,如果需要侧摆,其侧摆角度一定大于 0,若运算结果小于 0,则表示 t_a 时刻目标点在轨道的反侧,如果需要侧摆,其侧摆角度一定小于 0^[16]。

1.3 时间窗口计算

在卫星调度过程中,时间窗口的计算是个基本且必不可少的过程。本文中,首先通过时间样点进行粗略计算,然后通

过迭代二分法进行精确求解,直到达到所要求的精度为止。在调度时间段 $(t_{\text{spanB}}, t_{\text{spanE}})$ 内,选择某个合适的时间步长来对时间进行取样,一般而言,可以以卫星星下点移动幅宽大小所需的时间为步长,从而得到一系列时间样点 (t_1, t_2, \dots, t_n) , 然后对某个时间样点 t_i , 在给定的遥感器视场角和允许侧摆角度情况下,通过求取地心角来判断目标点是否在此刻被覆盖,计算出样点 t_i 被覆盖后,规定此时的时间窗口为 $[t_i, t_i]$, 如果相邻时间样点 t_{i+1} 时刻也被覆盖,则时间窗口为 $[t_i, t_{i+1}]$, 直到该时间窗口的前后时间样点都不能被覆盖位置,此时的时间窗口为 $[t_i, t_j]$ 。然后计算 $\frac{t_{i-1} + t_i}{2}$ 和 $\frac{t_j + t_{j+1}}{2}$ 的覆盖情况。目前只讨论向前找到最早开始时间的情况,如果 $\frac{t_{i-1} + t_i}{2}$ 时刻目标点能被覆盖,则时间窗口变为 $[\frac{t_{i-1} + t_i}{2}, t_j]$, 然后计算目标点在 $(\frac{t_{i-1} + t_i}{2} + t_{i-1})/2$ 时刻能否被覆盖;否则时间窗口仍为 $[t_i, t_j]$, 然后计算 $(\frac{t_{i-1} + t_i}{2} + t_i)/2$ 时刻目标点被覆盖的情况,以此二分法将时间进行划分,直到达到时间窗口所需的精度为止。

2 调度模型

载荷侧摆情况下多星点目标调度问题可以描述为在 m 个遥感设备(资源集合 M) 安排 n 个点目标观测任务(活动集合 J)。对于每一个活动 $j \in J$, 只有资源子集 $M_j \subseteq M$ 可以满足其执行要求,虽然由于卫星在其轨道上的高速运行,对于点目标而言,只需要某一时刻能覆盖到该点即表示能完成,但是为了保证所成图像的清晰度,本文还是当载荷对该点目标覆盖的时间段为一定值 $p_{j,k}$ 时才认为该点目标任务被完成。而且对于需要占用同一资源 k 的活动 i 和活动 j , 不妨假设活动 j 在活动 i 之后执行,那么活动 i 执行完成后,由于载荷状态或姿态的调整需要一个转换时间 $s_{i,j,k}$, 之后活动 j 才能开始被执行。由于资源能力、用户要求和调度时间的限制,活动可能不能全部被安排,而每一个活动 i 都有其对应的权值 c_i , 它代表该活动被完成时可获得的收益值。当活动不能全部被安排时,应尽量产生总收益值比较大的方案。

本文中,一个最优的调度方案应满足以下条件:

- 1) 每一个活动只能在自己的满足约束条件的时间窗口内被执行;否则,认为该活动未被执行。
- 2) 每一个活动执行只能占用满足其要求的资源中的一个资源,且执行过程不能被中断。
- 3) 每一个资源在任何时候都只能同时执行一个活动。
- 4) 所安排执行的活动的总权值最大。
- 5) 在满足活动的总权值最大的前提下,载荷侧摆的次数最小。
- 6) 在满足活动的总权值最大的前提下,载荷侧摆的角度和最小。

为每一个活动 i 定义变量 u_i , $u_i = 1$ 表示活动被安排执行;否则 $u_i = 0$ 。为活动 i 定义变量 angle_i, w_i , 其中 angle_i 表示对应的载荷完成活动 i 所需要侧摆的角度大小。若 $\text{angle}_i = 0$, 则表示完成活动 i 载荷不需要进行侧摆操作就可完成,此时 $w_i = 0$; 否则 $w_i = 1$ 。目标函数可定义为:

$$\max: \sum_{i=1}^n c_i u_i \quad (4)$$

$$\min: \sum_{i=1}^n w_i \quad (5)$$

$$\min: \sum_{i=1}^n angle_i \quad (6)$$

其中 c_i 为活动 i 的权值。对于载荷侧摆情况下多星点目标调度问题,本文考虑了三个目标函数,但这三个目标函数并不是等价的,而是呈支配关系的。在求解过程中将优先考虑第一个目标,最大化整体的收益值,只有当第一个目标优化完成后,才会在不降低第一个目标的基础上优化第二个目标。在第二个目标优化完成后,再对第三个目标进行优化。因此,该载荷侧摆调度问题虽然有三个目标函数,但并不需要采用多目标优化算法来对其进行优化,它是一个分级优化问题,可先优化第一个目标,然后再优化第二个、第三个目标。

3 调度算法

3.1 种群初始化

本文采用随机初始化方法产生种群个体,为预处理阶段所得的每个存在时间窗口的任务(即有可能被安排完成的活动)在可使用的时间窗口内随机选取合适的时间窗口,选定了对应的时间窗口后,需要确定所对应的载荷的侧摆角度的大小。在考虑在载荷侧摆情况下的调度问题,由于预处理阶段所获得的时间窗口为载荷在允许侧摆角度最大时所获得的时间窗口 $[t_1, t_2]$,则该时间窗口初始化时对应的侧摆角度范围 $[angle_{\min}, angle_{\max}]$ 为 $[0, angle_{\max}]$,考虑到优化的目标函数包含使侧摆角度次数和侧摆角度和最小,为了提高算法的收敛速度,在初始化每个任务完成所需的侧摆角度 $angle$ 时默认为不侧摆,即 $angle = 0$,然后在时间段 $[t_1, t_2]$ 内计算该任务 i 在侧摆角度为 $angle$ 时是否能被所选择的载荷所覆盖完成。若当侧摆角度为 $angle$ 时,在时间段 $[t_1, t_2]$ 中存在对应的时间窗口 $[t_{start}, t_{end}]$,则该任务所对应的基因中表示的侧摆角度大小为 $angle$;若当侧摆角度为 $angle$ 时,在时间段 $[t_1, t_2]$ 内不存在对应的时间窗口,则表示在载荷侧摆角度为 $angle$ 时还不能完成对该点目标的覆盖,需要重新调整侧摆角度,即 $angle$ 的值。此时在该时间窗口下载荷对应的侧摆角度范围更新为 $[angle, angle_{\max}]$,然后在 $[angle, angle_{\max}]$ 范围内随机产生新的 $angle$ 的值,迭代更新选取,直到获得在时间段 $[t_1, t_2]$ 内存在对应的时间窗口。在迭代过程中,为了防止迭代陷入无限循环,当迭代结果满足一定的精度范围时,直接令 $angle = angle_{\max}$,即该任务在所选择的载荷侧摆角度最大时存在对应的时间窗口,此时该任务所对应的基因中表示的侧摆角度大小为 $angle$ 。在确定了对应载荷的侧摆角度大小后,根据前面介绍的计算侧摆角度正负的方法来获得对应的侧摆方向。

3.2 交叉算子

交叉算子是根据两个解进行一定程度的信息交换来生成新的解。在遗传算法中,一般通过设置交叉概率来控制种群中参与交叉操作的个体的百分比。本文采用的是任务级别的单点交叉算子,具体过程为:随机选择两个需要进行交叉操作的个体 Pop_1 和 Pop_2 ,然后同样随机产生要交叉的位置,选择好交叉点后,将该位置之后的所有任务连同任务上的时间窗口序列一同交换即可。将新产生的两个个体都添加到种群中。

3.3 变异算子

在遗传算法中,变异算子根据一个个体通过基因变异产生新的个体,它本质上是根据一个解对其邻域范围进行一定程度的搜索,同交叉算子一样,它也需要一个变异概率来控制

种群中变异个体的百分比。变异算子根据问题和编码方式的不同,所采用的变异方式也各式各样,本文选择对时间窗口的选取进行变异。在选择了一个个体后,随机选择需要进行变异的基因位,确定该基因位所表示的任务,选择完成该任务所需要的卫星载荷,判断该载荷在调度时间段内对该点目标任务是否存在多个覆盖时间窗口,若存在,则进行变异操作,在这多个可选的时间窗口中,选择新的时间窗口来完成对该点目标的覆盖任务。在选择了时间窗口后,同样存在一个选择载荷侧摆角度大小和判断载荷侧摆方向的问题,这些参数的选取方法与产生初始化个体中采用的方法相同。在完成对该基因所表示的任务的时间窗口的新的选择后,对应新的个体也产生了,将新的个体加入到种群中。

3.4 个体评价

对于载荷侧摆情况下多星点目标调度问题,在调度过程中,由于存在时间窗口的选择的问题,在使用遗传算法进行求解时,种群中可能会存在不满足时间约束的个体,在遗传算法中对非可行解引入冲突度的概念,所谓冲突度 δ ,即指该个体所对应的调度方案中,各基因所表示的任务间由于一些约束条件的限制而导致的冲突,冲突度是整个个体中冲突所出现的次数。基于冲突度的适应度函数值的计算式如下:

$$f_i = \frac{Cost(i)}{(1 + \delta_i)^2} \quad (7)$$

其中:分母 $(1 + \delta_i)^2$ 的目的在于加大惩罚的力度以尽量避免有冲突的个体; $Cost(i)$ 为个体的整体收益值; δ_i 为个体的冲突度。本文个体中的基因满足以下条件时表明存在时间冲突:

$$(t_i + p_{i, satNo_i} + t_{switch} + (fabs(gene_i, angle) + fabs(gene_j, angle)) * rate \geq t_j) \&\& (t_j + p_{j, satNo_j} + t_{switch} + (fabs(gene_i, angle) + fabs(gene_j, angle)) * rate \geq t_i) \quad (8)$$

其中: t_i 表示活动 i 实际开始执行的时间; $satNo_i$ 表示活动 i 占用的卫星资源, $p_{i, satNo_i}$ 表示活动 i 占用资源 $satNo_i$ 的时间,即完成活动 i 所需要的时间; t_{switch} 表示卫星完成活动 i 后若执行活动 j 所需要的状态转换时间; $gene_i$ 表示个体中的活动 i 所对应的基因; $rate$ 表示载荷侧摆的速率。只有当活动 i 与活动 j 占用同一卫星资源,才需要对冲突判断,即当 $satNo_i = satNo_j$ 时需要使用式(8)来判断 $gene_i, gene_j$ 之间是否存在冲突, $(fabs(gene_i, angle) + fabs(gene_j, angle)) * rate$ 表示载荷在完成活动 i 后转去执行活动 j 所需要的姿态调整时间。

在对个体评价时,将计算的冲突度适应度函数值作为第一个目标值,第二个目标值所有载荷侧摆的次数和第三个目标值载荷侧摆角度和直接通过每个个体中所有基因的 $angle$ 属性来计算。

3.5 冲突减少算子

在初始化和交叉变异等算子中,会产生许多具有冲突的个体,对于有冲突的个体,虽然在评价个体中计算个体的适应度函数时通过罚函数来选择冲突值比较小的个体,但这样并不能减少个体间的冲突,因而为了尽可能将有冲突的个体优化为无冲突的个体,在算法中加入了减少冲突算子。

在存在冲突的个体中,每一个基因所表示的活动 i 都存在于一个最早开始执行时间 $t_{earliest}$ 和最晚开始执行时间 t_{latest} ,活动 i 的实际开始执行时间 $t_i \in [t_{earliest}, t_{latest}]$,通过在允许范围内调整 t_i 的值,可以减小个体的冲突值。本文中,对于每一个冲突个体,通过随机调整 t_i 来产生 N 个新的个体,在这 $N+1$ 个个体中选择一个冲突值最小的个体保留在种群中。

3.6 选择算子

算法中的选择算子主要是从父代中选择比较好的个体保留到下一代,它用于指导算法的整个种群的进化方向。

本文采用锦标赛选择的方法,根据目标函数的优先级,选择一定数量的个体进入下一代,对于个体 ind_i 和个体 ind_j , 进行比较选择的方法为:

if($ind_i.obj[0] > ind_j.obj[0]$) 选择 ind_i ;
else if($ind_i.obj[1] < ind_j.obj[1]$) 选择 ind_i ;
else if($ind_i.obj[2] < ind_j.obj[2]$) 选择 ind_i ;
else 选择 ind_j ;

其中 $obj[0]$ 、 $obj[1]$ 、 $obj[2]$ 分别对应个体整体收益值、个体所对应的载荷侧摆次数、个体所对应的载荷侧摆角度和。

3.7 冲突消除算子

为了减少解的冲突值,获得最佳的调度方案,虽然已经采用了罚函数和减少冲突算子来减小个体的冲突度,尽可能获取没有冲突度的可行解。但由于卫星载荷类型、用户需求、目标点位置和调度时间段等因素的影响,可能点目标任务不能被全部覆盖完成,会存在因时间窗口冲突的原因而无法完成的任务。若最终的个体中具有冲突值,则该个体所对应的调度方案是不可取的,因而对于存在冲突值的个体必须进行冲突消除,因而设计了冲突消除算子。

本文为每个基因即活动定义其冲突代价的概念,冲突代价这里定义为:对于活动 i ,计算所有与活动 i 有时间冲突的活动的权值和,将其作为活动 i 的冲突代价。对于具有冲突值的个体,计算其所有活动所对应的冲突代价,然后删除冲突代价最大的活动,之后重新判断该个体是否还存在冲突,若存在,则依照相同的方法进行删除操作,直到不存在冲突为止,此时生成的个体即为可行最优调度方案。

4 仿真算例

4.1 调度周期信息

本文选取的调度周期为 [1 Jul 2012 00:00:00.000 UTCG, 1 Jul 2012 18:00:00.000 UTCG], 共 18 h。此处的 UTCG 表示格里高里协调世界时 (Gregorian Universal Time Coordinated, UTCG)。

4.2 卫星系统参数

本文选取了 SPOT-5、MTI、ORBVIEW-3、IKONOS-2、EO-1 共 5 颗卫星构成一个卫星星座进行实验,这些卫星的轨道参数、传感器参数都是公开的。在研究载荷侧摆情况下的多星点目标覆盖调度问题中,需要对卫星载荷的视场角和可最大侧摆角度进行设置,由于没有查找到相关资料且载荷的视场角大小与允许侧摆的最大角度对该调度问题的研究性质不存在影响,故本文自行设置了各星载传感器的视场角大小和最大侧摆角度,并且为了比较载荷在不同的最大侧摆角度时对多星点目标覆盖调度问题的影响,对各星载传感器的最大侧摆角度分别设置了三组参数,分别为 0° (即载荷不侧摆情况下的调度问题)、 10° 、 25° 。

4.3 地面点目标设计

地面点目标即观测目标,本文在地球陆地范围内随机选取了 100 个地面点目标,它的分布具有一定的代表性。地面点目标的具体分布如图 2 所示,图中底部的数值代表经度,左边的数值表示纬度,图中标注的是地面点目标的名称,所有的地面点目标的名称均由英文标注,其对应卫星目标三维可视化图见图 3。完成每个点目标任务的收益值在 {1,2,3,4,5}

内随机选取。

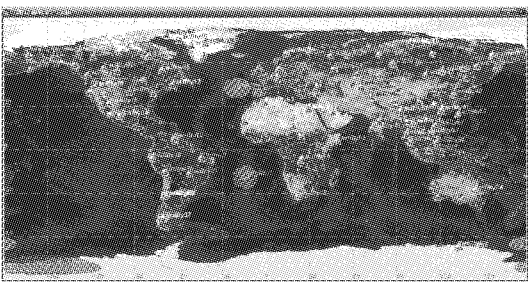


图2 地面点目标分布



图3 卫星目标三维可视化图

设置用户观测目标对星载遥感器图像类型的具体需求为:目标 1~目标 30 为全色图像需求,目标 31~目标 60 为多光谱图像需求,目标 61~目标 100 为超光谱图像需求。观测任务时长统一设置为 1 s,载荷状态调整时长设置为 3 s,载荷侧摆速率 $rate$ 设置为每度 0.5 s。

4.4 调度结果

通过调度预处理,可以得到每个观测点目标任务的可选资源和可用时间窗口,并且计算出因不存在时间窗口而无法完成的任务,将存在时间窗口的预处理结果作为调度模型的数据输入。通过本文算法进行求解,分别得到侧摆角度为 0° 、 10° 、 25° 的调度结果,在相同的参数下,其对应的目标任务完成情况 & 总收益详见表 1。

表 1 侧摆角度分别为 0° 、 10° 、 25° 任务完成情况				
最大侧摆角/ $(^{\circ})$	完成目标数量	总收益	侧摆次数	侧摆角度和/ $(^{\circ})$
0	81	239	0	0
10	94	284	22	170.427
25	99	296	49	967.960

图 4~6 分别给出了在侧摆角度为 0° 、 10° 、 25° 情况下任务的完成情况。其中没有时间窗口的任务是指在调度时间范围内,地面点目标与所有的载荷遥感器均不可见,或可见的时间窗口时间段太短,不能满足完成该点目标的时间要求。

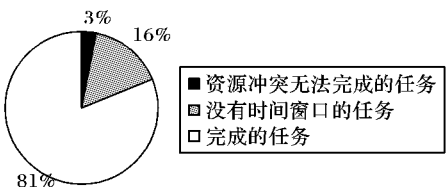


图4 侧摆角度为 0° 时任务完成情况

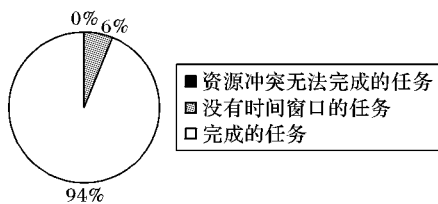


图5 侧摆角度为10°时任务完成情况

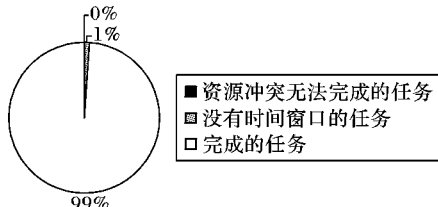


图6 侧摆角度为25°时任务完成情况

从表1和图4~6可以看到,载荷通过侧摆,能明显地增加目标的完成数量,从而提高对应调度方案的总收益值,理论上而言,载荷侧摆能力越强,所完成的目标点的数目越多,对应的收益值越高,但是由于载荷侧摆需要能量,而且载荷侧摆的能力对设备要求比较高,因而载荷侧摆角度比较大时,所需要的成本花费比较高。同时,结果显示,当载荷侧摆达到一定的角度后,提高载荷侧摆的能力对最后的总收益值影响不会很大。

5 结语

为充分利用各种资源,最大限度地发挥资源的价值,获取最大的成像效益,本文以最大化成像的综合效益为第一原则、最小化侧摆次数为第二原则、最小化总的侧摆角度为第三原则,建立了带侧摆的多星点目标调度模型;并基于演化算法,提出了一种载荷侧摆情况下多星点目标调度算法。本文重点设计了演化算法的种群初始化、交叉算子、变异算子、个体评价、冲突减少算子、选择算子以及冲突消除算子。最后,本文给出了一个具体的测试实例,给出了5星100个点目标在侧摆情况下的调度及仿真结果,并对侧摆角度分别为0°、10°、25°时的调度性能进行了分析。

参考文献:

- [1] 戴光明,王茂才.多目标优化算法及在卫星星座设计中的应用[M].武汉:中国地质大学出版社,2009:1-116.
- [2] LEMAITRE M, VERFAILLIE G. Daily management of an earth observing satellite: comparison of ILOG solver with dedicated algorithms for valued constraint satisfaction problems [C]// Proceedings

of the 3rd ILOG International Users Meeting. Paris: [s. n.], 1997: 1-9.

- [3] PEMBERTON J. Towards scheduling over-constrained remote sensing satellites [C]// Proceedings of the 2nd NASA International Workshop on Planning and Scheduling for Space. San Francisco: Space Telescope Science Institute, 2000: 1-13.
- [4] BENSANA E, VERFAILLIE G, LEMAITRE M. Earth observing satellite management [J]. Constraints, 1999, 4(3): 293-299
- [5] FRANK J, JONSSON A, MORRIS R, *et al.* Planning and scheduling for fleets of earth observing satellites [C]// Proceedings of the 6th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space. Montreal: The Press of Carnegie Mellon University, 2002: 1-8.
- [6] DUNGAN J, FRANK J, JONSSON A, *et al.* Advances in planning and scheduling of remote sensing instruments for fleets of earth orbiting satellites [EB/OL]. [2013-02-23]. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part1/paper/00001.pdf>.
- [7] CHIEN S, CICHY B, DAVIES A, *et al.* An autonomous earth-observing sensorweb [J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(3): 16-24.
- [8] ABRAMSON M, CARTER D, KOLITZ S, *et al.* Real-time optimized earth observation autonomous planning [EB/OL]. [2013-02-22]. [http://www.estc.nasa.gov/conferences/estc-2002/Papers/A5P1\(Abramson\).pdf](http://www.estc.nasa.gov/conferences/estc-2002/Papers/A5P1(Abramson).pdf).
- [9] BIANCHETTI N, RIGHINI G. Planning and scheduling algorithms for the COSMO-SkyMed constellation [J]. Aerospace Science and Technology, 2008, 12(7): 535-544.
- [10] FLORIO S D. Performances optimization of remote sensing satellite constellations: a heuristic method [EB/OL]. [2013-03-02]. <http://www.stsci.edu/largefiles/iwps/20069151043Paper.pdf>.
- [11] 贺仁杰,高鹏,白保存,等.成像卫星任务规划模型、算法及其应用[J].系统工程理论与实践,2011,31(3):411-422.
- [12] 李菊芳,白保存,陈英武,等.多星成像调度问题基于分解的优化算法[J].系统工程理论与实践,2009,29(8):134-143.
- [13] 王钧,李军,陈健,等.多目标EOS联合成像调度方法[J].宇航学报,2007,28(2):354-359.
- [14] 白保存,徐一帆,贺仁杰,等.卫星合成观测调度的最大覆盖模型及算法研究[J].系统工程学报,2010,25(5):651-658.
- [15] 樊鹏山,熊伟,李智.载荷侧摆情况下卫星覆盖区域计算方法研究[C]//系统仿真技术及其应用学术会议论文集.合肥:中国科学技术大学出版社,2009:536-540.
- [16] 宋志明.面向区域目标的卫星调度问题的研究与仿真[D].武汉:中国地质大学,2011.

(上接第3096页)

- [8] BERLANGA F J, RIVERA A J, del JESUS M J, *et al.* GP-COACH: Genetic Programming-based learning of COmpact and ACcurate fuzzy rule-based classification systems for high-dimensional problems [J]. Information Sciences, 2010, 180(8): 1183-1200.
- [9] YU L, YUE W, WANG S, *et al.* Support vector machine based multiagent ensemble learning for credit risk evaluation [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(2): 1351-1360.
- [10] HSIEH N C, HUNG L P. A data driven ensemble classifier for credit scoring analysis [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 534-545.
- [11] WANG G, MA J, HUANG L H, *et al.* Two credit scoring models based on dual strategy ensemble trees [J]. Knowledge-Based Systems, 2012, 26: 61-68.
- [12] WAN J, ZHANG Z, YAN J, *et al.* Sparse Bayesian multi-task learning for predicting cognitive outcomes from neuroimaging measures in Alzheimer's disease [C]// Proceedings of 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Science, 2012: 940-947.
- [13] WIPF D P, RAO B D. Sparse Bayesian learning for basis selection [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(8): 2153-2164.
- [14] TIPPING M E. Sparse Bayesian learning and the relevance vector machine [J]. The Journal of Machine Learning Research, 2001, 1: 211-244.
- [15] UCI Machine Learning Repository [EB/OL]. [2013-05-07]. <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>.