



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107239860 B

(45)授权公告日 2018.02.23

(21)申请号 201710415398.9

G06N 3/12(2006.01)

(22)申请日 2017.06.05

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 102523585 A, 2012.06.27, 说明书第37-69段.

申请公布号 CN 107239860 A

CN 103840457 A, 2014.06.04, 说明书第131-146段.

(43)申请公布日 2017.10.10

(73)专利权人 合肥工业大学

CN 104112237 A, 2014.10.22, 说明书第54-87段.

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路193号

CN 106130661 A, 2016.11.16, 说明书第63-87段.

(72)发明人 夏维 孙海权 胡笑旋 靳鹏

CN 106289691 A, 2017.01.04, 说明书第85-108段.

王超超 张海龙 罗贺 马华伟

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司

CN 105955812 A, 2016.09.21, 全文.

11002

US 2003/0069864 A1, 2003.04.10, 全文.

代理人 王莹

审查员 刘剑

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

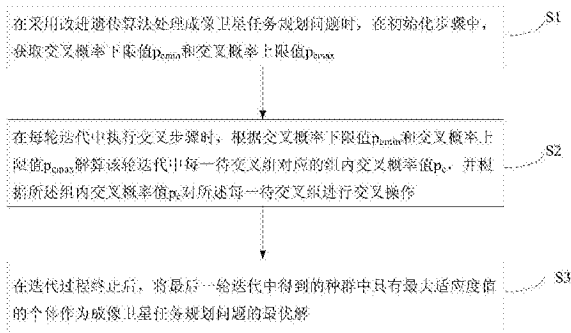
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种成像卫星任务规划方法

(57)摘要

本发明涉及一种成像卫星任务规划方法,包括:在初始化步骤中,获取交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ ;在每轮迭代中执行交叉步骤时,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作;在迭代过程终止后,将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解。本发明提供的处理方法能够保证求解的观测任务规划具有较好的质量,且处理效率高。



1. 一种成像卫星任务规划方法,其特征在于,采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题,包括以下步骤:

步骤S1、在初始化步骤中,获取交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ ;

步骤S2、在每轮迭代中执行交叉步骤时,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作;

步骤S3、在迭代过程终止后,将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解;

所述步骤S2中,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,具体包括:

根据第一公式解算每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,所述第一公式为:

$$p_c = \begin{cases} \frac{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(p_{cmax}-p_{cmin})}{1 + \exp(A_c(\frac{f' - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}}))} + p_{cmin} & f' \geq f_{avg} \\ p_{cmax} & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

其中, $N_p$ 为所述改进遗传算法的种群规模, $f_{max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f'$ 表示每一待交叉组中的两个个体对应的适应度值中的较大值, $A_c$ 为交叉调整因子。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述步骤S1还包括:在初始化步骤中,获取变异概率下限值 $p_{min}$ 和变异概率上限值 $p_{max}$ ;相应地,

在所述步骤S2之后,步骤S3之前,所述方法还包括:在每轮迭代中执行变异步骤时,根据变异概率下限值 $p_{min}$ 和变异概率上限值 $p_{max}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,并根据所述个体变异概率值 $p_m$ 对所述每一待变异操作的个体进行变异操作。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据变异概率下限值 $p_{min}$ 和变异概率上限值 $p_{max}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,具体包括:

根据第二公式解算每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,所述第二公式为:

$$p_m = \begin{cases} \frac{p_{max}-p_{min}}{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(1 + \exp(A_m(\frac{f - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}})))} + p_{min} & f \geq f_{avg} \\ p_{max} & f \leq f_{avg} \end{cases}$$

其中, $N_p$ 为遗传算法的种群规模, $f_{max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f$ 表示待变异操作的个体对应的适应度值, $A_m$ 为变异调整因子。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法,其特征在于,所述步骤S1还包括:在初始化步骤中,采用实数编码方式对成像卫星任务规划的初始方案进行编码,得到遗传算法的初始解;相应地,

所述步骤S3还包括：对成像卫星任务规划的最优解进行解码，得到成像卫星任务规划的最优方案。

5. 根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述初始方案或最优方案中包括真实卫星的待执行任务序列和一颗虚拟卫星记录的不可执行任务序列，所述待执行任务序列中包括按照时间先后顺序排列的对地观测任务时间窗和对地下传任务时间窗，每个所述对地观测任务时间窗与一对地观测目标相对应，每个所述对地下传任务时间窗与一地面站相对应。

6. 根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

将所述最优方案中与每一颗卫星对应的待执行任务序列发送至该卫星中，使得该卫星执行所述待执行任务序列。

7. 一种成像卫星任务规划装置，其特征在于，采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题，包括：

接收模块、与所述接收模块连接的处理模块；

所述接收模块用于接收待多个卫星执行的的对地观测任务；

所述处理模块用于采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划，具体包括：

在初始化步骤中，获取交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ ；

在每轮迭代中执行交叉步骤时，根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ，

具体包括：

根据第一公式解算每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ，所述第一公式为：

$$p_c = \begin{cases} \frac{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(p_{cmax}-p_{cmin})}{1 + \exp(A_c(\frac{f' - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}}))} + p_{cmin} & f' \geq f_{avg} \\ p_{cmax} & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

其中， $N_p$ 为遗传算法的种群规模， $f_{max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值， $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值， $f'$ 表示每一待交叉组中的两个个体对应的适应度值中的较大值， $A_c$ 为交叉调整因子；

并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作；

在迭代过程终止后，将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解。

8. 根据权利要求7所述的装置，其特征在于，所述处理模块用于采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划，具体还包括：

在初始化步骤中，获取变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ ；相应地，

在每轮迭代中执行变异步骤时，根据变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ，并根据所述个体变异概率值 $p_m$ 对所述每一待变异操作的个体进行变异操作；

和/或

在初始化步骤中，采用实数编码方式对成像卫星任务规划的初始方案进行编码，得到

遗传算法的初始解;相应地,

对成像卫星任务规划的最优解进行解码,得到成像卫星任务规划的最优方案。

9. 根据权利要求7所述的装置,其特征在于,还包括:与处理模块连接的发射模块;

所述发射模块用于将每一颗卫星的待执行任务序列发送至该卫星中,使得该卫星按照规划的待执行任务序列执行观测任务和/或下传任务。

## 一种成像卫星任务规划方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及计算机技术,特别是一种任务规划方法及装置。

### 背景技术

[0002] 为了使地球成像卫星更好地发挥作用,任务规划技术显得尤为关键。任务规划的含义是指对待执行的观测任务进行排程、资源匹配,以及对卫星及其载荷的工作时域、空域和模式等进行确定,并制定详细工作计划的过程,其目的是驱动卫星资源科学、高效地执行任务。成像卫星任务规划必须在复杂的约束条件下和多种优化目标下完成,因此其问题维度广,优化空间大,目前多采用智能算法得出其近似最优解。

[0003] 现有技术中遗传算法在处理成像卫星任务规划时具有一定的优势,但确定的最优任务序列通常不是全局最优解,且收敛慢,处理时间较长。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术中遗传算法处理成像卫星任务规划时确定的最优任务序列通常不是全局最优解,且收敛慢,处理时间较长这一技术问题,本发明提供一种成像卫星任务规划方法和装置。

[0005] 第一方面,本发明提供一种成像卫星任务规划方法,基于改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题,包括以下步骤:

[0006] 步骤S1、在初始化步骤中,获取交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ ;

[0007] 步骤S2、在每轮迭代中执行交叉步骤时,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作;

[0008] 步骤S3、在迭代过程终止后,将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解。

[0009] 可选地,所述步骤S1还包括:在初始化步骤中,获取变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ ;相应地,

[0010] 在所述步骤S2之后,步骤S3之前,所述方法还包括:在每轮迭代中执行变异步骤时,根据变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,并根据所述个体变异概率值 $p_m$ 对所述每一待变异操作的个体进行变异操作。

[0011] 可选地,所述步骤S2中,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,具体包括:

[0012] 根据第一公式解算每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,所述第一公式为:

$$[0013] \quad p_c = \begin{cases} \frac{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(p_{cmax}-p_{cmin})}{1+\exp(A_c(\frac{f'-f_{avg}}{f_{max}-f_{avg}}))} + p_{cmin} & f' \geq f_{avg} \\ p_{cmax} & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0014] 其中,  $N_p$  为遗传算法的种群规模,  $f_{max}$  表示该轮迭代中种群的最大适应度值,  $f_{avg}$  表示该轮迭代中种群的平均适应度值,  $f'$  表示每一待交叉组中的两个个体对应的适应度值中的较大值,  $A_c$  为交叉调整因子。

[0015] 可选地, 所述根据变异概率下限值  $p_{mmin}$  和变异概率上限值  $p_{mmax}$  解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值  $p_m$ , 具体包括:

[0016] 根据第二公式解算每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值  $p_m$ , 所述第二公

$$\text{式为: } p_m = \begin{cases} \frac{p_{mmax}-p_{mmin}}{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(1+\exp(A_m(\frac{f-f_{avg}}{f_{max}-f_{avg}})))} + p_{mmin} & f \geq f_{avg} \\ p_{mmax} & f \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0017] 其中,  $N_p$  为遗传算法的种群规模,  $f_{max}$  表示该轮迭代中种群的最大适应度值,  $f_{avg}$  表示该轮迭代中种群的平均适应度值,  $f$  表示待变异操作的个体对应的适应度值,  $A_m$  为变异调整因子。

[0018] 可选地, 所述步骤 S1 还包括: 在初始化步骤中, 采用实数编码方式对成像卫星任务规划的初始方案进行编码, 得到遗传算法的初始解; 相应地,

[0019] 所述步骤 S3 还包括: 对成像卫星任务规划的最优解进行解码, 得到成像卫星任务规划的最优方案。

[0020] 可选地, 所述初始方案或最优方案中包括真实卫星的待执行任务序列和一颗虚拟卫星记录的不可执行任务序列, 所述待执行任务序列中包括按照时间先后顺序排列的对地观测任务时间窗和对地下传任务时间窗, 每个所述对地观测任务时间窗与一对地观测目标相对应, 每个所述对地下传任务时间窗与一地面站相对应。

[0021] 可选地, 所述方法还包括:

[0022] 将所述最优方案中与每一颗卫星对应的待执行任务序列发送至该卫星中, 使得该卫星执行所述待执行任务序列。

[0023] 第二方面, 本发明还提供一种成像卫星任务规划处理装置, 基于改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题, 包括:

[0024] 接收模块、与所述接收模块连接的处理模块;

[0025] 所述接收模块用于接收待多个卫星执行的的对地观测任务;

[0026] 所述处理模块用于采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划, 具体包括:

[0027] 在采用遗传算法处理成像卫星任务规划时, 在初始化步骤中, 获取交叉概率下限值  $p_{cmin}$  和交叉概率上限值  $p_{cmax}$ ;

[0028] 在每轮迭代中执行交叉步骤时, 根据交叉概率下限值  $p_{cmin}$  和交叉概率上限值  $p_{cmax}$

解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作;

[0029] 在迭代过程终止后,将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解。

[0030] 可选地,所述装置中的所述处理模块用于采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划,具体还包括:

[0031] 在初始化步骤中,获取变异概率下限值 $p_{\min}$ 和变异概率上限值 $p_{\max}$ ;相应地,

[0032] 在每轮迭代中执行变异步骤时,根据变异概率下限值 $p_{\min}$ 和变异概率上限值 $p_{\max}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,并根据所述个体变异概率值 $p_m$ 对所述每一待变异操作的个体进行变异操作;

[0033] 和/或

[0034] 在初始化步骤中,采用实数编码方式对成像卫星任务规划的初始方案进行编码,得到遗传算法的初始解;相应地,

[0035] 对成像卫星任务规划的最优解进行解码,得到成像卫星任务规划的最优方案。

[0036] 可选地,所述装置中的所述处理模块用于根据交叉概率下限值 $p_{c\min}$ 和交叉概率上限值 $p_{c\max}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,具体包括:

[0037] 根据第一公式解算每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,所述第一公式为:

$$[0038] \quad p_c = \begin{cases} \frac{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(p_{c\max}-p_{c\min})}{1+\exp(A_c(\frac{f'-f_{avg}}{f_{\max}-f_{avg}}))} + p_{c\min} & f' \geq f_{avg} \\ p_{c\max} & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0039] 其中, $N_p$ 为所述遗传算法的种群规模, $f_{\max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f'$ 表示每一待交叉组中的两个个体对应的适应度值中的较大值, $A_c$ 为交叉调整因子。

[0040] 可选地,所述装置中的所述处理模块用于根据变异概率下限值 $p_{\min}$ 和变异概率上限值 $p_{\max}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,具体包括:

[0041] 根据第二公式解算每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,所述第二公式为:

$$[0042] \quad p_m = \begin{cases} \frac{p_{\max}-p_{\min}}{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(1+\exp(A_m(\frac{f-f_{avg}}{f_{\max}-f_{avg}})))} + p_{\min} & f \geq f_{avg} \\ p_{\max} & f \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0043] 其中, $N_p$ 为所述遗传算法的种群规模, $f_{\max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f$ 表示待变异操作的个体对应的适应度值, $A_m$ 为变异调整因子。

[0044] 可选地,所述装置中的所述处理模块获得的所述初始方案或最优方案中包括真实卫星的待执行任务序列和一颗虚拟卫星记录的不可执行任务序列,所述待执行任务序列中

包括按照时间先后顺序排列的对地观测任务时间窗和对地下传任务时间窗,每个所述对地观测任务时间窗与一对地观测目标相对应,每个所述对地下传任务时间窗与一地面站相对应。

[0045] 可选地,所述装置还包括:与处理模块连接的发射模块;

[0046] 所述发射模块用于将每一颗卫星的待执行任务序列发送至该卫星中,使得该卫星按照规划的待执行任务序列执行观测任务和/或下传任务。

[0047] 与现有技术相比,本发明提供的成像卫星任务规划方法,采用改进的遗传算法可在提高运算效率的同时获得更好的近似最优解,得到当前规划周期中的最优方案,具有全局搜索能力,提高了收敛速度,能够保证求解的观测任务规划具有较好的质量,且处理效率高。

[0048] 与现有技术相比,本发明提供的成像卫星任务规划装置,采用改进的遗传算法可在提高运算效率的同时获得更好的近似最优解,得到当前规划周期中的最优方案,具有全局搜索能力,提高了收敛速度,能够保证求解的观测任务规划具有较好的质量,且处理效率高。

#### 附图说明

[0049] 图1为现有技术中卫星观测地面目标及向地面站下传数据的示意图;

[0050] 图2为卫星的时间窗与观测时间窗的示意图;

[0051] 图3为本发明一实施例提供的成像卫星任务规划方法的流程示意图;

[0052] 图4为本发明又一实施例提供的成像卫星任务规划装置的组成示意图。

#### 具体实施方式

[0053] 为了更好的解释本发明,以便于理解,下面结合附图,通过具体实施方式,对本发明作详细描述。

[0054] 首先,界定以下基本事实,这些事实均为本领域普通技术人员所知晓的:

[0055] 如图1所示,成像卫星任务规划问题可以简要描述为:一组卫星、一组观测任务,每个观测任务的完成包含数据采集和数据回传两个活动。为每个观测任务指定一个优先级;观测任务对应的地面目标与卫星之间具有一组可用时间窗口;一个参考时间范围作为任务规划的起止时间。卫星对地观测需要满足以下约束:每个观测任务必须在其某个可用时间窗口内完成;卫星连续两次观测之间必须有足够的调整时间;卫星的侧视调整次数、存储容量有限,使每个圈次的累积观测时间有限。

[0056] 在每个调度周期内,每一个卫星与每一个地面目标之间不止一个可见时间窗口;在每个调度周期内,每一个卫星与每一个地面站之间不止一个可见时间窗口;在每个调度周期内,每个地面目标只需要也仅能被观测一次,也即,地面目标的数目与观测任务的数目是相同的;在每个调度周期内,每个地面站可以多次与不同的卫星进行通信,接收下传数据。

[0057] 在每个调度周期内,受制于可见时间窗,会出现待调度的观测任务不能全部被完成的情形,因此,为了保证观测任务总数目的完整性,设置一个虚拟卫星来记录不能被执行的观测任务。



[0058] 另一方面,卫星对地观测需要满足以下约束条件:

[0059] (1) 对地面目标的成像必须等待卫星在某一轨道圈次内运动至目标的上空时进行,此时卫星的遥感器会在一个时间段之内能够看见目标,这个时间段称为时间窗。在给定的规划周期内,卫星与目标之间一般不止一个时间窗,卫星对目标的观测需在其中某一个时间窗之内完成,且目标进行观测的时间窗一般会小于可见的时间窗,图2中示出了观测时间窗的开始时间与结束时间。

[0060] (2) 一颗卫星在执行2个前后相继的观测任务时,中间需要有一定的过渡时间,以让卫星遥感器作好调整。类似的,地面站接受卫星下传数据时与观测任务一样,数据下传需要在地面站对卫星的下传可见时间窗口之内完成。

[0061] (3) 每一次开关机时间内,卫星的侧视调整次数是有限的。

[0062] (4) 卫星上有一个固定容量的星上存储器,卫星将观测的目标图像数据暂时存放在存储器中。在将数据传回地面站之后,存储器的存储容量被释放。因此存储器的实时容量在整个观测过程中是动态变化的。

[0063] 从以上内容可知,成像卫星任务规划必须在复杂的约束条件下和多种优化目标下求解,因此其问题维度广,优化空间大,采用智能算法得出其近似最优解的难度比较大。

[0064] 遗传算法是一种常用的求解成像卫星任务规划的算法。本发明提出基于参数自适应的改进遗传算法来处理成像卫星任务规划,以提高对问题的求解质量和效率。

[0065] 目前,已有的基于遗传算法处理成像卫星任务规划问题的解算流程如下:

[0066] Step1:初始化步骤。

[0067] (1)、设置以下参数的值:种群规模 $N_p$ 、交叉概率值 $p_c$ 、变异概率值 $p_m$ 和终止代数 $T$ 。

[0068] (2)、生成初始种群,即确定初始的 $N_p$ 个可行解。具体地,在每一颗卫星上随机地插入观测任务或下传任务,插入的观测任务或下传任务均满足前述约束条件。

[0069] Step2:选择步骤。根据轮盘赌方法,选择遗传到下一代的个体。

[0070] Step3:交叉步骤。对随机选择的每两条父代,依据交叉概率值进行交叉。具体地,选择一个时间点,将时间点之后任务的时间窗进行交叉,将交叉过程中产生冲突的观测任务放入到虚拟卫星中,并将虚拟卫星中所有的任务尝试重新插入到真实卫星上,如果插入失败,则继续留在虚拟卫星上。

[0071] Step4:保留优势解步骤。将随机选择的每两条父代交叉之后得到的两个子代染色体的适应度值与父代比较,若子代适应度值大于父代,则保留子代,反之,则保留父代。

[0072] Step5:变异步骤。选择某一个时间点,按变异概率值对时间点最近的下传任务进行变异。具体地,将变异过程中产生冲突的观测任务放入到虚拟卫星中,并将虚拟卫星中所有的任务尝试重新插入到真实卫星上,如果插入失败,则继续留在虚拟卫星上。

[0073] Step6:判断是否满足终止条件,若满足则迭代结束,若不满足则回到Step2。

[0074] 以上现有技术中基于遗传算法求解成像卫星任务规划的解算流程存有以下缺点:

[0075] (1)、在求解成像卫星任务规划过程,其交叉概率和变异概率一直是固定的,求解初期,交叉概率和变异概率较小,种群很难产生优秀的新个体。求解后期,模式向高适应度的个体集中,倘若仍然采用较大的交叉概率和变异概率,容易破坏优良的模式,使算法陷入局部收敛;

[0076] (2)、此遗传算法不能根据种群的大小调整交叉概率和变异概率的大小,即在种群

较大时,不能保证较大的交叉概率,使之尽快交叉基因组合成最优的染色体,并且不能保证较小的变异概率,尽量减少多次重复变异出现相同个体的无用功。

[0077] 为此,一方面,如图3所示,本发明一实施例提供一种成像卫星任务规划方法,基于改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题,包括下述步骤:

[0078] 步骤S1、在初始化步骤中,获取交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ ;

[0079] 步骤S2、在每轮迭代中执行交叉步骤时,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作;

[0080] 步骤S3、在迭代过程终止后,将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解。

[0081] 需要说明的是,本发明实施例提供的成像卫星任务规划方法中涉及的解算适应度值的适应度函数与现有技术中基于遗传算法处理成像卫星任务规划方法中的定义相同,请参考CN 105955812 A《一种地球观测卫星任务调度的方法及系统》,这里不再赘述。

[0082] 举例来说,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,具体包括:

[0083] 根据第一公式解算每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,所述第一公式为:

$$[0084] \quad p_c = \begin{cases} \frac{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(p_{cmax}-p_{cmin})}{1+\exp(A_c(\frac{f'-f_{avg}}{f_{max}-f_{avg}}))} + p_{cmin} & f' \geq f_{avg} \\ p_{cmax} & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0085] 其中, $N_p$ 为遗传算法的种群规模, $f_{max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f'$ 表示每一待交叉组中的两个个体对应的适应度值中的较大值, $A_c$ 为交叉调整因子。

[0086] 具体地,交叉调整因子 $A_c \geq 10$ 。

[0087] 具体地,对于函数 $\psi(a) = \frac{1}{1+\exp(a)}$ ,当 $a \geq 10$ 时, $\psi(a)$ 接近0;当 $a \leq -10$ , $\psi(a)$ 接近于1。为保证具有最大适应度值的个体参与交叉的概率比较低,设定交叉调整因子 $A_c \geq 10$ 。

[0088] 在一种优选的实现方式中,所述步骤S1还可以包括:在初始化步骤中,获取变异概率下限值 $p_{min}$ 和变异概率上限值 $p_{max}$ ;相应地,

[0089] 在所述步骤S2之后,步骤S3之前,所述方法还可以包括:在每轮迭代中执行变异步骤时,根据变异概率下限值 $p_{min}$ 和变异概率上限值 $p_{max}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,并根据所述个体变异概率值 $p_m$ 对所述每一待变异操作的个体进行变异操作。

[0090] 举例来说,根据第二公式解算每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,所述第二公式为:

$$[0091] \quad p_m = \begin{cases} \frac{p_{mmax} - p_{mmin}}{(1 - N_p^{-\frac{2}{3}})(1 + \exp(A_m(\frac{f - f_{avg}}{f_{max} - f_{avg}})))} + p_{mmin} & f \geq f_{avg} \\ p_{mmax} & f \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0092] 其中,  $N_p$  为遗传算法的种群规模,  $f_{max}$  表示该轮迭代中种群的最大适应度值,  $f_{avg}$  表示该轮迭代中种群的平均适应度值,  $f$  表示待变异操作的个体对应的适应度值,  $A_m$  为变异调整因子。

[0093] 具体地, 变异调整因子  $A_m \geq 10$ 。

[0094] 具体地, 对于函数  $\psi(a) = \frac{1}{1 + \exp(a)}$ , 当  $a \geq 10$  时,  $\psi(a)$  接近 0; 当  $a \leq -10$ ,  $\psi(a)$  接近于 1。为保证具有最大适应度值的个体参与变异的概率比较低, 设定变异调整因子  $A_c \geq 10$ 。

[0095] 在一种优选的实现方式中, 所述步骤 S1 还包括: 在初始化步骤中, 采用实数编码方式对成像卫星任务规划的初始方案进行编码, 得到遗传算法的初始解; 相应地,

[0096] 所述步骤 S3 还包括: 对成像卫星任务规划的最优解进行解码, 得到成像卫星任务规划的最优方案。

[0097] 可以理解为, 所述初始方案或最优方案中包括真实卫星的待执行任务序列和一颗虚拟卫星记录的不可执行任务序列, 所述待执行任务序列中包括按照时间先后顺序排列的对地观测任务时间窗和对地下传任务时间窗, 每个所述对地观测任务时间窗与一对地观测目标相对应, 每个所述对地下传任务时间窗与一地面站相对应。

[0098] 需要说明的是, 本申请处理成像卫星任务规划时, 所以得到的初始方案或最优方案中会包括至少一颗真实卫星的待执行任务序列。

[0099] 在实际应用中, 上述方法还可以包括:

[0100] 将所述最优方案中与每一颗卫星对应的待执行任务序列发送至该卫星中, 使得该卫星执行所述待执行任务序列。

[0101] 本发明实施例确定的基于改进遗传算法的成像卫星任务规划方法的解算流程示例如下:

[0102] St1: 初始化步骤。

[0103] (1)、设置以下参数的值: 种群规模  $N_p$ , 交叉概率下限值  $p_{cmin}$ , 交叉概率上限值  $p_{cmax}$ , 变异概率下限值  $p_{mmin}$ , 变异概率上限值  $p_{mmax}$ , 终止代数  $T$ 。

[0104] (2)、生成初始种群, 即确定初始的  $N_p$  个可行解。具体地, 在每一颗卫星上随机地插入观测任务或下传任务, 插入的观测任务或下传任务均满足前述约束条件。

[0105] St2: 选择步骤。根据轮盘赌方法, 选择遗传到下一代的个体。

[0106] St3: 交叉步骤: 首先计算出该轮迭代中种群的最大适应度、种群的平均适应度。随机选择的每两条父代形成一个待交叉组。针对每一个待交叉组, 计算每一个待交叉对象的适应度, 并根据第一公式解算组内交叉概率值; 随后根据组内交叉概率值确定是否需要交叉操作。针对需要进行交叉操作的待交叉组, 选择一个时间点, 将时间点之后任务的时间窗进行交叉, 将交叉过程中产生冲突的观测任务放入到虚拟卫星中, 并将虚拟卫星中所

有的任务尝试重新插入到卫星上,如果插入失败,则继续留在虚拟卫星上。

[0107] St4:保留优势解步骤。将随机选择的每两条父代染色体交叉之后得到的两个子代染色体的适应度值与父代比较,若子代适应度值大于父代,则保留子代,反之,则保留父代。

[0108] St5:变异步骤。首先根据第二公式解算每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值,选择某一个时间点,按变异概率值对改时间点最近的下传任务进行变异。具体地,将变异过程中产生冲突的观测任务放入到虚拟卫星中,并将虚拟卫星中所有的任务尝试重新插入真实卫星上,如果插入失败,则继续留在虚拟卫星上。

[0109] St6:判断是否满足终止条件,若满足则迭代结束,若不满足则回到St2。

[0110] 本发明实施例通过改进现有的遗传算法,在提高运算效率的同时可以获得更好的近似最优解,从而得到当前规划周期中的最优方案。

[0111] 与现有技术相比,本发明实施例提供的基于改进遗传算法的成像卫星任务规划方法,具有全局搜索能力,提高了收敛速度,能够保证求解的观测任务规划具有较好的质量,且处理效率高。

[0112] 具体地,针对现有技术中采用的固定交叉概率和变异概率问题,设计出了自适应的交叉概率和变异概率,使其能够根据交叉和变异个体适应度在整体适应度中的情况而定,即适应度高的个体交叉概率和变异概率较低,以保证较优个体得到保存,适应度低的个体具有高的交叉概率,加快新个体产生的速度,此是跳出局部最优解的关键因素。

[0113] 通过变异概率和交叉概率按照个体的适应度在平均适应度和最大适应度之间随sigmoid曲线进行非线性调整,当种群中的大部分个体拥有相近的适应度且平均适应度与最大适应度接近时,从而提高大多数个体的交叉概率和变异概率。

[0114] 针对在种群规模较大,即染色体类型(一般情况下,种群越大,不同的个体就会越多,则染色体类型就会越多)较多时不能保证较大交叉概率和较小的变异概率问题,本发明设计了基于种群自适应的交叉概率和变异概率,使之能够在种群较大时,交叉概率较大,从而加快最优个体的产生速度;变异概率则较小,从而减少变异成种群中相同个体的概率,加快算法速度;同理,种群较小时,则可以保证较小的交叉概率和较大的变异概率。

[0115] 遗传算法解决成像卫星任务规划问题,比较重要也很难的是染色体的编码问题,常用的二进制编码在成像卫星任务规划中并不是很适用,无法直观的表现出染色体所代表的解的意思,同时二进制编码也会使编码的结果过于繁琐,特别是在任务的数量比较多时,解的长度将会很大。本发明实施例采用实数编码,每一个基因位上的数字就代表任务的编号。这样可以非常直观的看到每个卫星上所观测的任务及其观测顺序。

[0116] 在成像卫星任务规划中,染色体的编码规则、解码规则以及在迭代中针对染色体的运算规则、约束条件的校验等操作请参考CN 105955812 A《一种地球观测卫星任务调度的方法及系统》,这里不再赘述。

[0117] 另一方面,如图4所示,本发明又一实施例提供一种成像卫星任务规划装置,基于改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题,包括:

[0118] 接收模块10、与所述接收模块10连接的处理模块20;

[0119] 所述接收模块10用于接收待多个卫星执行的的对地观测任务;

[0120] 所述处理模块20用于采用改进遗传算法处理成像卫星任务的规划,具体包括:

[0121] 在初始化步骤中,获取交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ ;

[0122] 在每轮迭代中执行交叉步骤时,根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,并根据所述组内交叉概率值 $p_c$ 对所述每一待交叉组进行交叉操作;

[0123] 在迭代过程终止后,将最后一轮迭代中得到的种群中具有最大适应度值的个体作为成像卫星任务规划的最优解。

[0124] 可选地,装置中的所述处理模块20用于采用改进遗传算法处理成像卫星任务规划问题,具体还可以包括:

[0125] 在初始化步骤中,获取变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ ;相应地,

[0126] 在每轮迭代中执行变异步骤时,根据变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,并根据所述个体变异概率值 $p_m$ 对所述每一待变异操作的个体进行变异操作;

[0127] 和/或

[0128] 在初始化步骤中,采用实数编码方式对成像卫星任务规划的初始方案进行编码,得到遗传算法的初始解;相应地,

[0129] 对成像卫星任务规划的最优解进行解码,得到成像卫星任务规划的最优方案。

[0130] 可选地,装置中的所述处理模块20用于根据交叉概率下限值 $p_{cmin}$ 和交叉概率上限值 $p_{cmax}$ 解算该轮迭代中每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,具体包括:

[0131] 根据第一公式解算每一待交叉组对应的组内交叉概率值 $p_c$ ,所述第一公式为:

$$[0132] \quad p_c = \begin{cases} \frac{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(p_{cmax}-p_{cmin})}{1+\exp(A_c(\frac{f'-f_{avg}}{f_{max}-f_{avg}}))} + p_{cmin} & f' \geq f_{avg} \\ p_{cmax} & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0133] 其中, $N_p$ 为遗传算法的种群规模, $f_{max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f'$ 表示每一待交叉组中的两个个体对应的适应度值中的较大值, $A_c$ 为交叉调整因子。

[0134] 可选地,装置中的所述处理模块20用于根据变异概率下限值 $p_{mmin}$ 和变异概率上限值 $p_{mmax}$ 解算该轮迭代中每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,具体包括:

[0135] 根据第二公式解算每一待变异操作的个体对应的个体变异概率值 $p_m$ ,所述第二公式为:

$$[0136] \quad p_m = \begin{cases} \frac{p_{mmax}-p_{mmin}}{(1-N_p^{-\frac{2}{3}})(1+\exp(A_m(\frac{f-f_{avg}}{f_{max}-f_{avg}})))} + p_{mmin} & f \geq f_{avg} \\ p_{mmax} & f \leq f_{avg} \end{cases}$$

[0137] 其中, $N_p$ 为遗传算法的种群规模, $f_{max}$ 表示该轮迭代中种群的最大适应度值, $f_{avg}$ 表示该轮迭代中种群的平均适应度值, $f$ 表示待变异操作的个体对应的适应度值, $A_m$ 为变异调整因子。

[0138] 可选地,装置中的所述处理模块20获得的所述初始方案或最优方案中包括真实卫

星的待执行任务序列和一颗虚拟卫星记录的不可执行任务序列,所述待执行任务序列中包括按照时间先后顺序排列的对地观测任务时间窗和对地下传任务时间窗,每个所述对地观测任务时间窗与一对地观测目标相对应,每个所述对地下传任务时间窗与一地面站相对应。

[0139] 可选地,所述装置还包括:与处理模块20连接的发射模块30;

[0140] 所述发射模块30用于将每一颗卫星的待执行任务序列发送至该卫星中,使得该卫星按照规划的待执行任务序列执行观测任务和/或下传任务。

[0141] 与现有技术相比,本发明实施例提供的成像卫星任务规化装置,采用改进的遗传算法可在提高运算效率的同时获得更好的近似最优解,得到当前规划周期中的最优方案,能够保证求解的观测任务规划具有较好的质量,且处理效率高。

[0142] 最后应说明的是:以上所述的各实施例仅用于说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或全部技术特征进行等同替换;而这些修改或替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

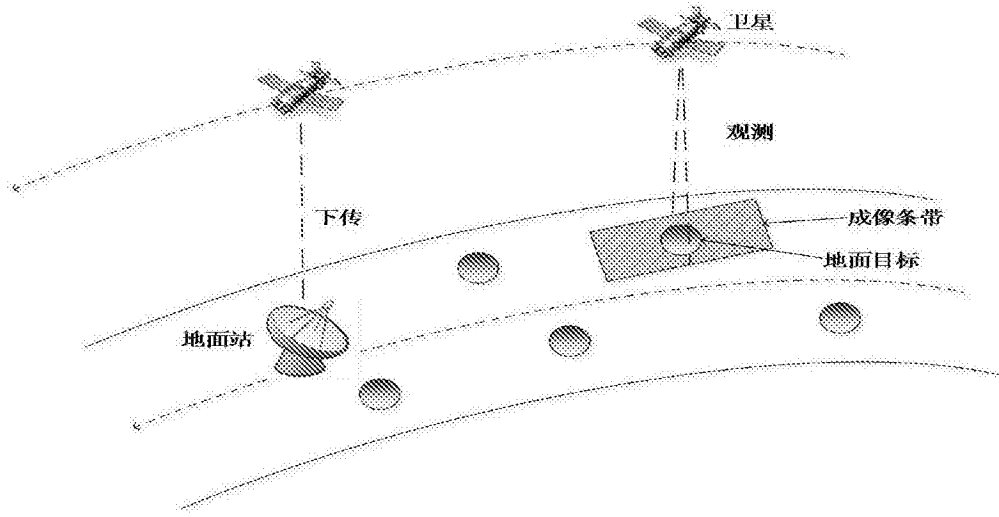


图1

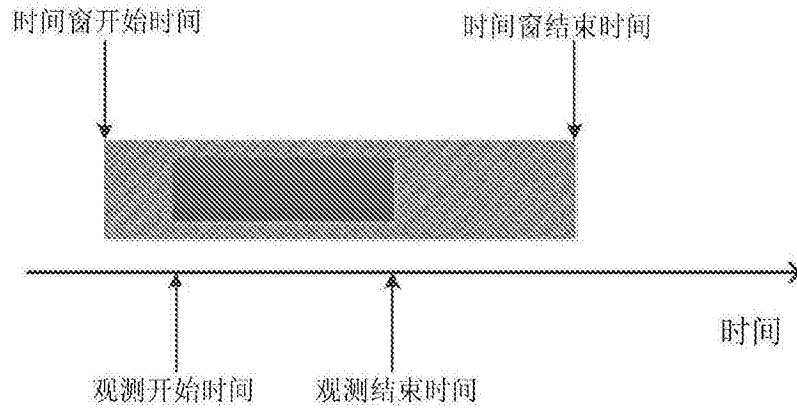


图2

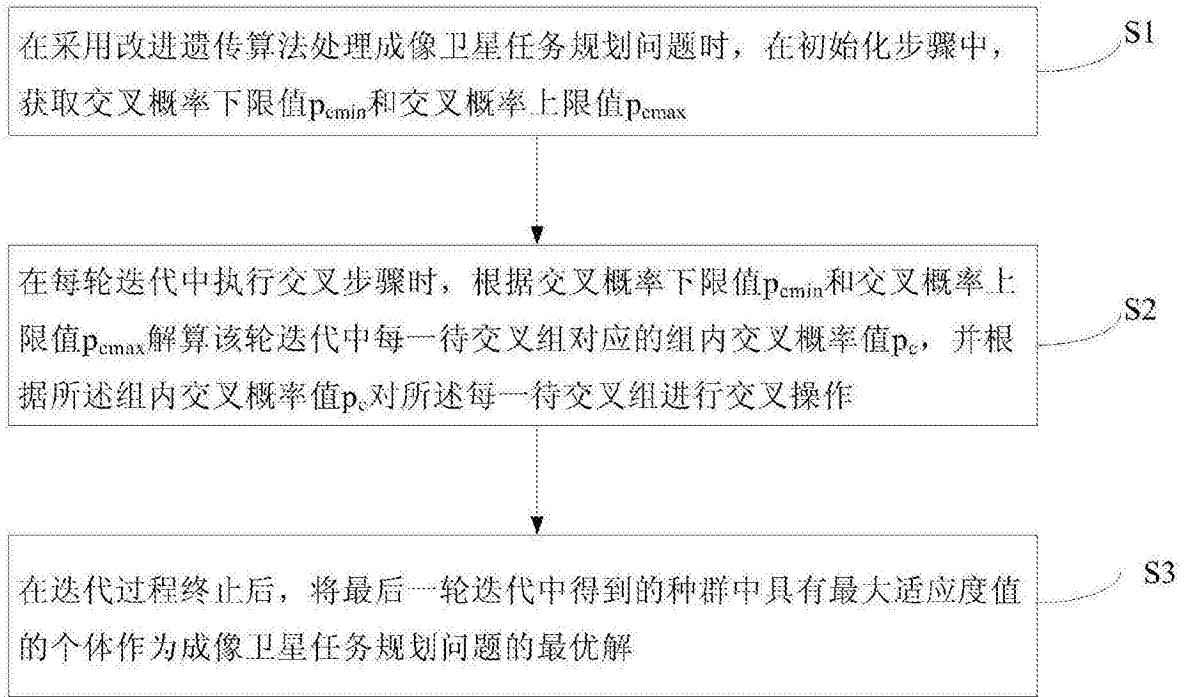


图3

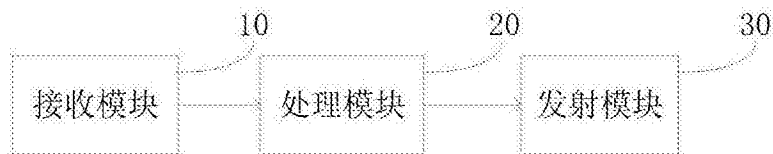


图4