

基于贪婪算法的卫星区域观测摆角方案选择方法 Research on Elevations Selection Approach of Area Target Observation Task Using Satellite Resource Based on Greedy Algorithm

杨 洁^{1,2}

YANG Jie^{1,2}

(1. 湖南信息职业技术学院, 湖南长沙 412000; 2. 湖南大学, 湖南长沙 410082)

(1. Hunan College of Information, Changsha, Hunan, 410200, China; 2. Hunan University, Changsha, Hunan, 410082, China)

摘要:针对多颗成像侦察卫星对区域目标进行观测的摆角方案优化选择问题,利用先预处理再建模的思路实现优化建模。在模型求解阶段,利用贪婪算法的思想,设计相应的贪婪规则实现模型的优化求解。实例证明本方法可以得到较好的摆角方案。

关键词:成像侦察卫星 摆角方案 优化 贪婪算法

中图分类号: TP301 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2006)02-0122-03

Abstract: This paper presents an elevations selection approach of area target surveillance task using multi-satellites. The approach included two stages: pretreatment and optimization. In the pretreatment stage, STK was applied to solve the difficult problem of computing access time; in the optimization stage, models and solving method based on Greedy Algorithm was presented. Finally, a scenario instance proved the validity of the method.

Key words: imaging detective satellite, swinging angle, optimization, greedy algorithm

成像侦察卫星可以通过星载相机对地面目标进行二维观测。遥感卫星的飞行轨迹提供向前的一维观测,星载的遥感观测设备一般可在垂直星下线的方向侧摆,从而提供另一维的扫描方向。当卫星观测目标为大面积区域时,选择遥感设备不同的侧向摆角可以观测到目标区域的不同部分,如何合理选定遥感设备每次的观测摆角,使卫星在任务时间段内对目标区域的空间覆盖率最大,观测时间最长,是一个重要的优化问题。本文对卫星区域观测摆角方案进行研究,提前预处理再建模的方法,并利用贪婪算法实现求解过程的优化,得到较好的摆角方案。

1 预处理

预处理阶段的主要任务是利用 STK 软件

(Analytical Graphics Inc. Satellite Tool kit 5. 0, 2003)计算卫星对目标区域的观测时间窗口,有预处理输入过程和输出过程。

预处理的输入主要包括卫星的轨道参数、遥感器材参数、目标区域参数、任务起止时间参数。遥感器材参数输入采用 STK 里面的半角参数(见图 1)来定义遥感观测器材的视场。假设遥感观测器材的垂直半角为 α , 水平半角为 β 。 α 和卫星的高度共同决定了卫星的视场。对卫星的侧视能力,用仰角(卫星的瞄准线与地面的夹角)来描述。仰角为 90° 时卫星瞄准线正对星下点。不同的仰角代表着不同的地面观测带。将半角参数和仰角参数输入到 STK 软件中,应用软件的 access 模块,就可方便的得到卫星选择不同的侧摆角时对目标区域的各自覆盖情况。目标区域参数输入先对目标区域作点格化的处理,将目标区域划分成多个小格,用格子的中心点来代表整个格子区域。在点格化的基础上,目标区域可以用一个布尔向量 P 来表示:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_M\},$$

这里, $p_j(j \in \{1, \dots, M\})$ 为布尔变量, M 表示目标区域的格点总数的总和。 $p_j = 1$ 表示目标区域的第 j 个格子被观测到, $p_j = 0$ 则表示它没被观测到。

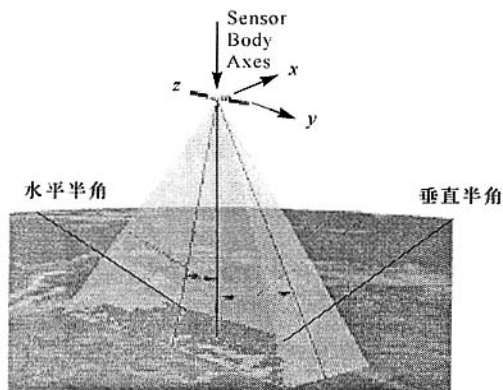


图1 遥感器材的半角参数

遥感器材参数、目标区域参数、时间参数、卫星轨道参数等输入完成后,就可以通过 STK 软件得出包含时间窗口信息的访问报告。报告内容经过转换可以用一系列的矩阵的向量来表示,其中最核心的矩阵是高维布尔矩阵 $X_{j,k,p}, j \in \{1, 2, \dots, N\}, k \in \{1, 2, \dots, K\}, p \in \{1, 2, \dots, M\}$; N 是指卫星对目标区域的总访问次数, K 是指卫星的可选观测角的数目, M 是目标区域的点的总数目。 $X_{j,k,p} = 0$ 表示选择第 k 个仰角的第 j 次访问中, 目标区域点格中的第 p 个点被观测到。通过 $X_{j,k,p}$ 矩阵, 就将卫星不同的观测摆角对目标区域的覆盖情况存储下来。

2 模型设计与算法设计

2.1 优化模型

在预处理输出的 $X_{j,k,p}$ 矩阵的基础上, 就可以对摆角方案的选择进行建模优化^[1]。

首先, 定义 $r_j(j \in \{1, 2, \dots, N\})$ 为决策变量, r_j 表示第 j 次卫星访问目标区域时遥感观测器材选择第 r_j 个可选的仰角。 r_j 本身只是所选观测角的序号, 并不是具体的角度值。但是它可以十分方便地转换成对应的角度值。之所以用序号作决策变量而不用角度值, 主要是为了在建模及求解时表示方便。实际上, $R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ 就是一个完整的摆角方案。

优化目标是包含两个目标的逐级优化问题。即首先保证空间覆盖最大, 然后再尽可能增加访问时间。在 $X_{j,k,p}$ 的基础上, 空间覆盖率的目标可以表示为:

$$\max \sum_{p=1}^M (X_{1,r_1,p} | X_{2,r_2,p} | \dots | X_{j,r_j,p}) \quad (1)$$

访问时间最大化可以表示为:

$$\max \sum_{j=1}^N \sum_{p=1}^M X_{j,r_j,p} \quad (2)$$

2.2 求解算法

求解优化模型最原始的算法是穷举法, 但是, 穷举法的复杂性大, 计算时间长, 需要引入贪婪算法^[2,3]。

贪婪算法的求解一般需要有一个确定的搜索点, 其次, 要求目标函数适应于局部优, 即, 对每步的搜索, 都必须有一个适应于该局部的目标函数, 为此, 我们首先去掉目标区域里没有被任何观测带覆盖到的点。找剩余的点中只被所有的观测带里的唯一一个观测带观测到的点。这些点是目标区域里面最有可能被遗漏的点。然后, 找到所有观测带里面包含这些只被观测到一次的点的数目最多的观测带。如果出现多个包含这样的点的数目相等的观测带的话, 就比较这些观测带看到的点的总数目, 选取其最多的一个作为观测方案中的第一个观测带。将这个观测带所观测到的点和与这个观测带同次访问(每次访问只能选择一个观测带)的其它观测带从可选点与可选观测带里去掉。然后重复这样一个过程, 直到所有的观测带都被去掉, 就得到了一个观测方案。显然这个观测方案是一个局部最优解。

假设目标区域的点的集合为 $\{M\}$, 所有的可选观测带集合为 $\{\alpha\}$, N 为卫星总的访问次数, M 为目标区域的点的总数目。算法的流程为:

- k=1;
- a1: 去掉目标区域里没有被任何观测带覆盖到的点, $\{M\} \rightarrow \{M'\}$;
- While k < (N+1);
- a2: 从 $\{M'\}$ 中找到只被所有的观测带里面唯一一个观测带观测到的点, 用集合 $\{X_k\}$ 表示;
- a3: 从找到包含集合 $\{X_k\}$ 中的点的数目最多的观测带, 用集合 $\{\alpha_k\}$ 表示;
- a4: 找到集合 $\{\alpha_k\}$ 里总的观测到的点的数目最多的观测带, 用 α_k 表示, 选入最终的观测方案中;
- a5: 从 $\{M'\}$ 中去掉所有被 α_k 观测到的点, $\{M'\} \rightarrow \{M'_k\}$; 从 $\{\alpha_k\}$ 中去掉 α_k 以及与 α_k 同次访问的其它观测带, $\{\alpha\} \rightarrow \{\alpha_k\}$;
- a6: k=k+1;
- end
- a7: 输出向量 $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}$ 。

3 实例应用

实例背景为两颗圆轨道成像侦察卫星 Satellite

1 和 Satellite 2, 各携带一枚遥观测器材。卫星的参数见表 1。

表 1 卫星轨道及遥感器材参数

卫星	轨道高度 (km)	轨道倾角 (°)	RAAN (°)	最佳分辨率 (m)	可视范围 (°)	垂直半角 (°)	水平半角 (°)	可选观测带的数目 (个)
Satellite 1	500	50	55	5	±35	5	5	7
Satellite 2	440	80	52	5	±35	5	5	7

要求利用这两颗卫星在 2003-05-01, 00:00:00.0~2003-05-02, 00:00:00.0 的时限内对表 2 所列的区域目标进行观测, 搜索目标区域内的相关情报信息。要求找出满足的优化目标是: (1) 最大化空间覆盖率; (2) 最大化访问时间。

表 2 目标区域顶点坐标

区域顶点	纬度 (°)	经度 (°)
1	26	122
2	26	128
3	22	128
4	22	122

利用 matlab 软件编写程序实现贪婪算法对本例的计算结果是: 侧摆方案为 $\{-10^\circ, -10^\circ, +20^\circ,$

$-20^\circ\}$; 目标区域的 94 个点中总共有 68 个点被覆盖到了, 空间覆盖率为 72.34%。

4 结束语

本文针对多颗成像侦察卫星对区域目标进行观测的摆角方案优化选择问题, 利用先预处理再建模的思路实现了优化建模。在模型求解阶段, 利用贪婪算法的思想, 设计了相应的贪婪规则最终实现了对问题的优化求解。

参考文献:

[1] 邢文训, 谢金星. 现代化计算方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
 [2] HOFFMAN A J. On greedy algorithms that succeed, in surveys in combinatorics [J]. London Mathematical Society Lecture Note Series, 1985, 103: 97-112.
 [3] 刘艳凯, 罗振壁, 蒋任重. 采用基于拟阵的贪婪算法优化 RRMS 的布局[J]. 工业工程与管理, 2001(2): 9-12.

(责任编辑: 邓大玉)

(上接第 121 页)

成序列:

$$G_1^1 = (g_{11}^1 g_{12}^1) = (11), G_1^2 = (g_{11}^2 g_{12}^2) = (01),$$

$$G_1^3 = (g_{11}^3 g_{12}^3) = (11);$$

$$G_2^1 = (g_{21}^1 g_{22}^1) = (01), G_2^2 = (g_{21}^2 g_{22}^2) = (10),$$

$$G_2^3 = (g_{21}^3 g_{22}^3) = (10).$$

则有

$$g_{11} = [g_{11}^1 g_{11}^2 g_{11}^3] = [101],$$

$$g_{12} = [g_{12}^1 g_{12}^2 g_{12}^3] = [111];$$

$$g_{21} = [g_{21}^1 g_{21}^2 g_{21}^3] = [011],$$

$$g_{22} = [g_{22}^1 g_{22}^2 g_{22}^3] = [100].$$

根据式(4) 得其生成矩阵 G 为:

$$G = \begin{bmatrix} 101 & 111 & 0 \\ 011 & 100 & \\ & 101 & 111 \\ & 011 & 100 \\ & & 101 & 111 \\ 0 & & 011 & 100 \end{bmatrix},$$

对应的卷积码 C 为:

$$C = A \cdot G =$$

$$(110010) \begin{bmatrix} 101 & 111 & 0 \\ 011 & 100 & \\ & 101 & 111 \\ & 011 & 100 \\ & & 101 & 111 \\ 0 & & 011 & 100 \end{bmatrix} =$$

(110011101111).

3 结束语

线性分组码的逻辑译码具有译码快、电路简单的优点^[4], 代数描述是逻辑译码的关键一环。本文模仿线性分组码, 从简单的 $(n, 1, m)$ 卷积码生成矩阵入手, 引入 (n, k, m) 卷积码的生成矩阵, 探讨了卷积码的代数描述。

参考文献:

[1] FORNEY JR J D. Concatenated codes[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1966.
 [2] 吴伟陵, 牛凯. 移动通信原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
 [3] 樊昌信, 张甫翊, 徐炳祥, 等. 通信原理[M]. 第 5 版. 北京: 国防工业出版社, 2001.
 [4] PROAKIS J G. 数字通信[M]. 第 4 版. 张力军, 张宗橙, 郑宝玉, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2003.

(责任编辑: 邓大玉)