

基于 AHP 的遥感卫星任务规划效能评价方法

张正强, 郭建恩, 王 鹏
(北京市遥感信息研究所, 北京 100192)

摘 要 目前, 针对遥感卫星任务规划问题的求解算法种类繁多, 但是对算法效能进行客观定量的综合评价一直是个难题。对此, 提出了一个面向应用的算法效能评价机制, 给出了标准测试算例集的生成方法, 并首次从资源利用率和任务满足度 2 个方面, 抽取建立了算法的分层评价指标体系, 基于层次分析 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 算法和 Delphi 算法建立了算法效能的综合评价模型, 给出了具体的评价步骤。通过 2 个算法的实例对比分析, 验证了方法和模型的有效性。

关键词 遥感卫星; 任务规划算法; 效能评估; 层次分析法

中图分类号 TP181 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2012)01-0036-04

An AHP-based Approach for Evaluating Mission Planning Efficiency of Imaging Satellites

ZHANG Zheng-qiang, GUO Jian-en, WANG Peng
(Beijing Remote Sensing Information Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract There are many kinds of algorithms of mission planning for imaging satellites presently, but it is difficult to evaluate the efficiency of these algorithms. An approach based on application is proposed, the method to build the test examples is given, the index system is designed considering the rate of resource consuming and the degree of mission satisfaction, and the model of evaluation is constructed based on the AHP algorithm and Delphi algorithm. At last, two mission planning algorithms are evaluated and compared, which verifies the effectiveness of the approach and the model.

Key words imaging satellite; mission planning algorithm; efficiency evaluation; AHP

0 引言

多星联合任务规划算法是解决遥感卫星任务规划问题的关键技术, 其主要目标是研究如何对卫星资源进行合理的任务分配, 以能在有限的时间内最大限度地满足不同用户、不同要求级别和不同目标类型的遥感图像需求^[1]。

目前, 针对遥感卫星任务规划问题设计开发的联合任务规划算法种类繁多, 由于优化机制、约束范围和优化规则的不同, 难以对任务规划算法的效能进行客观评价^[2]。为此, 这里首次从资源利用率和任务满足度 2 个方面, 抽取建立了合理、完善的算法评价指标体系, 在指标体系的基础上, 应用层次分析法确定各指标的评价权重, 实现了对算法的定量综合评价。

1 面向应用的效能评价机制

算法评价可以从理论和应用 2 个方面进行, 理论评价主要从算法本身的求解机制出发, 对算法的

时间复杂度、空间复杂度以及稳定性和收敛性进行分析, 该方法需要对算法有很深的了解, 一般由算法开发人员负责分析评估。下面从应用方面着手, 提出一种通用的任务规划评价机制, 在一个公用平台上对不同的算法进行综合评价, 评价机制如图 1 所示。

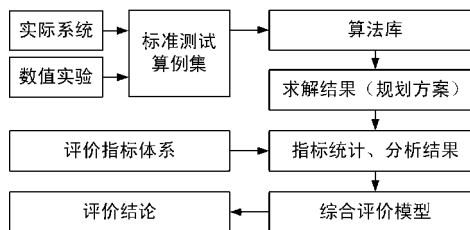


图 1 任务规划算法效能评价机制

首先考虑卫星的约束条件和任务特点, 开发了一整套系统的、科学的、高保真的标准测试算例, 同时建立联合任务规划评价指标体系, 并基于 AHP 建

收稿日期: 2011-10-11

基金项目: 国家部委基金资助项目。

立综合评价模型。最终在算例、指标体系和评价模型的支持下,形成了一个任务规划算法效能评估平台。

2 标准测试算例集

遥感卫星任务规划算法主要解决多星联合任务规划问题,需要根据问题涉及的资源和任务数量,分别设计不同规模的测试算例。因此,测试算例设计既要能够体现实际问题的基本结构特征,同时其可调参数又允许系统地控制和改变问题的具体特性,以便修正数据的偏颇性^[3]。主要考虑参数如下:

- ① 侦察任务的数目;
- ② 卫星数目;
- ③ 地面数据接收站的数目;
- ④ 规划时长;
- ⑤ 能够区分的任务优先级水平的级别数。

按照上述方式生成的数据还要经过预处理过程以后,才是真正对算法产生实际影响的数据。预处理可以将随机数据中的一些无效或不合理特征剔除,避免对算法的性能评价造成干扰。

3 效能评价指标体系

联系卫星任务规划的实际要求,基于 AHP 算法思想,建立了联合任务规划效能评价指标集,如图 2 所示。

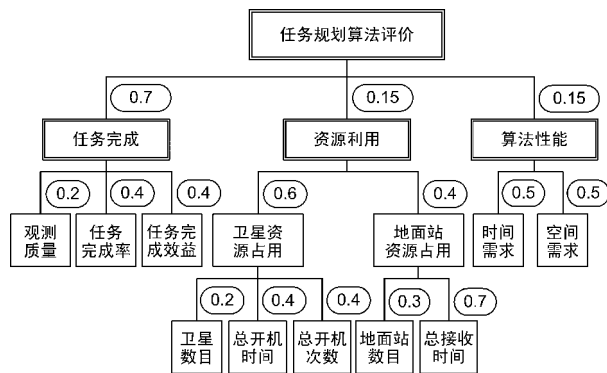


图 2 评价指标集结构

4 联合任务规划定量化评价模型

通过对指标进行分析可知,各个指标均能通过量化的数值进行衡量,指标之间相关性较小,因此采用线性加权的形式构造综合评价函数。建立该评价函数的关键问题在于各个指标权重的科学分配,通过不同的方法比较,采用基于 AHP 算法及 Delphi

算法的综合评价模型,其特点是基于领域内专家对各项指标重要性的主观评价,充分利用了专家的经验 and 知识积累,适用于有富有经验的专家参与评价完整过程的场合。

层次分析法是对一些较为复杂、较为模糊的问题做出决策的简易方法,特别适用于难以完全定量分析的问题。将其运用到综合评价模型中各个指标权重的分配问题上去。下面给出建立基于 AHP 算法的综合评价模型的具体步骤。

4.1 确定指标两两比较的标度定义

关于如何确定 a_{ij} 的值,从心理学观点来看,分级太多会超越专家的判断能力,既增加了作判断的难度,又容易因此而提供虚假数据。这里采用的 9 段标度,其中 1 表示 2 个指标具有相同重要性,3 表示前者稍重要,5 表示前者明显重要,7 表示前者强烈重要,9 表示前者极端重要,2、4、6、8 则表示上述相邻判断的中间值。

4.2 Delphi 算法评分

为了避免个别专家在某些问题上的偏颇,避免专家之间互相影响,这里采用 Delphi 算法获取指标两两比较的评分值。步骤如下:

① 列出指标集中某个层次的所有指标,要求各个专家在不进行相互讨论的前提下,根据上述定义的 9 段标度值,对这些指标的两两间重要性给出相对评分值;

② 针对每个两两比较项,统计专家评分结果,计算其均值及方差。若方差超过预设门限,说明专家在这个比较项判断上存在较大分歧,则将该比较项的评分均值返还给各个专家,要求其进行再次评分;

③ 重复上述过程,当满足下列条件中任意一项时,停止评分过程:评分值方差小于其预设门限;相邻 2 次评分的方差变化量小于其预设门限;总的评分次数大于其预设门限。

4.3 层次单排序及一致性检验

对于整棵指标树,由高至低逐层进行层内排序及一致性检验。步骤如下:

① 对于层次 $Level_A$,根据第 2 步获得的评价值构造相应的判断矩阵 A 。求得矩阵 A 对应于最大特征值 λ_{max} 的特征向量为 W , W 经归一化后即为该层次各个指标的排序权值,这一过程称为层次单排序;

② 上述构造成对比较判断矩阵的办法虽能减少其它因素的干扰,较客观地反映出对因子影响力的差别,但综合全部比较结果时,其中难免包含一定程度的非一致性。对判断矩阵进行一致性检验如下:计算一致性指标 CI , $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; 查找相应的平均随机一致性指标 RI 。对于当前考察的指标数目 $n = 1, \dots, 9$ 给出 RI 的值,如表 1 所示。

表 1 平均随机一致性指标查找表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

计算一致性比例 CR , $CR = CI/RI$, 当 $CR < 0.10$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的,否则应对判断矩阵做适当修正。

4.4 层次总排序

上节得到的是指标集各个单层内一组指标的权重向量。要最终得到各元素,特别是最底层中各指标的排序权重,则要自上而下地将各层指标权重进行合成,合成规则如下:

设上一层次($Level_A$ 层)包含 A_1, \dots, A_m 共 m 个指标,它们的层次排序权重分别为 a_1, \dots, a_m 。又设其后的下一层次($Level_B$ 层)包含 n 个指标 B_1, \dots, B_n ,它们关于 A_j 的层次单排序权重分别为 b_{1j}, \dots, b_{nj} (当 B_i 与 A_j 无关联时 $b_{ij} = 0$)。则 $Level_B$ 层中各指标的排序权重 b_1, \dots, b_n 的计算公式为: $b_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} a_j$, $i = 1, \dots, n$ 。

对于整棵指标集的各个叶子节点指标,按照上述规则自上而下合成其总排序权重 ω_j^{AHP} 。

至此,对于某一具体算法 $Algorithm_i$,其评价函数为: $F_i = \sum_j Result_i^j \times \omega_j^{AHP}$ 。

5 实例分析

5.1 待评价算法

实验选择的待评价规划算法有 2 类:基于遗传算法的任务规划算法和基于标记更新的任务规划算法,分别简记为算法 1 和算法 2。

5.2 指标集定义

为了适应不同的规划要求,定义 3 个评价指标集如下:

① 任务优先评价指标集:重点关注观测任务的完成情况,要求尽可能多地观测到更重要的目标,并希望获得较好的观测质量,其权重设置如图 1 所示;

② 效率优先评价指标集:重点关注算法的求解效率,要求尽可能少地消耗计算资源,尽快获得规划结果。其中“任务完成”、“资源利用”和“算法性能”3 个指标的权重分别为 0.15、0.15、0.7,其余指标权重不变;

③ 资源优先评价指标集:重点关注算法对成像、接收资源的占用情况,要求尽可能少地消耗观测、接收资源,完成观测。其中“任务完成”、“资源利用”和“算法性能”3 个指标的权重分别为 0.15、0.7、0.15,其余指标权重不变。

5.3 测试数据

实验采用 10 组规模不等的测试数据,每组测试数据包含 10 个卫星任务,测试数据如表 2 所示。

表 2 测试数据

序号	目标数目	重点目标数目	规划时间段
1	5	0	1
2	10	1	3
3	30	3	7
4	50	4	10
5	70	6	15
6	100	9	24
7	150	16	36
8	200	25	48
9	250	29	60
10	300	30	72

5.4 实验结果

用待评价规划算法对 10 组测试数据进行规划,获得规划结果后,按照上文模型,得到各个指标的指标值,基于上述 3 个评价指标集的权重设置对基础指标进行综合,得到综合评价值。绘制综合评价值随观测目标数目变化的曲线如图 3 所示。

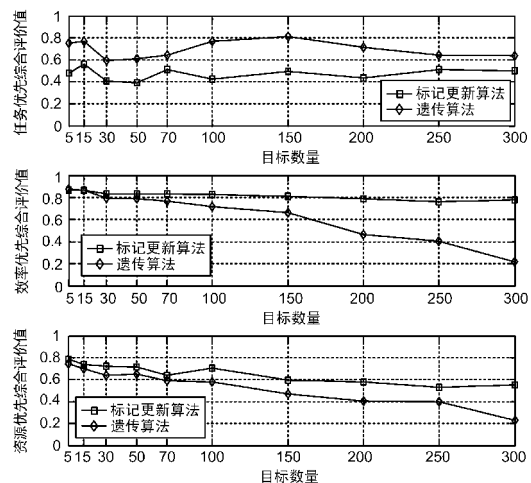


图 3 2 类算法在 3 种不同指标集下的综合评价值对比
根据上述实验结果可得出如下结论:

① 在效率优先和任务优先评价指标集下,算法 2 表现优于算法 1。并且随着任务规模的增长,这种优势迅速扩大。这是因为算法 1 在交叉变异时需要进行大量的加法和乘法以及二者的混合操作,耗时更长;

② 在任务优先评价指标集下,算法 1 表现优于算法 2。这种优势在中等任务规模上表现得尤为突出,这是因为算法 1 基于全局最优,而算法 2 基于局部最优;但随着任务规模的增长,2 类算法的综合评价价值逐渐接近。这是因为任务规模增长使算法 1 的算法性能和资源占用性能急剧下降,极大抵消了任务完成方面的优势;

③ 详细考察各个具体指标,发现算法 1 在“时间需求”指标上表现很差,而算法 2 在“任务完成”指标上表现不佳。

综合以上 3 点,可以得到这 2 类任务规划算法的优缺点为:算法 1 任务完成情况好,但是运算时间长、规划资源占用量大;算法 2 运算快速,规划资源占用量小,但是全局优化性不高。

6 结束语

上述针对联合任务规划算法的效能评价问题,提出了一个面向应用的效能评价机制,分别建立了

联合任务规划效能评价指标体系和定量化评价模型。应用该方法对 2 种不同的任务规划算法进行了综合评价,分析总结了不同算法的适用性,对算法的工程化应用起到了重要的指导作用。✦

参考文献

- [1] 贺仁杰. 成像侦察卫星调度问题研究[D]. 国防科技大学博士学位论文. 长沙: 国防科技大学, 2004: 22 - 23.
- [2] GLOBUS A, CRAWFORD J, LOHN J, et al. A Comparison of Techniques for Scheduling Earth Observing Satellites [C]. In Proc. of the 16th Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence (IAAI - 04), San Jose, CA, USA, 2004: 68 - 72.
- [3] 郑宗汉, 郑晓明. 算法设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 340.
- [4] 刑文训, 谢金星. 现代优化计算方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 1 - 24.
- [5] 谭跃进, 陈英武, 罗鹏程, 等. 系统工程原理[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 201.
- [6] KUIPERS E J. Algorithm for the Management of the Missions of Earth Observation Satellites [C]. Booklet of abstracts, Fifth ROADEF Annual Conference, Avignon, France, 2003: 34 - 37.

作者简介

张正强 男 (1978—), 北京市遥感信息研究所副研究员, 博士。主要研究方向: 遥感卫星任务规划与决策。

(上接第 32 页)

3 结束语

提出一种缝隙耦合馈电双对称 U 形槽加载三频贴片天线。仿真和实验结果表明该天线可以在 3 个频段内都实现良好的线极化纯度。天线不但满足了 IEEE 802. 11 系列标准的工作频段要求, 还能作为多入多出天线系统的组成单元, 提供极化分集增益。其成本低、易加工、易集成, 具有工程实用价值。✦

参考文献

- [1] 李 忻, 聂在平. 天线互耦对 MIMO 无线信道性能的影响[J]. 电波科学学报, 2005, 20(4): 546 - 551.
- [2] CHIU Chi-Yuk, YAN Jie - Bang, MURCH R. D. Compact Three-Port Orthogonally Polarized MIMO Antennas [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 6(1): 619 - 622.
- [3] SARRAZIN J, MAHE Y, AVRILLON S. Investigation on Cavity/Slot Antennas for Diversity and MIMO Systems: The Example of a Three-Port Antenna [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008, 7(5): 414 - 417.
- [4] HONG Tao, GONG Shu-Xi, LIU Ying. Monopole Antenna

With Quasi-Fractal Slotted Ground Plane for Dual-Band Applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9(6): 595 - 598.

- [5] NASIMUDDIN, CHEN Zhining, QING Xianming. Dual-Band Circularly Polarized S-Shaped Slotted Patch Antenna With a Small Frequency-Ratio [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010, 58(2): 112 - 115.
- [6] SIM C Y D, CHANG Chunchuan, ROW Jeen-sheen. Dual-Feed Dual-Polarized Patch Antenna With Low Cross Polarization and High Isolation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57(10): 3321 - 3324.
- [7] ZHOU Zhanwei, YANG Shiwen, NIE Zaiping. A Novel Broadband Printed Dipole Antenna With Low Cross-Polarization [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(3): 991 - 993.
- [8] GUHA D, KUMAR C, PAL S. Improved Cross-Polarization Characteristics of Circular Microstrip Antenna Employing Arc-Shaped Defected Ground Structure (DGS) [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009, 8(12): 1367 - 1369.

作者简介

孙钰君 男 (1981—), 上海大学通信与信息工程学院硕士研究生。主要研究方向: 微带天线和 MIMO 天线。