

## The optional obstacle avoidance method of Change's 3—based on direction division

Chenhao Zhang

North China Electric Power University, Baoding 071000, China

805430130@qq.com

**Keywords:** obstacle avoidance; root-mean-square deviation of slope; root-mean-square deviation of height; global optimization; part optimization.

**Abstract.** This paper studied the obstacle avoidance problem during the falling-to-moon stage of the Change's 3. Thus the optimal control strategies were obtained for both the rough obstacle avoidance stage and the precise obstacle avoidance stage. Using “the optional obstacle avoidance method—based on direction division”, the paper introduced the root-mean-square deviation of slope (to measure the smooth degree) and root-mean-square deviation of height (to measure the height variation range). The aim is to do the global optimization in the rough obstacle avoidance stage and the part optimization in the precise obstacle avoidance stage. (1): The rough obstacle avoidance stage: Use four planes to segment the picture area taken in the high altitude 2400m to the earth, as shown in the Picture1. In the four planes we selected one point every 1 meter, then figure out the root-mean-square deviation of slope and the root-mean-square deviation of height, shown in the Table 1. Through this, we know plane 4 is the optimal rough obstacle avoidance plane, which is also verified by the Picture2 and Picture3. Then we figure out the root-mean-square deviation of slope and the root-mean-square deviation of height in a and b directions (see in Table2). The direction was chosen as the optional rough obstacle avoidance direction. (2): The precise obstacle avoidance stage: Use the same method of rough obstacle avoidance stage, but we selected a point every 0.5 meter to improve the search accuracy, narrow the search scope gradually, and finally find the most suitable landing area. The method can be seen in Picture5.

### 嫦娥三号基于分方向的最优避障方法

张晨浩

华北电力大学，保定071000，中国

805430130@qq.com

**关键词:** 避障，斜度标准差，高度标准差，全局寻优，局部寻优

**摘要:** 本文研究了嫦娥三号落月过程中避障阶段的优化问题，得出了粗避障和精避障阶段的最优控制策略。采用“基于分方向的最优避障方法”，引入斜度标准差和高度标准差（前者衡量平缓程度，后者衡量高度变化幅度），分别进行粗避障阶段的全局寻优和精避障阶段的局部寻优。（1）粗避障阶段：用4个面分割距月面2400m高空拍摄的区域如图1，对每个面每隔1m取点，求出斜度标准差和高度标准差如表1，得出面4为最佳粗避障面，并用图2和图3进行了验证；之后求取面4的a方向和b方向的高度标准差和斜度标准差如表2，选择a方向为最佳粗避障方向。（2）精避障阶段：采用与粗避障相同的方法，对每个面每隔0.5米取点以提高搜索精度，逐步缩小搜索范围，最终找到合适的着陆区域，实施方式如图5所示。

## 1. 引言

嫦娥三号的软着陆是一个非常复杂的过程，避障<sup>[1]</sup>过程相对来说最为复杂，粗避障和精避障的顺利实施对于软着陆的成功至关重要，本文采用基于分方向的最优避障方法求解了上述两个阶段的最优控制策略。

## 2. 图像处理

运用MATLAB对在2400米高空和100米高空拍摄的数字高程图进行处理，得到预定着陆区域各个点的高度数据，在后续计算使用。

## 3. 粗避障阶段

距月面2400米到100米这一阶段为粗避障阶段，主要目的是避开大陨石坑，实现在设计着陆点100米上空的悬停，初步确定落月点，因此这一过程为全局寻优过程。

此时，嫦娥三号在该区域中心正上方2400米处，分四个面划分 $2300 \times 2300\text{m}^2$ 的预定着陆区域，这四个面的划分如图1所示：

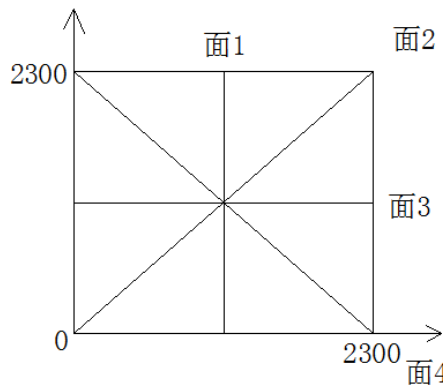


图1 对 $2300 \times 2300\text{m}^2$ 的预定着陆区域的划分

### 2.1 斜度标准差

定义每个面的斜度标准差<sup>[2]</sup>为 $\sqrt{D_k}$  ( $k=1,2,3,4$ )，用来衡量每个面的平缓程度。以面1为例进行说明，考虑到数字高程图的分辨率和嫦娥三号的大小，在该面上每隔 $d=1\text{m}$ 取一个点，共取 $n$ 个点，第 $i$ 个点处对应的高度为 $h_i$ ，定义第 $i$ 与 $i+1$ 个点之间的斜度为 $\theta_i$ ，其中

$$\theta_i = \arctan \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{d} \right) \quad i = (1, 2, \dots, n)$$

它表示 $i$ 和 $i+1$ 两点之间的平缓程度， $\theta_i$ 越大，表示两点之间的坡度越陡， $\theta_i$ 越小，表示两点之间的坡度越缓，所有斜度值的平均值为

$$\bar{\theta} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \theta_i$$

则斜度标准差表示为

$$\sqrt{D_1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (1)$$

按此方法，分别求出 $\sqrt{D_2}, \sqrt{D_3}, \sqrt{D_4}$ ，比较 $\sqrt{D_1}, \sqrt{D_2}, \sqrt{D_3}, \sqrt{D_4}$ 的大小，认为最小的斜度标准差对应的面最平缓。

### 2.2 高度标准差

定义4个面的高度标准差分别为 $\sqrt{\delta_k}$  ( $k=(1,2,3,4)$ )，用以衡量高度变化幅度，以面1为例，高度标准差为

$$\sqrt{\delta_1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (h_i - \bar{h})^2} \quad (2)$$

分别求得  $\sqrt{\delta_1}, \sqrt{\delta_2}, \sqrt{\delta_3}, \sqrt{\delta_4}$ ，认为最小的高度标准差对应的面高度变化幅度最小。

### 2.3 模型的求解

运用MATLAB<sup>[3]</sup>编程求得四个面的斜度标准差和高度标准差如表1所示

表1 四个面对应的两个标准差

	面1	面2	面3	面4
斜度标准差	23.7155	21.4064	21.4948	13.4787
高度标准差	33.0981	21.1524	30.0080	6.7349

通过表1可以很直观的看出，面4的斜度标准差和高度标准差均最小，因此面4为最佳粗避障面。

作出各个面的斜度变化和高度变化的分布图，如图2和图3所示：

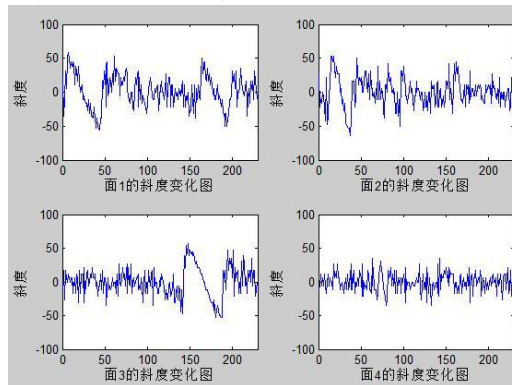


图2 四个面的斜度变化

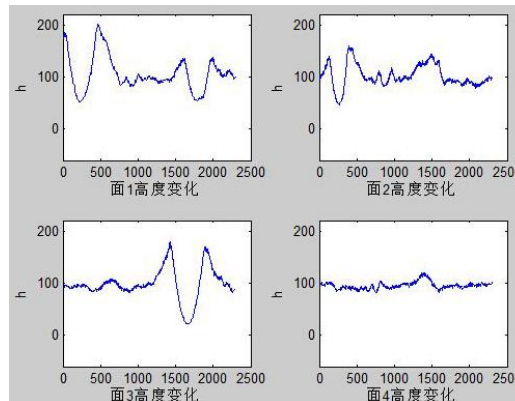


图3 四个面的高度变化

根据图2和图3可以看出，面4最平缓并且高度变化程度最小，进一步验证了面4作为最佳粗避障面的合理性。

由于在预定着陆区域中心沿面4有两个方向a和b可供选择，如图4所示：

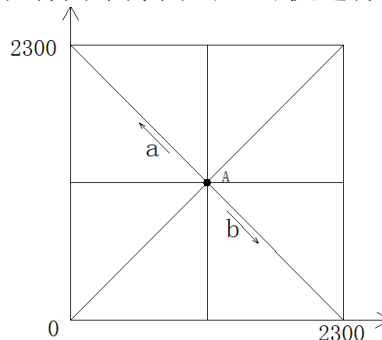


图4: 最佳寻优方向示意

按上述的方法分别求得两个方向的斜度标准差和高度标准差如表2所示：

表2：a和b两方向的标准差比较

	斜度标准差	高度标准差
a方向	29.4830	2.3799
b方向	38.3576	2.7707

通过表2可以明显的看出，a方向为最佳粗避障方向。

#### 4. 精避障阶段

在精避障阶段，所用方法与粗避障阶段相同，具体思路为逐步缩小搜索范围并提高精度，进行斜度标准差和高度标准差的检验，用图5进行说明：

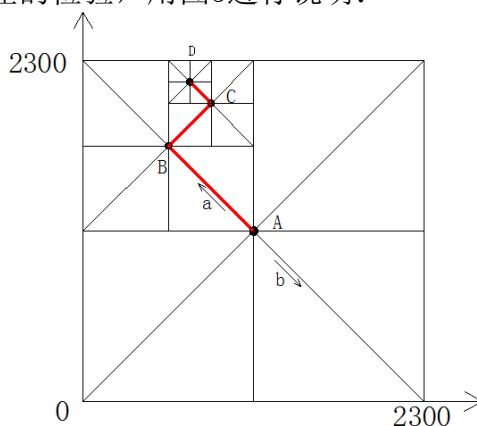


图5 精避障示意图

在粗避障阶段，嫦娥三号在A点上空从高度2400米下降到100米，如上文所述的，最佳粗避障方向为a方向，因此，嫦娥三号可以移动到B点上空，继续进行避障寻优，此时避障寻优区域缩小为原来的1/4，进入精避障阶段。

在精避障阶段，为了提高精确度，每隔0.5米取一个高度，仍然计算沿B点发散的八个方向的斜度标准差和高度标准差，可得最佳精避障方向为  $B \rightarrow C$ ，因此嫦娥三号移动到C点上空进行进一步的避障搜寻，求得最佳精避障方向为  $C \rightarrow D$ ，如此反复进行搜寻，经过一定的次数之后，即可确定最佳降落地点。

#### 5. 综述

本文定义了斜度标准差和高度标准差来衡量避障方向的平缓程度和高度变化幅度，采用基于分方向的最优避障方法选择最佳避障方向，是一种相对简便、切实可行的避障方法。

#### Reference

- [1] Zhang Honghua, Liang Jun. Chang E III autonomous obstacle avoidance soft landing control technology. China Science 2014, 3, 561-564.
- [2] Zhu Anyuan. Error analysis and comparative study of various estimation overall standard deviation methods. Chinese market, 2013.5 34-37.
- [3] Liu Hao, Han Jing .MATLAB2012a completely study on one's self, Beijing: Electronic Industry Press, 2013, 1, 281-283.