

Evaluation of Orbit Control Effect Based on Bayes Data Fusion Method

Tao Hong¹, Deli Meng^{2*}, Yanshan Bian¹

¹China Xi'an Satellite Control Center, Xi'an Shaanxi

²Chang Guang Satellite Technology Co. Ltd., Changchun Jilin

Email: *2467190145@qq.com

Received: Sep. 3rd, 2019; accepted: Sep. 18th, 2019; published: Sep. 25th, 2019

Abstract

A data fusion method based on Bayes reasoning is proposed to promptly judge the orbit control effect of satellite. Firstly, the prior probability of satellite telemetry data including temperature, attitude, and orbit is calculated. Then, the posterior probability is obtained by data fusion using Bayes reasoning method, and the orbital control effect is judged according to the posterior probability. The results show that it is more accurate and reliable to calculate the orbit control probability by data fusion algorithm than by using a single amount of information.

Keywords

Evaluation of Orbit Control Effect, Prior Probability, Bayes Reasoning Method, Data Fusion

基于Bayes数据融合方法的轨控效果评估

洪涛¹, 孟德利^{2*}, 卞燕山¹

¹中国西安测控中心, 陕西 西安

²长光卫星技术有限公司, 吉林 长春

Email: *2467190145@qq.com

收稿日期: 2019年9月3日; 录用日期: 2019年9月18日; 发布日期: 2019年9月25日

摘要

本文提出了基于Bayes推理数据融合理论的卫星轨道控制效果快速评估方法。首先计算卫星遥测数据中温度、姿态、轨道数据信息量的先验概率, 然后通过Bayes推理方法进行数据融合, 得到后验概率, 根据后验概率对轨控效果进行判定。结果表明, 通过融合算法计算轨控概率, 相比通过单一信息量计算更

*通讯作者。

加准确、可靠。

关键词

轨控效果评估, 先验概率, Bayes推理方法, 数据融合

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

单一信息源对于目标结果评定具有一定的不确定性, 其误差率较大, 并且不同类型的信息源可能存在矛盾性。而多源信息融合方法即是根据某些理论和假设, 提取目标属性信息, 通过一定的组合方式获得可靠有效的目标判定结果[1]。在多种数据融合推理方法中, Bayes 推理方法和 Dempster-Shafer (D-S) 证据理论应用较广, 其中 Bayes 推理方法在目标先验概率和条件概率已知的条件下, 其计算错误率是最小的[2]。

本文中的 Bayes 推理方法主要应用于“吉林一号”遥感小卫星的轨控效果评估工作中。实际轨控操作流程执行结束后, 首先需要了解轨控任务是否成功实施。为了能够快速有效地执行轨控效果评估任务, 通过精密定轨工作实现费时较长, 难以满足实际要求。为此, 本文通过对卫星下传测站的遥测数据提取轨控相关的特征信息, 对多传感器采集的遥测数据特征信息进行数据融合, 得到精确、可靠的轨控任务执行成功概率。考虑到卫星实际与轨控相关且互相独立的遥测信息, 采用推进温度、卫星姿态、轨道数据三种信息量进行计算。

2. 基于 Bayes 推理的评估理论

2.1. 相关假设

Bayes 推理方法在多源数据融合的应用中, 要求系统各可能的决策相互独立, 这些决策形成一个样本空间[3]。轨控效果的评估是在轨控任务执行之后进行的, 实际的决策结果只有两种, 即轨控有效与轨控无效, 其决策结果是相互独立的, 在此条件下进行以下合理的假设:

- (1) 各信息量之间相互独立, 互不影响;
- (2) 各信息量决策结果的先验概率满足经验模型;
- (3) 各信息量的原始数据未发生大的异常。即传感器采集正常;
- (4) 轨控发生时, 因为三种信息的变化都很明显, 计算时认为各信息的比重相同。

在满足以上假设的条件下, 进行 Bayes 推理, 得到合理的信息融合结果。

2.2. 轨控效果评估方法

Bayes 方法是最早用于不确定性推理的方法, 主要优点在于使用概率表示所有形式的不确定性, 且有具体的公理基础和易于理解的性质; 另外, 它通过综合先验信息和后验信息避免了主观偏见和缺乏样本信息时带来的盲目搜索和计算, 计算量不大且较精确[4]。

Bayes 推理的基本思想可以归纳如下[5]:

- (1) 根据先验知识或统计求得各个决策的概率密度表达式和先验概率;
- (2) 利用 Bayes 公式求出后验概率;
- (3) 根据后验概率进行判定决策。

如图 1 所示, 共有三种星上传感器采集的遥测信息对同一轨控效果目标进行监控, 首先传感器层将轨控期间接收到的遥测信息进行处理, 提取与轨控相关的特征信息, 给出该属性一个输出值, 该输出值的质量好坏主要取决于传感器的质量及信息提取方法。然后, 计算各传感器输出值在轨控发生命题条件下为真的先验概率。接着, 使用 Bayes 推理方法计算当命题为真时的后验概率。最后根据计算的后验概率和推论规则给出轨控效果判定结论。

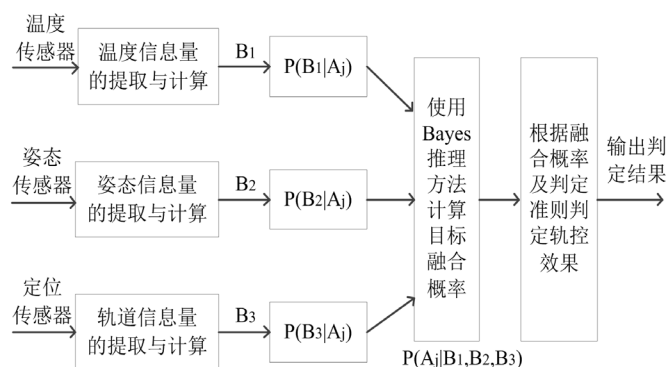


Figure 1. Framework based on Bayes inference method
图 1. Bayes 推理方法框架

根据上述理论, 设计如下算法:

- (1) 每个传感器关于目标的观测转化为目标身份的分类与说明 B_i ;
- (2) 计算每个信息量关于计算目标的先验概率, 即 $P(B_i/A_j)$;

(3) 根据 Bayes 推理方法, 使用先验概率结果计算目标的融合后验概率 $P(A_j/B_1B_2B_3)$ 。根据后验概率给出评估结论。

其中 A_j 代表轨控效果事件组成的空间, 即轨控发生与轨控未发生, B_i 代表上述信息量实际变化事件。

2.3. 先验概率计算方法

推进温度、卫星姿态、轨道数据信息与轨控发生具有较强的相关性, 在轨控任务执行过程中, 分别有一定的变化。根据轨控发生时, 各数据信息的变化程度, 本文采用如下数学模型计算轨控发生时各信息量的先验概率:

$$P(B_i/A_j) = \arctan(k_i x_i), i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中 x_i 为对应信息量的变化程度, i 分别表示三种数据信息。 k_i 为经验系数, 针对不同的信息量, 先验概率与对应的自变量分别有不同的对应关系, 结合一定的工程经验, 选取特征点, 根据公式 1 可以求解对应的 k_i 。

2.4. 后验概率计算方法

对于以上三个传感器的观测事件分别为 B_1, B_2, B_3 , 在它们之间相互独立, 且与被观测对象独立的条件下, 则可以得到系统有三个传感器时的决策后验概率为:

$$P(A_j/B_1B_2B_3) = \frac{\prod_{i=1}^3 P(B_i/A_j) \cdot P(A_j)}{\sum_{j=1}^2 \prod_{i=1}^3 P(B_i/A_j) \cdot P(A_j)} \quad (2)$$

3. 基于 Bayes 推理的评估实例

3.1. 各信息量的先验概率计算

首先经滤波去噪处理以尽量消除数据噪声影响, 结合先验概率公式, 选定满足一定工程经验的标志性概率点, 求出公式 1 中对应的系数 k_i , 即可求出对应信息量的经验概率公式。结合“吉林一号”卫星某次轨控过程中的整段实际在轨遥测数据, 下面依次给出三个信息量的先验概率公式计算过程:

(1) 温度信息先验概率

温度信息的评判依据是管路进口温度变化量, 根据管路进口温度的实际变化规律, 可以求出 $k_1 = 0.615$, 得到先验概率公式为:

$$P(B_1/A_1) = \arctan(0.615e+03x_1) \quad (3)$$

(2) 姿态信息先验概率

姿态信息的评判依据是姿态角动量变化量, 根据姿态角动量的实际变化规律, 同理可以求出 $k_2 = 20.0$, 得到先验概率公式为:

$$P(B_2/A_1) = \arctan(20.0x_2) \quad (4)$$

(3) 轨道信息先验概率

轨道信息评估依据选用的是轨道半长轴平根滤波值的变化情况, 根据实际工程经验可以求得 $k_3 = 0.0062$, 从而得到先验概率公式为:

$$P(B_3/A_1) = \arctan(0.0062x_3) \quad (5)$$

3.2. 后验概率计算与轨控效果评估

轨控效果评估即是对轨控动作完成后, 轨控是否发生的属性 A_j 进行判断, A_j 的属性包含两种: 发生轨控, 其概率为 $P(A_1)$, 未发生轨控, 其概率为 $P(A_2)$ 。以上三种信息的先验条件概率, 即 $P(B_i/A_j)$ 可以通过上述先验概率公式求得, 按照算例计算结果得: $P(B_1/A_1) = 0.9644$, $P(B_2/A_1) = 0.7081$, $P(B_3/A_1) = 0.9842$ 。将上述值带入 Bayes 推理公式, 计算结果如下:

$$P(A/B_1B_2B_3) = \frac{0.5 \times 0.9644 \times 0.7081 \times 0.9842}{0.5 \times 0.9644 \times 0.7081 \times 0.9842 + 0.5 \times 0.4^3} = 0.9131 \quad (6)$$

可以得到依据三种信息条件计算得到的轨控后验概率为 0.9131。这里根据实际工程需要, 将轨控成功概率的门限设为 0.8, 即当 $P(A_1/B_1B_2B_3) > 0.8$ 时, 判定轨控成功。所以在上例中, 可以得到轨控成功的结论, 与实际结果一致。对比姿态先验概率结果, 如果只采用姿态信息量就会得出错误的结论, 可以看出采用基于 Bayes 推理的信息融合方法相对使用单一信息量来说, 可以提高判定结果可信度。

4. 结论

对卫星轨道控制效果执行快速有效的评估可以保障后续航天任务稳妥的进行, 通过 Bayes 推理的信息融合方法能够融合多种与轨控相关的遥测信息量, 做出比依据单一信息量更加可靠准确的判断。在融

合算法的计算过程中, 先验概率的计算需要具有一定和卫星相关的知识和工程经验, 是算法中的关键一环。同样的, 在其他领域, 可以依据相关领域的专业知识, 建立相应的先验概率模型, 进行信息融合计算。

参考文献

- [1] 王俊林, 张剑云. 采用 Bayes 多传感器方法进行数据融合方法进行目标识别[J]. 传感器技术, 2005, 24(10): 86-88.
- [2] 罗俊海, 王章静. 多源数据融合和传感器管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [3] 王慧频, 徐晖, 孙仲康. 采用 Bayes 数据融合方法进行目标和诱饵的识别[J]. 国防科技大学学报, 1996, 18(2): 59-64.
- [4] 聂伟, 郭红哲, 张素妍. 基于 Bayes 决策理论的数据融合方法[J]. 传感技术学报, 2003(3): 287-290.
- [5] Koshizen, T. (2000) Improved Sensor Selection Technique by Integrating Sensor Fusion in Robot Position Estimation. *Journal of Intelligent and Robotic, Systems: Theory and Applications*, **29**, 79-92.
<https://doi.org/10.1023/A:1008123508778>