

doi: 10.7690/bgzdh.2022.08.010

# 一种航天控制器软件应用层接口数据分析方法

郭明珠

(北京控制工程研究所软件研制中心, 北京 100094)

**摘要:** 为保证航天器控制软件产品质量, 提出一种航天器控制软件应用层接口数据分析方法。结合具体型号, 采用面向对象方法分析外部单机, 获得应用层接口数据(应用层 API); 使姿轨控核心业务与通信、协议、数据处理、部件管理等支持业务分离, 确定核心业务与支持业务的沟通界面。结果表明: 该方法可提高软件功能的独立性, 软件架构的灵活性, 降低软件研制复杂度, 将姿轨控分系统所有外部单机和控制计算机组织为有机整体, 保证软件产品在功能和设计 2 个维度上的高内聚和低耦合。

**关键词:** 需求分析; 面向对象; 应用层接口数据

**中图分类号:** TP274 **文献标志码:** A

## Analysis Method for Application Layer Interface Data of Aerospace Controller Software

Guo Mingshu

(Software Development Centre, Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100094, China)

**Abstract:** In order to ensure the quality of spacecraft control software products, a method for analyzing the interface data requirements of spacecraft control software application layer is proposed. According to the specific model, the application layer interface data (application layer API) is obtained by analyzing the external single machine with the object-oriented method; the core business of attitude and orbit control is separated from the support business such as communication, protocol, data processing and component management, and the communication interface between the core business and the support business is determined. The results show that the method can improve the independence of software function and the flexibility of software architecture, reduce the complexity of software development, organize all external stand-alone and control computers of attitude and orbit control subsystem into an organic-whole, and ensure the high cohesion and low coupling of software products in 2 dimensions of function and design.

**Keywords:** requirement analysis; object-oriented; application layer interface data

## 0 引言

随着航天事业蓬勃发展, 航天飞行器应用领域不断扩展, 航天监视、航天支援、航天作战、航天勤务保障等领域的持续深化和迅速扩展, 航天飞行器任务越来越多样化、智能化、复杂化, 对航天飞行器可靠性、安全性、精确性、耐用性提出更高要求。航天器控制软件作为航天飞行器的控制中枢, 其质量是任务成败的关键。随着对航天器软件复杂功能、超高性能、高可靠性、高正确性、高灵活性要求的不断提高, 结构完整、逻辑清晰、易于理解、富有系统张力的软件需求分析, 成为软件产品质量的根本保证。

笔者结合型号任务, 采用面向对象方法<sup>[1-2]</sup>, 对控制分系统外部单机进行功能抽象和数据抽象, 获取应用层 API, 即核心业务(如姿轨控算法)的数据

抽象。该应用层 API 将核心业务和支持业务(通信、协议与数据处理等)分离, 具有以下优点: 1) 大幅降低核心业务和支持业务之间的交叉控制、重叠控制、嵌套控制等高耦合复杂逻辑; 2) 增强支持业务和核心业务的灵活性、可扩展性和可维护性; 3) 奠定软件构件产品化基础, 快速形成可复用资产; 4) 保障核心业务功能的高内聚和低耦合, 与硬件设计完全解耦。

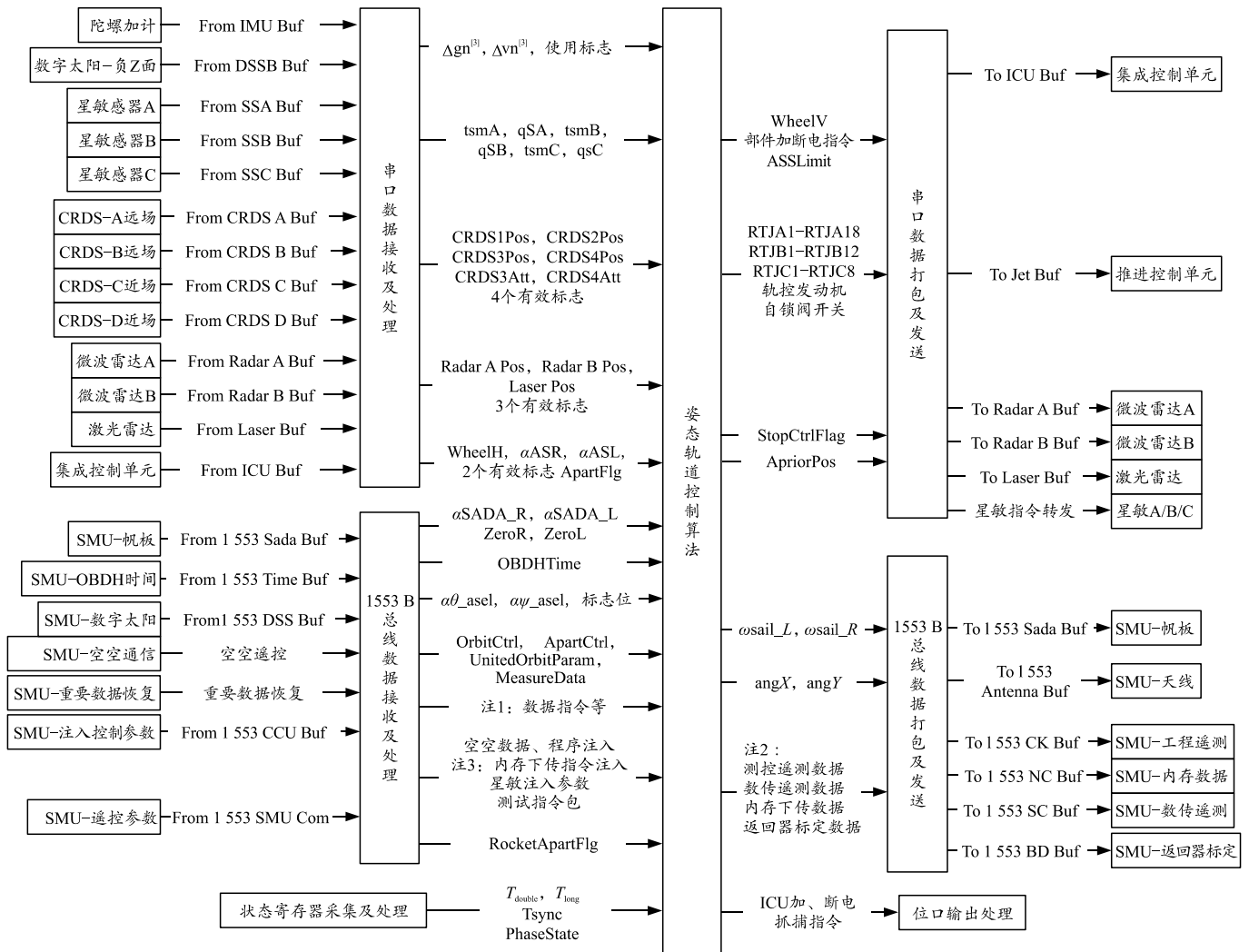
## 1 方法应用实例

在嫦娥五号轨道器软件研制中应用该方法, 对每一外部单机进行功能和数据抽象, 获得如图 1 所示的应用层 API。

图中“姿态和轨道控制算法”所有输入和输出数据即为核心业务的数据抽象, 即应用层 API, 具体步骤如下:

收稿日期: 2022-04-01; 修回日期: 2022-05-08

作者简介: 郭明珠(1975—), 女, 山西人, 硕士, 高级工程师, 从事系统建模与仿真研究。E-mail: mingshuguo@163.com。



以下数据项无需进行后续数据流分析:

注1: 包括℃数据指令No、℃可变地址参数注入No和℃重要数据No。

注2: 对已有数据项打包发送, 无新增数据项。

注3: 纯接口需求, 直接流入串口打包或1553 B总线数据打包发送, 不经过姿轨控算法。

另: ℃状态寄存器采集及处理No和No位口输出处理No相关数据项功能独立简单, 直接在功能点中描述。

图 1 轨道器软件应用层 API

1) 以某外部单机为对象, 通过正常功能抽象提取核心数据, 获取该对象的应用数据、控制量及其控制域、控制量之间的控制关系、功能点、数据字典(具体内容见第 2 节)。

2) 通过异常情况分析, 决定各状态量的当前状态, 避免异常数据引入系统, 如通信故障处理、数据有效性判断、故障诊断及处理。分析过程与上述正常功能严格分离, 即允许使用正常处理过程中的所有数据, 但不能影响(修改、增加、移动、合并等)正常处理功能。

3) 所有外部对象分析结束后, 分析外部对象的特殊需求和共性需求(如果有), 如控制力矩陀螺、三浮陀螺、星敏等单机硬同步、软同步的共性、差异及其相互关系。

4) 分析测控分系统, 仅提取测控分系统作为数据源的数据流进入应用层 API, 如轨道、轨控和姿态机动等地面注入数据; 秒脉冲和校时数据等。

通过功能和数据抽象, 所有外部对象与姿态及轨道控制算法之间的应用数据组成应用层 API。应用层 API 向内是核心业务功能“姿态和轨道控制算法”, 向外指向支持业务功能<sup>[4]</sup>。两者之间通过应用层 API 分离, 也通过应用层 API 交互。

对于传感器、执行机构等外部单机, 由图 1 可知, 由硬件采集的数据经数据抽象得到每个外部单机的应用数据, 如陀螺、星敏等传感器的抽象数据, 流入核心业务“姿态和轨道控制算法”; 经该算法变换成轮子、推力器等执行机构的抽象数据流出。

除了敏感器、执行机构、帆板和天线等相对独立的外部单机，测控分系统作为航天控制器软件的“外部实体”，与核心业务功能之间存在大量双向交互数据，几乎涵盖所有软件变量。其数据抽象方法不宜采用面向对象方法，但分析原则不变，非必要数据不进入应用层 API。依据具体功能具体分析的原则，图中注 1、注 2、注 3，由于其功能与核心业务无关，不作为应用层 API 数据，轨道控制参数、分离控制参数 (OrbitCtrl、ApartCtrl) 等数据是核心业务层重要数据来源，所以作为应用层 API 数据。分析结果表明，大量数据被控制在核心业务功能之外，极大降低了地面控制与控制器自主控制的耦合，

为下一步的功能分解奠定了坚实基础。

## 2 以陀螺为例介绍面向对象分析的过程

针对陀螺，软件功能是向核心业务提供正确陀螺数据，同时避免引入异常数据。对陀螺采用面向对象分析，得到陀螺数据量、状态量、功能点、状态量与数据量的控制关系及状态量之间的控制关系<sup>[5]</sup>。陀螺数据流(图 2)展示了陀螺的功能点<sup>[6]</sup>、陀螺数据量及对应状态量；陀螺状态控制表(表 1)和陀螺状态控制图(图 3)给出陀螺状态量的变化渠道和与其他状态量的控制关系；陀螺数据字典(表 2)汇总陀螺数据及其属性。

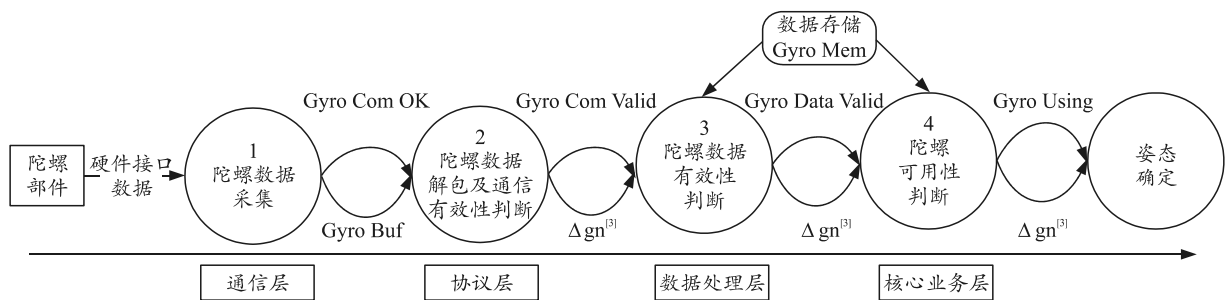


图 2 陀螺数据流

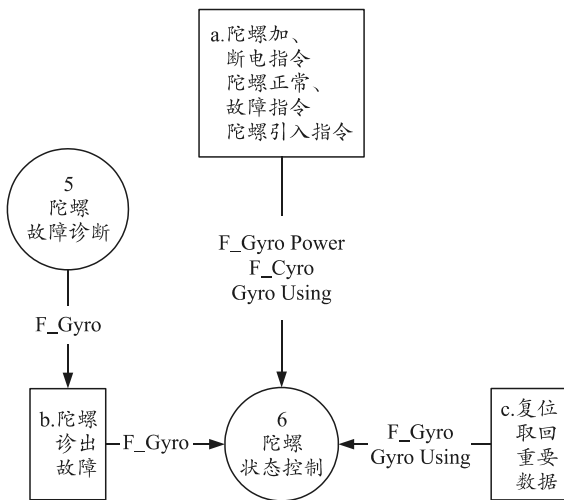


图 3 陀螺状态控制

表 1 陀螺状态控制(功能点 6)

序号	事件	处理
	断电指令	完成指定陀螺断电操作，置该陀螺 F_Gyro Power 断电，Gyro Com OK 通信失败、Gyro Com Valid 通信无效、Gyro Data Valid 数据无效
	加电指令	完成指定陀螺加电操作，置该陀螺 F_Gyro Power 加电
a	正常指令	置指定陀螺 F_Gyro 正常
	故障指令	置指定陀螺 F_Gyro 故障，Gyro Com OK 通信失败、Gyro Com Valid 通信无效、Gyro Data Valid 数据无效
	引入指令	置指定陀螺 Gyro Using 为引入；同时不再执行自主选用算法，直到地面恢复陀螺自主选用
b	诊出故障	置故障陀螺 F_Gyro 故障，其余同 a 中“故障指令”
c	取回重要数据	按照取回重要数据中的 Gyro Using 和 F_Gyro 更新陀螺的 Gyro Using 和 F_Gyro 状态，给引入的陀螺补发加电操作，并置相应陀螺 F_Gyro Power 加电

表 2 陀螺数据字典

参数	数据流	物理意义	来源	更新周期/ms	备注
数据抽象过程中的数据量(陀螺数据)	Gyro Buf	陀螺数据缓存区	采集硬件	160	输入数据
	$\Delta gn^{[3]}$	6 陀螺角度增量	Gyro Buf	160	输出数据
	Gyro Mem	陀螺装订数据	装订数据	事件触发	如安装阵
数据抽象过程中的状态量(陀螺数据状态量)	Gyro Com OK	通信成功	功能点 1	160	数据采集
	Gyro Com Valid	通信有效性	功能点 2	160	数据解包及通信有效性判断
	Gyro Data Valid	数据有效性	功能点 3	160	数据有效性判断
	Gyro Using	选用标志	功能点 4, a, c	160	输出数据
逻辑抽象过程中的状态量(陀螺部件状态量)	F_Gyro Power	加电/断电	a		
	F_Gyro	正常/故障	a、b、c	事件触发	

图 2 描述陀螺向核心业务提供陀螺角度增量的

过程。通过图 3 所示的 4 个功能点，得到输出数据

流  $\Delta gn^{[3]}$  和 Gyro Using, 图中其他数据项对外都不可见(可遥测)。同时, 图中每个数据项都对应一个数据状态量, 该数据是否可受对应状态量控制, 且 Gyro Com OK、Gyro Com Valid、Gyro Data Valid、Gyro Using 之间存在传递控制关系。即某陀螺通信成功, 才能进行数据解包; 解包正确才能进行数据有效性判断; 数据有效才可能被使用。

图 3 描述陀螺状态的变化, 目的是通过状态量之间的控制关系, 避免将陀螺异常数据引入核心业务<sup>[6]</sup>。如图 3 所示, 涉及“陀螺故障诊断”和“陀螺状态控制”2 个功能点, a, b, c 3 个改变陀螺状态的渠道, 陀螺状态改变后的控制关系通过“陀螺状态控制”(功能点 6)实现。由表 1 可知: 1) 陀螺部件状态量 F\_Gyro Power 和 F\_Gyro, 通过对 Gyro Data Valid 的控制实现对 Gyro Using 的控制, 保证硬件故障不引入系统; 2) “陀螺引入指令”直接由地面指定引入系统的陀螺, 应对意想不到的软件问题。

如上所述, 陀螺最终只有 Gyro Using 和  $\Delta gn^{[3]}$  对外可见, 是陀螺在应用层 API 的体现, 是陀螺单机在核心业务与支持业务之间的结合点, 核心业务只能通过 Gyro Using 指定的陀螺访问相应的陀螺数据  $\Delta gn^{[3]}$ 。

### 3 应用层 API 分析方法的优点

1) 核心业务与支持业务数据分离, 基本上保证核心业务软件产品的高内聚和低耦合, 具有极强的可扩展性, 灵活应对各方位、各层次的更动需求甚至推倒重来。

2) 高度抽象外部单机, 简化核心业务与外部单机的关系, 每一外部单机仅“应用数据”和“该数据是否可用”对核心业务可见; 核心业务无需考虑外部单机状态, 如正常/异常、加电/断电、使用/禁止、有效/无效等通通无需考虑, 非常有利于核心业务功能的产品化、通用化。

3) 外部单机所有功能及状态封装在对象内部, 对外数据完整明晰、状态量控制域明确、状态量之间控制关系清晰, 保证实体对象软件逻辑清晰、功能独立, 具有高度可扩展性和可维护性。

4) 应用层 API 的综合作用。应用层 API 从系统高度把计算机硬件接口、通信协议、数据有效性及可用性判断、部件管理等十几份文件的需求有机结合在一起, 完整而清晰地描述系统组成和数据变换, 有利于设计和测试人员快速建立完整、清晰、

结构化的软件框架。

5) 面向对象的分析方法, 极大降低系统复杂度。把系统复杂度分解到各实体对象, 通过对每个实体对象的完整分析和抽象综合, 封装后的实体对象对外部而言功能简单、意义明确, 大大降低软件研制的人为复杂度。

6) 使用该方法研制嫦娥五号轨道器应用软件发现: 在功能复杂、接口众多的情况下, 应用层 API 的数据量大幅减少, 极大降低了核心业务与支持业务之间信息沟通的维护成本, 为后续软件开发、软件更动、软件验证、软件评估提供了逻辑清晰、内容完整、使用便利的追溯机制。

## 4 结束语

通过在嫦娥五号轨道器型号研制过程中实践应用层 API 分析方法, 总结如下:

1) 需求分析的目的是“沟通”。在“沟通”这个终极目标指导下有的放矢, 才能产生完整(功能性)、系统(逻辑性)、清晰(易理解性)的需求规格说明; 避免陷入以代码为中心的怪圈, 以细节为主体的繁复, 需求分析文档只见树木不见森林, 分析工作起不到沟通的作用, 还限制了设计空间。

2) 理论为分析指明方向, 不是具体操作手册<sup>[7]</sup>。缺乏经验下的生搬硬套往往导致需求规格文档“什么都说了, 却又什么都没说”的尴尬。实践过程是循序渐进的抽象过程, 无数次的大胆尝试、否定再否定, 才能提炼出最佳方案。伴随这个过程, 是个人抽象能力的提升和工作产品的质量提升。

3) 需求分析过程是不断分析和不断综合的过程, 综合是分析的结晶。研制的模样、初样及正样都是分析-综合的多次迭代, 切忌只有分析没有综合。综合是检验分析方法的过程, 不停地检验直到综合能够比较顺当地组织分析结果, 才能综合出高度抽象的软件需求模型<sup>[8]</sup>。

4) 需求规格说明是对综合结果的描述, 不是分析过程的展示。它从软件角度系统、完整且详细地描述硬件、系统软件、控制算法、系统设计如何共同完成在轨任务, 是技术总体需求、方案总体需求、遥控遥测需求、各种通信需求的组织者或联络员; 软件需求规格说明<sup>[9]</sup>是将所有需求联系在一起的“沟通者”。

## 参考文献:

[1] ROGER S P. 软件工程-实践者的研究方法[M]. 郑人

- 杰, 马素霞, 白晓颖, 等. 北京: 机械工业出版社, 2009: 76-176.
- [2] 张海藩. 软件工程导论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 176-231.
- [3] 陈策, 赵春霞, 郭久武. 军用装备软件需求层次分解及其规格描述[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(1): 17-121.
- [4] 张晶, 代攀, 吴天京, 等. 新一代智能电网技术标准体系架构设计及需求分析[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(9): 12-20.
- [5] 许承东, 裴鑫, 刘英博, 等. 直升机 MRO 信息系统需求分析与体系结构[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(10): 2285-2292.
- [6] 刘春, 黄冉冉, 张伟, 等. 信息物理融合系统的软件需求分析[J]. 计算机学报, 2016, 39(11): 2344-2354.
- [7] 罗新星, 朱名勋, 唐中君. 可信软件需求获取与分析研究综述与展望[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(10): 3617-3621.
- [8] 蒋海昌. 降低软件需求分析风险之探索[J]. 计算机时代, 2010, 25(10): 51-52.
- [9] 夏建勋, 唐红武. 需求分析的 Z 语言形式化方法[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(8): 2245-2248.
- \*\*\*\*\*
- (上接第 46 页)
- [9] 张雅媛. 基于 D-S 证据理论的无线传感器网络决策融合研究[D]. 河南: 河南科技大学, 2019.
- [10] 张传富, 于江, 张斌. 军事信息系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019: 346-349.
- [11] 刘雨岑. 基于 D-S 证据理论的无线传感器网络数据融合[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [12] 梁耀中, 吕泽正, 种玉祥. 基于贝叶斯网络的无人驾驶行为决策研究[J]. 智能计算机与应用, 2021, 11(2): 93-96, 100.
- [13] 李晓花. 基于贝叶斯算法的网络安全评估模型研究[J]. 电子设计工程, 2021, 29(5): 154-158, 163.
- [14] 萧毅鸿, 周献中, 张铁. 扩展层级任务网络规划的变粒度作战任务分解策略[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(7): 119-122.
- [15] 王伟, 刘付显. 基于任务关系矩阵的作战任务分解优化[J]. 军事运筹与系统工程, 2017, 31(4): 9-14.
- [16] 苏宪程. 空间战场态势感知基本理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 89-90.
- [17] 强立. 基于角色的空间态势产品生成方法研究[D]. 北京: 航天工程大学, 2019.
- [18] 陈固胜. 基于动态贝叶斯网络的战场信息预测与评估[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [19] 陆静, 王捷. 基于超级贝叶斯方法的专家意见先验概率修正研究[J]. 统计与决策, 2013(1): 15-18.
- [20] 李伟生, 王宝树. 基于贝叶斯网络的态势评估[J]. 系统工程与电子技术, 2003(4): 480-483.
- [21] 袁德平. 战场环境下信息融合关键技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2017.
- [22] 柴慧敏, 王宝树. 基于分层贝叶斯网络的计划识别方法[J]. 系统工程与电子技术, 2008(5): 964-967.
- [23] 李伟生. 信息融合系统中态势估计技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.
- [24] 俞露. 基于非同构动态贝叶斯网络的研究与应用[D]. 南京: 南京大学, 2017.
- [25] 侯亭亭, 肖秦琨, 杨永侠. 基于动态贝叶斯网络的手势识别[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(1): 36-39.
- [26] 丁帅, 王亮. 基于块稀疏贝叶斯学习的肌电信号特征提取[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(12): 2731-2738.
- [27] 陈静, 蒋正凯, 付敬奇. 基于 Netica 的自学习贝叶斯网络的构建[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(11): 1687-1693.