

基于多 Agent 的飞机电子仪表系统仿真模型

刘家学, 胡萍, 朱玉娟

(中国民航大学 航空自动化学院, 天津 300300)

摘要: 电子仪表系统 (EIS) 在飞机飞行和维护过程中对飞机性能参数的显示具有至关重要的作用; 针对电子仪表系统的功能仿真, 提出一种基于多 Agent 的 EIS 系统建模方案, 对系统功能从整体角度进行了描述和分类, 在功能分类的基础上进一步建立了层次化系统结构模型, 并利用混合型 Agent 对系统功能对象的结构进行了设计, 建立了系统功能行为模型; 最后以发动机 N1 转速超限为例对上 ECAM 显示功能进行验证, 证明该方法在飞机电子仪表系统仿真建模的实用性和可靠性。

关键词: 电子仪表系统; 多 Agent; 功能仿真; 行为模型

Multi-agent Model for Electronic Instrument System Simulation

Liu Jiaxue, Hu Ping, Zhu Yujuan

(College of Aeronautical Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: The Electronic Instrument System takes an important role for the display of aircraft performance parameters during the process of flight and aircraft maintenance. Aiming at the function simulation of the EIS, this paper proposed a Multi-agent based EIS modeling scheme, established a hierarchical model on the basis of classification on the system function, and designed the structure of the function object with hybrid architecture agent, also built the behavior model of the EIS system. At last, by the example of n1 over limit tested the display function of upper ECAM and finally proved its practicality and reliability of the modeling on EIS.

Keywords: electronic instrument system; multi-agent; function simulation; behavior model

0 引言

电子仪表系统 EIS (electronic instrument system) 是飞机维护训练器的重要部分, 它不仅影响着训练器的逼真度和训练任务的覆盖率, 而且是决定训练器仿真度和先进度的重要指标^[1]。近年来, 国内对电子仪表仿真多集中于系统的显示功能仿真, 如文献 [2] 利用 VAPS 仿真平台对飞机电子仪表显示界面进行设计, 文献 [3-4] 提出了基于 OpenGL 和 GL studio 的电子仪表仿真方法以提高显示的效果, 文献 [5-6] 分别提出了基于嵌入式和单片机的电子仪表设计方案。以上文献对电子仪表显示仿真均进行了深入研究, 但面对维护训练不仅要兼顾系统的显示功能, 而且需要从整体角度对系统功能进行仿真。

机组从仪表直接获取的显示信息是经 EIS 系统内部功能处理后的显示结果, 而内部功能不仅指系统的显示功能, 还包含系统其他复杂功能, 如逻辑处理和故障监控等。因此, 为仿真系统复杂功能, 提高系统仿真度, 有必要建立一个具有系统整体功能行为的 EIS 系统模型。

本文以智能主体 Agent 为工具, 面对系统功能对象建立一种层次化功能型多 Agent 系统, 依赖知识推理以及智能决策达到 EIS 系统功能行为效果, 降低系统仿真的复杂度。

1 EIS 系统功能描述

机载 EIS 系统实时汇集各系统数据信息并将其转换成有效

的图像信号显示在各仪表上供机组了解飞机性能状态。其包含 PFD (primary flight display) 为机组提供飞机姿态信息, ND (navigation display) 为机组提供导航信息, ECAM (electronic centralized aircraft monitor) 为机组提供系统及状态信息。同时系统在飞机发生故障时能够获取故障系统的 BITE 测试信息以产生目视及音响警告, 并且无论飞机处于哪个飞行状态, 系统都能实时响应飞行员的操作请求且在不同模式下能自动管理显示信息和显示形态。

以上描述系统功能, 均是通过具有相似结构和行为过程的智能计算模块或管理模块实现的。依据行为共性的特点将系统行为归纳分为数据获取、逻辑功能处理、信息融合及显示执行 4 个过程, 如图 1 所示。

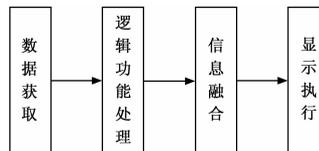


图 1 EIS 系统行为过程图

利用 Agent 可面向复杂系统行为建模^[7]。将 EIS 系统的功能行为与 Agent 的自治性、主动性和反应性相结合, 通过面向系统功能构建多个具有不同结构和执行能力的 Agent 模块实现系统功能建立, 使 Agent 之间通过交互和协作进行信息融合便可实现对系统复杂行为的描述。因此, 可利用多 Agent 对 EIS 系统进行仿真研究。

2 基于多 Agent 的 EIS 系统模型

多 Agent 系统建模包括系统结构建模和系统过程建模, 共包含组织系统图、职能模型、协调工作模型、控制模型和组织管理模型五部分^[8]。职能模型为功能对象, 组织系统图即系统

收稿日期: 2015-12-15; 修回日期: 2016-02-15。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (60832011); 天津市科技攻关计划重点项目 (06YFGZGX00700)。

作者简介: 刘家学 (1969-), 男, 福建漳平人, 教授, 主要从事飞机维修仿真和飞行数据分析方向的研究。

组织结构，而协调工作模型、控制模型和组织管理可概括为系统的行为模型。

2.1 功能对象划分

由于在实际仿真或训练过程中并不关心实体内部细节，因此系统仿真模型仅在较高的层次描述系统的基本功能，在保证功能的前提下尽量减少系统的复杂度。因此针对系统实际需求并且综合实体系统结构等因素将系统功能抽象为数据接口、电源管理、故障监控、逻辑决策、显示管理以及接口终端六大类 Agent 建模方案，对其进行 ID 编号依次为 A~F，各 Agent 单元功能描述如下：

1) 数据接口 Agent 为各实体计算机接口功能抽象，作为系统数据接口实时传递机载设备数据信息，包含参数、事件、电源信息和故障信息等，对所获取的数据进行初步处理并向下级功能处理单元传递。

2) 电源管理 Agent 电源供给是系统正常工作的前提，主要依据电源系统的状态信息及跳开关状态管理系统功能的工作状态。例如汇流条 401XP-B 向显示管理计算机 DMC1 供 115V 交流电，如果电源系统故障或跳开关 10WT1 拔起，则将直接影响到机长侧电子飞行仪表 EFIS (Electronic Flight Instrument System) 及 ECAM 显示功能。

3) 故障监控 Agent 为系统数据采集集中器 SDAC (System Data Acquisition Concentrator) 与飞行警告计算机 FWC (Flight Warning Computer) 故障处理功能抽象，其包含故障检测和警告生成两部分，故障检测首先根据故障信息检测是否存在故障，若存在故障，则对故障进行分类，然后依据故障点匹配知识库产生故障效应信息。效应信息包括琥珀色警告、红色警告及作动信息等。若未检测到故障信息则直接将检测结果向下传递。

4) 逻辑决策 Agent 负责融合故障信息、电源信息、事件信息及其他数据信息，通过系统逻辑算法决策并产生显示控制信息，控制 EFIS 和 ECAM 的显示模式或状态，如正常显示状态或故障状态下的重新配置等。

5) 显示管理 Agent 为 DMC 功能的抽象，负责对需要显示的信息进行管理和协调，依据知识库数据标准对需要显示的数据进行判断，并对图像信息赋予不同属性，如颜色、坐标、大小和动作等，其中动作包含平移、旋转、闪烁等，处理好的图像信息直接驱动外部设备进行显示。

6) 接口终端 Agent 人机交互模块，包括显示终端和操作终端。显示终端包括机长及副驾驶 EFIS 与 ECAM 显示。操作终端即控制终端，如 ECAM 控制面板，操作动作产生的信息会反馈到系统数据接口再次进行系统处理。

2.2 系统结构模型

2.2.1 系统结构

面对各机载系统传送的各种类型的信息，如离散量或数字信息等，系统需要针对不同的信息进行不同的功能处理。模块化处理不仅能减少系统内部模块的耦合度而且能够提高系统的运作效率，因此系统结构将采用层次式模块设计，分管理层、决策层和执行层，系统结构如图 2 所示。

管理层包含数据接口 Agent，主要负责与其他机载系统的交互信息管理；决策层包含电源管理 Agent、故障监控 Agent 与逻辑决策 Agent，决策层通过电源管理、故障监控和逻辑决策的有效协作对系统行为作出实时决策；执行层包含显示管理

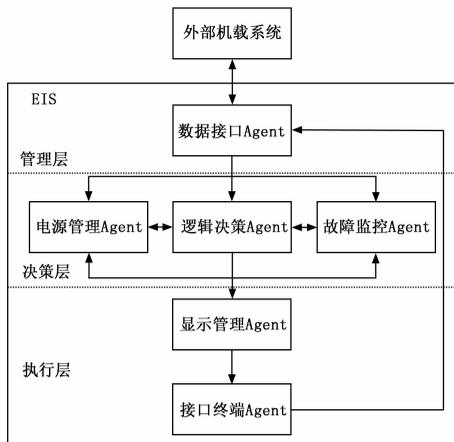


图 2 基于多 Agent 的 EIS 系统结构图

Agent 和各接口终端 Agent，主要执行系统后阶段的显示控制和终端显示，以及其他终端的输出功能。

2.2.2 Agent 结构

鉴于 EIS 系统对信号的处理并非简单的反应型输入输出处理，而是信号进入系统内部经过不同的计算机模块进行不同的逻辑处理再执行输出的过程。因此，本文将采用混合型 Agent 建立系统功能对象模型，将其内部分为自主感知 Ms_ID、自主推理 Re_ID、自主决策 De_ID 和输出控制 Oc_ID 四部分，结构如图 3 所示，不同的 Agent 模块根据功能需求依赖不同的决策算法和知识库资源。

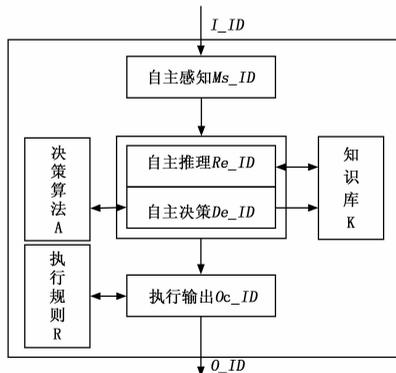


图 3 Agent 功能结构图

自主感知无论作为数据接口 Agent 或其他 Agent 对象的感知模块，其都直接获取已处理或未经处理的系统数据、故障等信息，对各类信息规划传递并实现 Agent 交互功能。

自主推理和自主决策可看作为思考模块，自主推理主要在故障发生时根据故障点匹配故障效应或者在显示处理过程中对部分参数以给定阈值标准作以比较赋予不同显示属性。而自主决策负责行为决策，主要根据决策算法融合系统电源、故障和其他事件信息控制行为规划和显示效应，是功能对象的核心。

执行输出主要对行为决策结果执行输出或依据给定执行规则对决策结果执行终端仪表显示。

2.3 行为模型描述

复杂系统的行为模型分解为组件行为模型和元行为模型^[9]。基于多 Agent 的 EIS 系统组件行为表现为以功能单元为对象的 Agent 行为，而元行为则为 Agent 内部的感知行为、思

考行为及输出行为。

2.3.1 组件行为描述

定义 1: 基于 Agent 的功能对象行为模型为七元组 $\langle At_ID, Ac_ID, A, K, R, I_ID, O_ID \rangle$, 令其表示为 B_ID , 其中 ID 代表 Agent 编号且各元素均为有限集。 At_ID 表现为 Agent 的元行为集合, 包含自主感知, 自主推理, 自主决策和执行输出, Ac_ID 为行为约束, 当发生电源故障、航线可更换组件 LRU (Line Replaceable Unit) 故障或进行的拆装操作会影响部分功能对象的行为执行。 A 为决策算法集合, 主要根据不同的功能对象选择不同的算法进行行为决策, 算法主要包括数据规划算法, 逻辑算法和故障诊断算法等。 K 为执行推理过程所依赖的知识库资源, 主要包含故障效应集、故障点集、参数标准集和 LRU 状态集等。而 R 为行为决策完成之后的输出执行规则, 根据它系统才能将决策结果输出或显示在系统终端上面。当不存在行为约束情况下基于 Agent 的功能对象行为可表示为:

$$B_ID; I_ID \times At_ID \times K \times A \times R = O_ID;$$

以逻辑决策 Agent 为例对其行为过程进行描述。首先, 逻辑决策 Agent M_s_D 感知的信息源有 3 部分, 第一部分为数据接口直接传送的数据及操作事件信息, 第二部分为电源模块传递的供电状态信息, 第三部分为系统检测到的故障信息以及故障效应信息。获取到所有的信息之后主要通过自主决策 De_D 中的逻辑算法对系统的控制行为及反应行为进行决策, 包括仪表显示的控制以及终端接口的响应, 其结果会直接影响到系统的显示输出。最后, 对行为决策结果, 经过执行输出 Oe_D 一部分通过既定的执行规则直接驱动外部操作终端做出反应, 例如音响警告及 master warn 灯的控制等, 另一部分主要是仪表的显示数据及控制信息等, 输出至显示处理 Agent 进行交互。

其他功能对象均采用同样的行为过程, 即感知、思考再输出, 不同的是为了实现不同的功能, 不同的对象所采用的思考方式不同, 数据接口与电源管理均采用单独的自主决策分别进行信息分类、规划和系统电源检测。故障监控和显示管理同时依赖自主推理和决策分别进行故障检测、效应匹配和显示信息管理。而接口终端则是简单的反应型 Agent, 输入信息结合执行规则直接进行终端效应输出。

2.3.2 系统行为描述

基于多 Agent 的 EIS 系统行为体现为各功能对象之间协作交互共同完成实体系统的数据处理、故障警告、逻辑处理和仪表显示功能。其中也包括在内部故障模式下系统显示的重新配置行为, 如上 ECAM 显示组件发生故障, 则系统自动将上 ECAM 的内容显示输出到下 ECAM 上。

定义 2: 基于多 Agent 的 EIS 系统行为模型 B 为三元组 $\langle B_ID, I, O \rangle$, 其中 B_ID 表示每个功能对象 Agent 的行为模型, I 表示系统采集到的各机载系统的数据及操作信息, O 表示经过系统各功能处理完成之后的输出, 可表现为与其他机载系统的交互信息, 也可表现为系统仪表终端的显示输出。则系统的行为过程可表示为:

$$B: I \times B_A \times B_B \times B_C \times B_D \times B_E \times B_F = O;$$

图 4 以流程图形式给出了系统的工作行为过程。数据接口 Agent 接收 4 种数据, 性能参数、操作信息、机载系统状态信息和故障信息。经过数据决策规划, 提取出电源系统状态和故

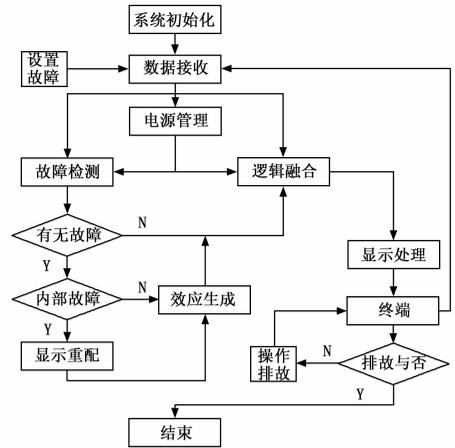


图 4 系统工作流程图

障信息分别送往电源管理 Agent 和故障监控 Agent, 其余信息直接送至逻辑决策 Agent, 电源管理通过自主决策解析出系统模块供电情况将供电状态送至逻辑决策 Agent, 故障监控 Agent 解析故障信息, 并区分内部故障和外部故障, 通过故障点匹配知识库故障效应, 将故障点与故障效应一同发往逻辑决策 Agent, 至此逻辑决策根据所有必备信息包括数据, 供电状态、操作事件、故障状态等, 根据系统逻辑算法融合所有信息得出控制命令, 改变系统状态, 部分模块状态值交互至电源管理和故障监控 Agent, 同时也将数据, 效应、备忘等信息传送至显示管理 Agent 进行显示决策, 如仪表显示终端选择或者图像显示属性推理等, 接口终端仪表则根据图像信息及属性直接执行显示。

3 实例验证

以 A320 上 ECAM 显示为例, 上 ECAM 显示内容主要有发动机主要参数、燃油、襟缝翼位置、警告和备忘信息等。

发动机参数和燃油对应的是性能参数, 襟缝翼和备忘信息对应的是 LRU 状态信息, 而警告对应的是故障信息。

设置左发动机 N1 转速超限故障, EIS 正常工作。相比于飞机系统正常状态, 此时故障监控 Agent 检测到故障“ENG 1 N1 OVER LIMIT”发生, 通过匹配故障点产生故障效应为“ENG 1 N1 OVER LIMIT”和作动信息“—THR LEVER 1, BELOW LIMIT”, 另外, 显示管理 Agent 对数据进行判断检测到 N1 数值 (超限后为 105) 大于正常标准值 94, 因此改变其颜色属性及指针颜色属性均为红色。

利用自主研发的 A320 飞机维修训练器为外部数据来源, 以 Visual C++ 为程序实现平台, 通过模型及功能仿真验证, 在正常及故障情况下上 ECAM 显示如图 5 中 a 和 b 所示。

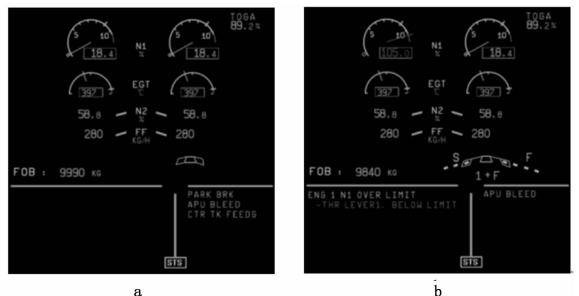


图 5 ECAM 正常与故障状态显示

4 结语

将 Agent 模型应用到 EIS 系统建模中去, 抽象分类系统功能对象, 以混合型 Agent 的自主行为及协作行为去实现每个对象及系统的行为过程, 采用分层式模块化系统结构设计不仅能减少系统复杂度, 而且能提高系统运行效率, 可以有效地对系统功能进行建模。

参考文献:

[1] 王 鹤, 邱云飞. 基于 VAPS 的虚拟航空仪表显示系统 [J]. 计算机系统应用, 2011, 20 (11): 27-30.
 [2] 夏 炜, 孙晓敏, 邵文清. 基于 VAPS 的电子飞行仪表系统显示设计 [J]. 航空电子技术, 2009, 40 (3): 15-18.
 [3] 文圣丰. 飞行显示器实时显示设计与实现 [J]. 现代电子技术,

2013, 36 (14): 35-37.

[4] 吴 勇, 于 涛, 张建东, 等. 基于 GL Studio 的飞机显示仿真系统的设计与实现 [J]. 测控技术, 2015, 34 (7): 140-143.
 [5] 杨昕欣, 张晓林, 徐广毅. 嵌入式电子飞行仪表系统软件设计 [J]. 航空学报, 2005, 26 (1): 74-78.
 [6] 李耀军, 刘瑞华. 基于单片机的电子飞行仪表设计与实现 [A]. 第六届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集 [C]. 2012: 508-511.
 [7] 丁士拥, 常天庆, 牛春平, 张建伟. 基于 Agent 的建模技术研究 [J]. 计算机工程与设计, 2007, 28 (8): 1747-1749, 1774.
 [8] 谢储晖. 面向主体的系统开发方法 [J]. 计算机与现代化, 2003, (12): 13-16.
 [9] 廖守亿, 戴金海. 形式化研究基于 Agent 的行为建模及应用 [J]. 计算机仿真, 2006, 23 (4): 54-59, 73.

(上接第 166 页)

息。综合分析, 有理由说明 EMD-WVD 组合模型在实测信号上的应用是优于平滑伪 WVD 分布的, 能够较为真实的反应原信号所包含的复杂频率信息。

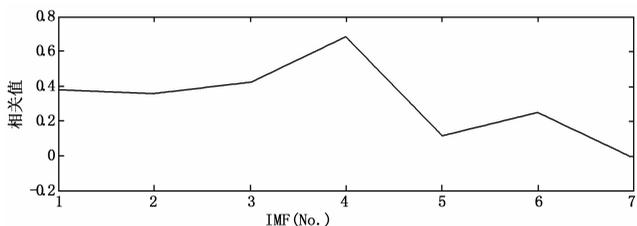


图 9 实测信号各 IMF 分量与原信号的相关性

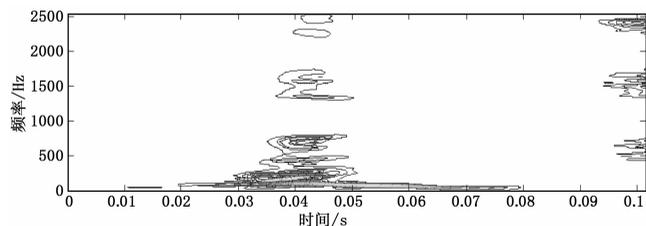


图 10 实测信号 EMD-WVD 分布

5 结论

WVD 分布具有较高的时频分辨率, 能够分析复杂信号的时频特性, 由于其双线性分布特性对于多分量信号而言将产生交叉项, 采用平滑伪方法可以一定程度上降低交叉项的影响, 但对简单信号的调幅特性反应失真, 对实际工程信号某些能量较弱时段的时频分布更难以体现。经验模态分解 (EMD) 方法能将复杂工程信号分解成准单分量信号, 可以借助相关系数法将分解过程产生的伪分量信号剔除, 保证分解信号的有效性。通过 EMD 和 WVD 的结合, 将分解后的准单分量信号进行 WVD 变换, 进一步做平滑伪处理, 从而获得复杂工程信号的时频分布特征。EMD~WVD 的组合模型在仿真信号上应用效果良好, 能够检测信号自身的时频特性, 说明其理论基础的正确性, 进一步将其应用在遥测振动信号上, 同平滑伪 WVD 抑制交叉项方法进行了比较, 结果表明该组合模型更加有效, 能够反映复杂工程信号的时频分布特性, 说明了其工程应用的可行性, 研

究结果对飞行器飞行试验结构和环境分析具有指导意义。

参考文献:

[1] Huang N E, Shen Z, Long S, et al. The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [Z]. 1998.
 [2] Huang N E, Shen Z, Long S. A new view of nonlinear water waves; The Hilbert spectrum [J]. Annu. Rev. Fluid Mech, 1999, 31 (1): 417-457.
 [3] Rilling G, Flandrin P, Gonc P, et al. On empirical mode decomposition and its algorithms [A]. IEEE-EURASIP Work shop on Nonlinear Signal and Image Processing, NSIP-03 [C]. 2003, 1-5.
 [4] Huang N E, Wu M, Long S, et al. A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis [J]. Proc. R. Soc. Lond. A, September, 2003, 459 (2037): 2317-2345.
 [5] 张贤达, 保 铮. 非平稳信号分析与处理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
 [6] 钟佑明. 希尔伯特-黄变换局瞬信号分析理论的研究 [M]. 博士学位论文 2002.
 [7] 李振兴, 孟庆海. 时频分析技术及其工程应用 [M]. 大连: 大连海事大学出版社, 2011.
 [8] 黄大吉, 赵进平, 苏纪兰. 希尔伯特-黄变换的端点拖延 [J]. 海洋学报, 2003, 25 (1): 1-11.
 [9] 李天云, 赵 妍, 季小慧, 李楠. HHT 方法在电力系统故障信号分析中的应用 [J]. 电工技术学报, 2005 (6): 87-91.
 [10] 沈国际, 陶利民, 陈仲生. 多频信号经验模态分解的理论研究及应用 [J]. 振动工程学报, 2005, 18 (1): 994.
 [11] 盖 强, 张海勇, 徐晓刚. Hilbert-Huang 变换的自适应频率多分辨分析研究 [J]. 电子学报, 2005 (3): 563-566.
 [12] 陈军圣, 于德介, 杨 宇. 希尔伯特-黄变换端点效应问题的探讨 [J]. 振动与冲击, 2005, 24 (6): 40-42.
 [13] 赵 玲, 刘小峰, 秦树人等. 消除经验模态分解中混叠现象的改进掩膜信号法 [J]. 振动与冲击, 2010, 29 (9): 13-17.
 [14] 邹红星, 戴琼海, 李衍达等. 不含交叉项且具有 WVD 聚集性的时频分布之不存在性 [J]. 中国科学, 2001, 3 (4).
 [15] 秦品乐, 林 焰, 陈 明. 基于小波去噪和 EMD 的船舶液位信号特性分析 [J]. 计算机工程, 2008, 34 (18): 13-16.
 [16] 蔡艳平, 李艾华, 李仁兵等. 基于经验模态分解的 WVD 交叉项抑制法 [J]. 计算机工程, 2011, 37 (7): 271-273.