

面向机载软件适航审查软件计划阶段的证据模型

袁巍¹ 吴际¹ 刘超¹ 杨海燕¹
(北京航空航天大学计算机学院 北京 100191)¹

摘要 适航认证对机载软件至关重要, 178C 标准是重要的适航认证安全标准。Order8110.49 指南提出了介入审查的适航认证方法, 但是目前还未有对介入审查中软件计划阶段的 178C 目标符合性证据的研究。本文基于软件计划阶段需要审查的目标和 DO-178C 标准中针对目标的特征描述, 提出了三种模型, 分别是: 标准证据模型、项目制品模型、项目相关证据模型, 并通过项目相关证据模型向项目证据数据模型转换生成证据信息检查单, 确定了证据信息的来源。建立证据模型的审查方法为软件计划阶段的审查提供了证据收集的指导, 减少证据的收集过程对审定方审定人员的依赖, 提高了审查效率。并通过一个机载飞行显示器软件的案例说明了本文提出的证据模型的可用性与有效性。

关键词 机载软件, 适航审查, 证据模型, DO-178C, Order8110.49

中图法分类号 TP311 文献标识码 A DOI

An evidence model oriented to airborne software airworthiness review of software planning stage

YUAN Wei¹ WU Ji¹ LIU Chao¹ YANG Haiyan¹

(School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100084, China)¹

Abstract: Airworthiness certification is essential for airborne software. The 178C standard is an important safety certification standard for airworthiness. Order 8110.49 the guideline sets out the method of airworthiness certification, but there is no research on the 178C target compliance evidence of the software planning phase involved in the review. Based on the objectives of the software planning phase and the feature description of the DO-178C standard, three models are proposed: standard evidence model, project-artifact model and project-related evidence model, And through the project-related evidence model to the project-related evidence data model conversion generated evidence information checklist to determine the source of the evidence information. The review method for establishing the evidence model provides guidance for the collection of evidence for the review of the software planning phase, reducing the reliance on the auditor's review process and improving the efficiency of the review. And the availability and validity of the evidence model proposed in this paper is illustrated by an Airborne-Flight-Display software.

Keywords Airborne software, Airworthiness review, Evidence model, DO-178C, Order8110.49

1 引言

机载软件是安全关键软件 (Safety Critical Software), 许多国家都规定安全关键机载设备的软件系统或与飞机交联的软件系统都必须进行认证, 否则不得使用。

安全认证通过提取和列举一系列的证据来证明系统满足相关的安全性目标或要求, 进而证明系统达到了可以让人接受的安全程度^[1]。目前, 应用最广泛的是美国航空无线电技术委员会 (RTCA) 提出的航空工业的软件标准《机载系统

到稿日期: 返修日期:

*项目资助: 本文受民用飞机专项科研项目 (MJ-S-2013-10) 资助

袁巍 (1991-), 男, 硕士, 主要研究领域为软件安全性与可靠性, Email: yuan_wei@buaa.edu.cn; 吴际 (1974-), 男, 博士, 副教授, 主要研究领域为软件安全性与可靠性等; 刘超 (1958-), 男, 博士, 教授, 主要研究领域为软件测试等; 杨海燕 (1974-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究领域为软件工程等。

和设备合格审定中的软件考虑》RTCA DO-178B^[2]。但是,随着当前软件代码开发新技术的不断出现,软件开发需要新的验证和认证方法,因此工业界和学术界联合建立了一套新的认证体系,并被美国联邦航空管理局认可,即 DO-178C^[3]。DO-178C 针对不同安全等级软件分别提出了一系列目标。机载软件审查人员需要依据软件生命周期过程中产生的各种数据和信息,通过一定的论证过程和证据说明其符合 DO-178C 中提出的目标。除此之外,郑军等人^[4]指出,DO-178C 中提出了一系列新技术,包括提出了基于模型开发的技术手段,面向对象以及相关技术等内容。DO-178C 对软件开发生命周期中的所有活动以及活动达到的目标都有相关的规定。

为监控机载软件生命周期过程,确保其符合 DO-178C 相关要求,FAA 在 Order 8110.49——《机载软件批准指南》^[5]中提出 178C 过程目标符合性方法,并引入了介入审查(SOI)概念,在第三章“Software Review Process”中对 SOI 审查进行了明确的定义。SOI 审查分为 4 个审查阶段,分别为软件计划阶段审查(SOI#1)、软件开发阶段审查(SOI#2)、软件验证阶段审查(SOI#3)和软件最终阶段审查(SOI#4)。每个阶段分配一定的 178C 目标,通过收集证据论证是否符合所分配的 178C 目标要求,并且只有上一个阶段审查的目标均符合才能进入下一阶段的审查。

软件计划阶段审查是整个评审过程的首个审查过程,软件计划的优良直接关系到软件开发过程和软件测试过程进度和效率。安全证据(Safety Evidence)是指为安全目标论证提供支持的数据、信息和制品^[6]。审查人员从软件生命周期数据中抽取证据以论证符合 178C 安全目标,但是在适航审查过程中存在着 178C 目标和相关描述比较抽象,实际项目中证据信息不明确,证据的收集依赖审查人员对安全标准的主观理解,降低了收集到的证据的有效性和充分性,并可能产生冗余证据。

因此,本研究的目标是:依据安全标准,分析软件计划阶段的目标,进行的活动和产生的软件生命周期数据,构建目标到软件项目制品的证据模型,建立证据模型到证据数据模型的转换获得证据信息检查单,确定证据信息的来源,减少证据的收集过程对审查人员的依赖。

2 相关研究

FAA Order 8110.49 中引入介入审查的概念,定义了软件计划阶段、软件开发阶段、软件验证阶段和软件最终审定阶段四个阶段的审查过程来论证 178C 目标的符合性。崔利杰、任博^[7]等分析了 A 级软件的软件计划阶段审查过程,指出计划过程建立了各种软件计划、标准、流程、活动、方法,以及开发、检验、控制、保证所需要的工具。在制定软件计划阶段审查要点上提出了内容完整性——审查要点与 178C 保持一致,前后一致性——不仅是计划与标准的一致性,也是计划和标准与系统安全性分析结果、实施过程输出数据的一致性,定义明确性和考虑 178C 中包含的特殊考虑。朱宇蒙等^[8]指出软件计划阶段评审(SOI#1)是几次适航评审的基础,SOI#1 评审判定软件计划、标准、符合性矩阵是否满足符 178B, SOI#2/3/4 评审判定软件研制过程的实施是否遵循软件计划、标准、符合性矩阵。并且指出民用飞机的主制造商往往对供应商进行若干次工程审查,主要包括:计划阶段评审(PPR)、初步设计评审(PDR)、关键设计评审(CDR)、测试就绪评审(TRR)和符合性评审(CR)。指出 PPR 评审在 SOI#1 之前进行并给出 PPR 工程评审与计划阶段评审的关系。

统一建模语言(Unified Modeling Language)提供给设计人员使用图形化描述多种模型的方法,包括类模型、用例模型和活动图模型等。其中类模型提供了描述数据静态结构的方法,现有的 UML 建模工具包括 IBM Rational Architect、StarUML 等。这类工具支持可视化的 UML 模型图绘制,以及各种不同视图间的分组管理等。这类工具侧重于对模型的描述,其不足在于缺少对模

型实例对象 (objects) 的处理功能。模型化开发框架提供程序员通过图形建模方法自动生成代码的功能, 一个典型例子是 Eclipse Modeling Framework^[9] (EMF)。EMF 支持用户通过图形界面建立 UML 类模型, 并自动生成对应的 Java 类源码文件的功能, 在一定程度上支持模型化编程。

一般的安全性证据可以分为基于过程的证据和基于产品的证据, Nair、Sabetzadeh、briand^[10]对安全性证据做出了完整的归纳, 指出基于过程的证据多数是根据软件生命周期活动收集的过程活动信息。基于软件项目产品的证据主要是根据各个软件活动产生的制品 (artifact) 作为证据信息的载体。

Panesar-Walawege 提出了基于模型的证据收集方法, 通过对安全标准抽取标准证据模型 (Standard Evidence Model, SEM) 来指导评估人员为进行证据收集^[11]。SEM 包含了安全标准的安全证据概念类型和结构, 这些概念是通过分析安全标准获取的, 并不依赖于具体的项目数据制品的领域概念, 具有较好的可复用性^[12]。其不足是 SEM 并不包含某些在特定项目的原始数据中出现的具体属性和结构, 因此实用性不高。项目相关证据模型 (Project-Specific Evidence Model, PSEM) 是对 SEM 在特定项目背景下的具体化, 它即描述了安全标准所定义的证据类型和关系, 也包含了原始数据的属性、类型和结构。PSEM 一方面对 SEM 进行细化, 一方面依赖项目制品模型 (Project Artifact Model, PAM), 后者定义了过程原始制品的类型和数据结构。

3 机载软件适航计划阶段审查过程

按照 DO-178C 的目标和 8110.49 规定, 软件适航的审查流程分为以下 4 个阶段:

1) 软件计划阶段审查应在初始软件计划过程完成时 (也就是在完成并评审了大部分的计划和标准时) 发起。这一审查一般被称为介入阶段 (SOI#1)。

2) 软件开发阶段审查通常应在至少 50% 以上软件开发数据 (也就是需求、设计和代码) 完

成并评审后发起。这一审查一般称为 SOI#2。

3) 软件验证阶段审查通常应在至少 50% 以上的软件验证和测试数据完成并评审后发起。这一审查一般称为 SOI#3。

4) 软件最终审定阶段审查应该在确定了软件最终版本、完成了软件验证、进行了软件符合性审查、并且软件应在准备好后, 正式提出系统审查申请后发起。这一审查一般称为 SOI#4。

软件计划阶段是软件生命周期中的初始阶段, 主要是规划并定义用于开发软件生命周期数据的软件计划、标准、程序、活动、方法和工具。计划阶段评审主要是通过评审软件计划阶段的数据和系统安全性评估相关结论, 来评估计划阶段过程对 DO-178C 文件附录表 A-1、表 A-8(1-4)、表 A-9(1) 和表 A-10(1-2) 目标的符合性。SOI#1 评审的软件生命周期数据及对应的要求见表 1。

表 1 SOI#1 评审软件生命周期数据

软件生命周期数据	DO-178C 章节
软件合格审定计划 (PSAC)	11.1
软件开发计划 (SDP)	11.2
软件验证计划 (SVP)	11.3
软件验证结果 (SVR)	4.6、11.14
软件构型管理计划 (SCMP)	11.4
软件质量保证计划 (SQAP)	11.5
软件需求、设计、编码标准	11.6、11.7、11.8

软件计划阶段评审是一个迭代过程, 一般采用远程评审和现场评审相结合的评审方式。在整个评审阶段, 相关软件生命周期数据评审可能会持续进行几轮。当评审方认可并批准相关软件生命周期数据后, SOI#1 评审可以退出。

4 证据模型

在模型驱动开发中, 为了提高模型的可复用性, 人们提出了平台无关模型 (Platform-Independent Model, PIM) 和平台相关模型 (Platform Specific Model, PSM) 的相关概念^[13]。其中 PIM 是独立于特定平台特性而用于描述软件需求的业务逻辑的模型, PSM 是 PIM 在特定平

台上的具体化。

基于这一模型分层的思想，根据模型与标准和具体项目的相关程度的不同，我们以 A 级软件计划阶段审查目标为前提条件，定义了三类与证据收集相关的模型，分别是：

1) 标准证据模型：标准证据模型定义了论证安全标准中的安全目标所需的证据类型和结构，提取 SEM 的过程不依赖于特定项目的原始数据特征；

2) 项目制品模型：该模型描述和定义了特定项目软件过程中所产生的原始制品的类型和数据结构；

3) 项目相关证据模型：项目相关证据模型是对标准证据模型在特定项目制品上的具体化，该模型一方面定义了论证安全标准所需的证据信息类型和关系，另一方面包含了原始制品所特有的数据类型和结构。

在建立项目相关证据模型的基础上，给出一种项目相关证据模型向项目证据数据模型转换方法，并生成证据信息检查单。

4.1 标准证据模型

4.1.1 软件生命周期过程证据模型

如第 3 节所述，在软件计划阶段审查 DO-178C 文件附录表 A-1、表 A-8(1-4)、表 A-9(1) 和表 A-10(1-2) 目标的符合性。

A-10 中的 1、2 目标的表述如下：

1、Communication and understanding between the applicant and the certification authority is established.

2、The means of compliance is proposed and agreement with the Plan for Software Aspects of Certification is obtained.

目标 1 是建立申请者与审定方的联络，目标 2 是提出符合性方法和制定软件合格审定计划，两目标与其他目标的联系较少，所以与其他目标分离单独列出，在标准证据模型中加入相关证据。

A-1 中目标 1、2、3 是检查软件生命周期过程的符合性目标，表述如下：

1、The activities of the software life cycle processes are defined.

2、The software life cycle(s), including the inter relationships between the processes, their sequencing, feedback mechanisms, and transition criteria, is defined.

3、Software life cycle environment is selected and defined.

建立的软件生命周期过程证据模型如下：

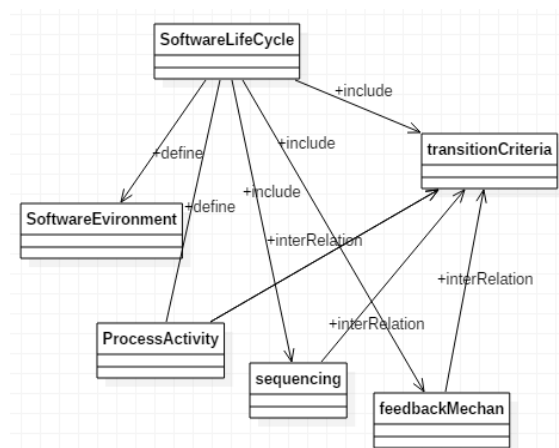


图 1 软件生命周期过程证据模型

软件生命周期中定义了软件生命周期环境，过程活动，包括软件生命周期序列，反馈机制和迁移准则。过程活动、软件生命周期序列和反馈机制分别与迁移准则存在内在关系。

4.1.2 软件计划过程证据模型

软件计划阶段关于计划和标准的目标有 A-1 中的第 5、6、7 个目标，A-9 第 1 个目标，其目标描述为：

1、Software development standards are defined.

2、Software plans comply with this document.

3、Additional considerations are addressed.

4、Development and revision of software plans are coordinated.

5、Assurance is obtained that software plans and standards are developed and reviewed

for compliance with this document and for consistency.

建立的证据模型如图 2 所示：

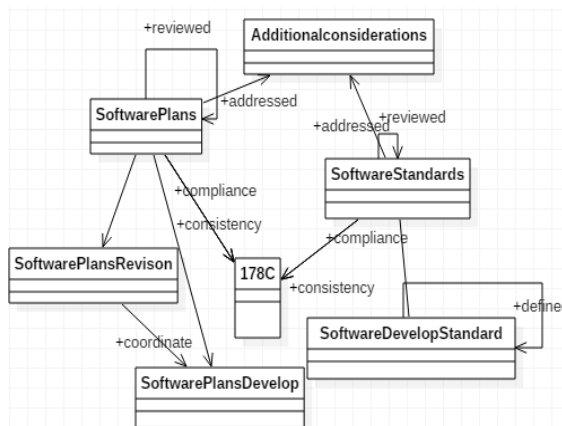


图 2 软件计划过程证据模型

软件计划和软件标准经过评审需符合 178C 标准并与 178C 保持一致性，软件计划的更改和软件计划的开发需保持协同关系，软件计划中需定义软件开发标准，软件计划和软件标准需要解决额外考虑的问题。

4.1.3 软件配置管理过程证据模型

检查软件配置管理过程的目标有 A-8 的第 1、2、3、4 个目标，其目标描述为：

- 1、Configuration items are identified.
- 2、Baselines and traceability are established.
- 3、Problem reporting, change control, change review, and configuration status accounting are established.
- 4、Archive, retrieval, and release are established.

分析以上四个目标，软件配置管理过程的证据模型如图 3 所示：

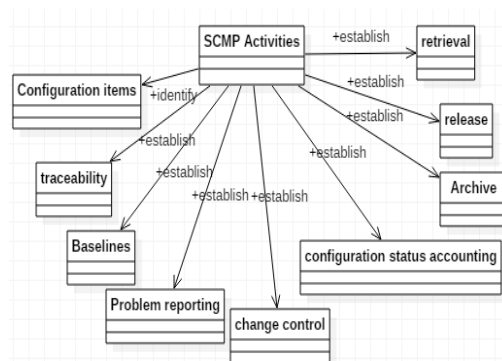


图 3 软件配置管理过程证据模型

软件配置管理过程活动包括识别配置项，建立基线、追踪关系、问题报告、更改控制、配置状态报告、存档、检索和发布信息。

由以上三种证据模型和 A-10 中的 2 个目标的证据组合而成的模型则是软件计划阶段审查的标准证据模型，其结构如图 4 所示：

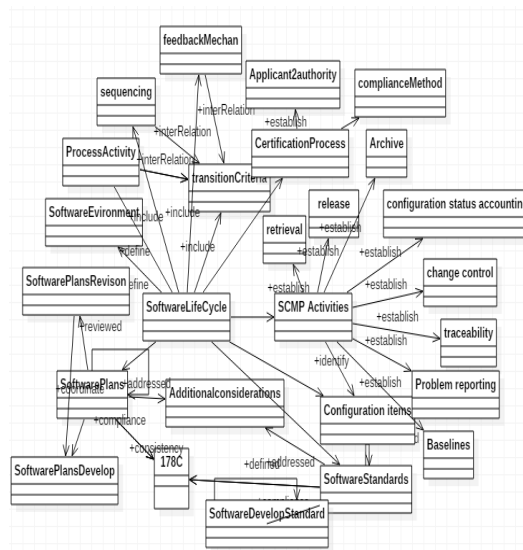


图 4 软件计划阶段审查的标准证据模型

4.2 项目制品模型

项目制品是指在具体的软件项目中产生的需求文档，测试文档，代码等软件生命周期数据。经 3 节分析，计划阶段审查的主要项目制品有：软件合格审定计划(PSAC)、软件开发计划(SDP)、软件验证计划(SVP)、软件验证结果(SVR)、软件配置管理计划(SCMP)、软件质量保证计划(SQAP)、软件需求、设计、编码标准(SRS、SDS、SCS)。根据 178C 第 11 章对以

上项目制品的定义，可以得出以下项目制品模型：

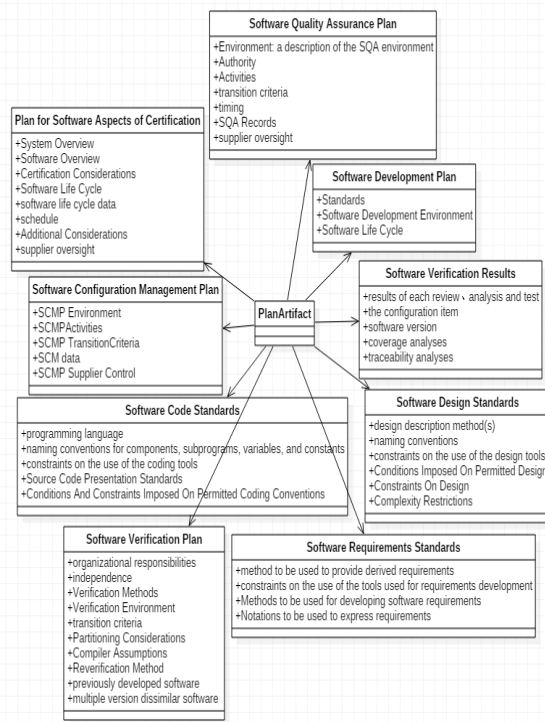


图 5 项目制品模型

PlanArtifact 类代表计划阶段软件制品，它与上述 9 类制品直接关联，每类制品的属性在类的成员属性中表示，如 SQAP (Software Quality Assurance Plan) 中有 7 种属性分别为：软件质量保证环境描述 (Environment: a description of the SQA environment)、授权当局 (Authority)、软件质量保证活动 (Activities)、迁移准则 (transition)、时间选择 (timing)、软件质量保证记录 (SQA Records)、供应商监管 (supplier oversight)。每一种属性根据项目制品性质可以继续展开为一个类。由于篇幅原因，在此不再展开论述。

4.3 项目相关证据模型

项目相关证据模型是建立在标准证据模型上根据项目制品模型对标准证据模型的细化，以下为软件计划阶段的 3 类项目相关证据模型。通过 4.2 节图 5 项目制品模型对 4.1 节图 1 软件生命周期证据模型进行细化，可以获得如图 6 所示的软件生命周期过程项目证据模型。在

SoftwareLifeCycle 类中添加了两个引用类型：文档 PSAC 中的 Software Life Cycle 属性和 SDP 文档中的 Software Life Cycle 属性。在 transitionCriteria 类中增加了引用类型 SQAP 文档中的 transitionCriteria 属性和 SVP 文档中的 transitionCriteria 属性。其他类的增加属性类似如图 6 所示。

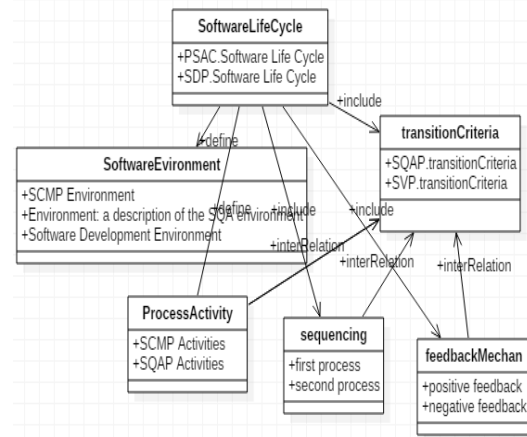


图 6 软件生命周期过程项目相关证据模型

限于篇幅原因，图 7，图 8 直接分别给出了软件计划过程项目相关证据模型和软件配置管理项目相关证据模型。通过对这三个项目相关证据模型的分析可合成最终的软件计划阶段项目证据模型，如图 9 所示。

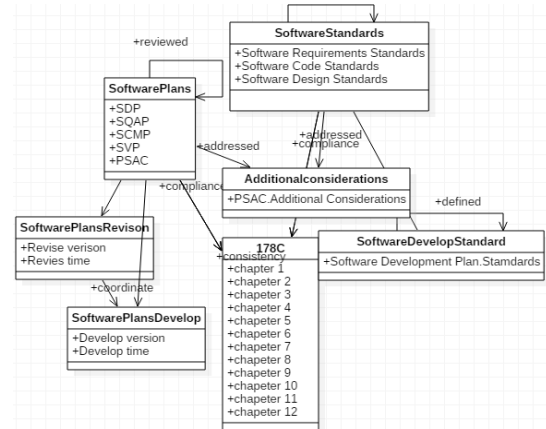


图 7 软件计划过程项目相关证据模型

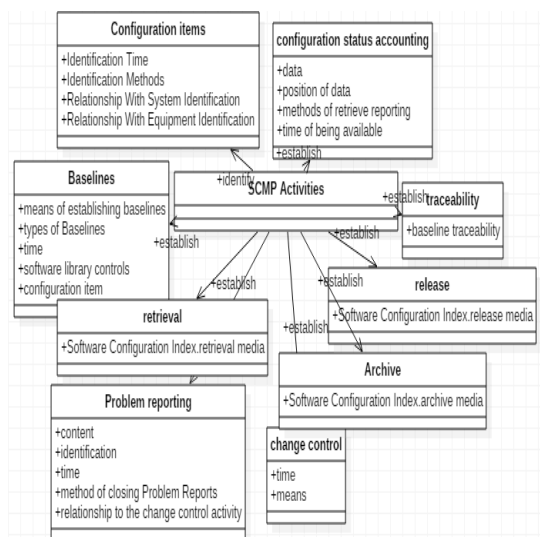


图8 软件配置管理过程项目相关证据模型

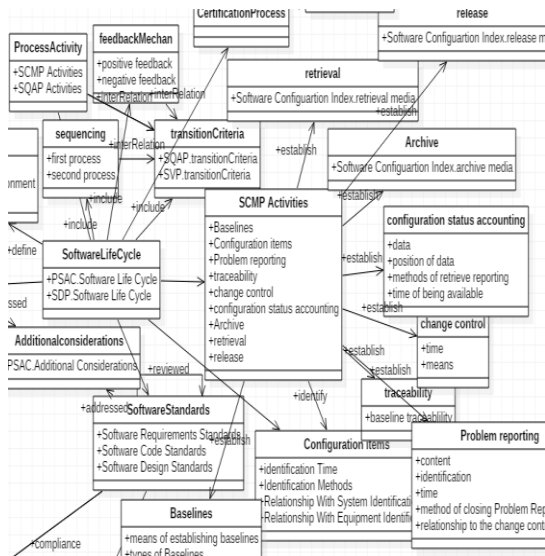


图 9 软件计划阶段项目相关证据模型

4.4 项目相关证据模型向项目证据数据模型的转换

由 4.1 节到 4.3 节的建模方法可以得到软件计划阶段的项目证据模型,但是无法直接通过证据模型获得想要的证据。本节从模型向代码的转换的角度,给出一种项目证据模型的实例化方法,获得证据数据模型,生成证据信息检查单也为下一步对证据的自动化管理和验证提供一种实现途径。

从模型向代码的转换现有的一些非开源的建模工具已支持，但是无法表示模型中元素之间的

相互关联关系，可扩展性低，以下是对证据模型向转证据数据模型转换的过程。如下图 10 所示，starUML 工具生成的模型文件格式为此模型工具特有的 mdj 格式文件，但是查阅 starUml 的相关资料，发现其结构是一种复杂的 JSON 格式的数据。因此可以利用 JAVA 编程语言对 JSON 格式数据的支持，来解析证据模型文件。

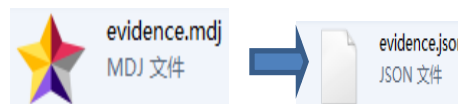


图 10 starUml 模型格式

4.4.1 构建证据树

通过上面的分析，尝试将证据模型之中的关联关系使用一种建立树形结构的方式表示出，图 11 是树节点的结构图，如 `Tree:TreeNode`，左边是命名，右边是 `Tree` 的类型。一个 `Tree` 是由 `Content` 和 `Childlist` 组成，`Content` 代表节点的属性值，`Childlist` 代表节点的子属性集合。

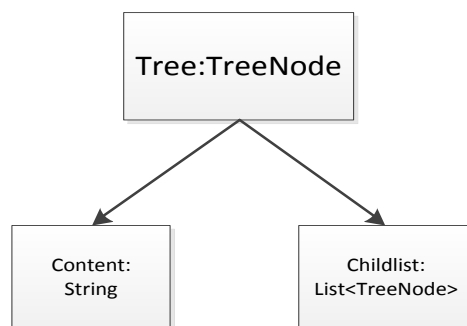


图 11

如图 12 所示是一个建立证据树的流程图, 构建证据树的算法描述如下:

- 1) 新建一棵树，初始化树根节点。
- 2) 读取顶层模型类成员属性。
- 3) 判断类成员属性是否为空，若为空则退出，构建证据树完成，否则进入步骤 4。
- 4) 判断类成员属性是否已经被访问，若被访问则返回步骤 2 中，读取下一个顶层模型类成员属性。否则进入步骤 5。
- 5) 将类成员属性加入树节点中。
- 6) 判断类成员属性是否还有子属性，若没

机载飞行显示器软件提供给审查的软件制品有：PSAC、高层需求、SCI、配置管理计划、(soil) 编码标准、soil 软件开发计划—11.2 软件开发环境、设计标准——6.7 堆栈、软件需求标准——2.5 需求属性、验证计划——8 编译器假设、质量保证计划——2.2QA 职权，根据第 4.1 节的方法建立软件计划阶段的证据标准模型。根据 4.2 节的方法，在建立项目制品模型的过程中首先要刷选出软件计划阶段要审查的制品如表 2 所示，去掉在这一阶段无需审查的高层需求和 SCI 两个制品，整理每个制品子项个数，建立项目制品模型。根据 4.3 节的方法，关联证据标准模型和项目制品模型，建立项目相关证据模型。根据 4.4 节的证据模型向数据模型的转换方法，将模型文件转换生成包含具体的证据信息的证据检查单。根据证据检查单对软件第一阶段的关于 178C 附录表 A-1 (1-7)、表 A-8(1-4)、表 A-9(1) 和表 A-10(1-2) 共计 14 个目标的符合性的评审。在证据检查单上的每一项内容关联着对应的 178C 目标，通过评审者填写项目制品的页码数和制品内容确定是否存在证据，从而判定检查单关联的 178C 目标是否满足，并可确定制品中缺少的证据制品。案例结果表明在该飞行显示器软件项目中通过了 6 个目标、未通过 8 个目标，发现制品中支持目标符合性的证据所缺失的制品项有 45 个，无法明确支持目标的制品有 20 项。根据与由审定方审查人员的同等条件下证据收集和审查结果的比较与分析，证据收集和审查的准确度能够达到同等水平以上。

表 2 某机载飞行显示器软件制品

项目制品名称	制品简称	制品子项数
PSAC	PSAC	42
soil 软件开发计划—11.2 软件开发环境	SVP	78
配置管理计划	SCMP	74
质量保证计划——2.2QA 职权	SQAP	42
验证计划——8 编译器假设	SVP	36

软件需求标准——2.5 需求属性	SRS	18
设计标准——6.7 堆栈	SDS	44
(soil) 编码标准	SCS	27

通过以上案例说明，本文提出的软件适航审查第一阶段的证据模型能够成功的应用到实际的适航评审工作中，能够确定证据的来源，并能减少对审定方的审定人员的依赖，提高了证据收集的准确度和适航审查的效率。

6 结束语

本文提出了建立面向机载软件适航审查软件计划阶段的证据模型，通过模型化驱动架构的方法建立证据模型，并给出证据模型向证据数据模型的转换生成证据信息检查单，来达到确定 178C 目标的证据来源。本文提出了三种模型，分别为标准证据模型、项目制品模型和项目相关证据模型，覆盖了软件计划阶段审查涉及到的主要目标。证据数据模型为证据信息的可追踪和管理提供了一种途径。在第 5 节中，以真实的工业案例说明利用本文提到的建立证据模型的方式确定证据来源的可行性。接下来的工作重点在于将建立证据模型的方法扩展到适航审查的其他几个阶段和研究证据的自动化管理和验证技术的工作中。

参考文献：

- [1] Marco Bozzano, Adolfo Villaflorida, “Design and Safety Assessment of Critical Systems”, 2011 by Taylor and Francis Group, LLC.
- [2] Johnson L.A. DO-178B, Software considerations in airborne systems and equipment certification[J]. Crosstalk, October, 1998.
- [3] DO R.178C[J]. Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, 2011.
- [4] ZHENG Jun, HUANG Zhi-qiu, XU Bing-feng. Current progress and prospects of airworthiness certification standards[J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33. (1): 204-208. DOI: 10.3969/j.issn. 1000-7024.2012.01.039.
- [5] FAA Order 8110.49: Software approval guidelines[S]. FAA, 2003.
- [6] R. Weaver, G. Despotou, T. Kelly, and J.

- McDermid. Combining Software Evidence: Arguments and Assurance[A]. England: SIGSOFT Software, 2004: 152-160
- [7] CUI Li-Jie, REN Bo, LI Ze. Airborne Software Airworthiness Review Based on DO-178B/C [J]. Journal Of Command And Control, 2016, 2(1): 84-88. DOI: 10.3969/j.issn. 2096-0204.2016.01.0084.
- [8] ZHU Yumeng, JIN Ping, SUN Quanyan, ZHANG Xiaochun. Research of airborne software plan phase review [J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(08): 05-08.
- [9] Dave Steinberg, Frank Budinsky, Marcelo Paternostro, Ed Merks. Eclipse Modeling Framework[M]. US: Addison-Wesley Professional, 2008: 62-210.
- [10] Nair, S.; de la Vara, J.L.; Sabetzadeh, M.; Briand, L., "Classification, Structuring, and Assessment of Evidence for Safety -- A Systematic Literature Review," Software Testing, Verification and Validation (ICST), 2013 IEEE Sixth International Conference on, vol., no., pp.94,103, 18-22 March 2013.
- [11] D. Falessi, M. Sabetzadeh, L. Briand, E. Turela, T. Coq, and R. K. Panesar-Walawege. Planning for Safety Evidence Collection: A Tool-Supported Approach Based on Modeling of Standards Compliance Information[A]. IEEE Software[C]. 2011: 849-860.
- [12] Rajwinder K. Panesar-Walawege. Using Model-Driven Engineering to Support the Certification of Safety-Critical Systems[D]. Norway: University of Oslo, 2012
- [13] Thomas Stahl. Model-Driven Software Development: Technology, Engineering, Management[M]. New York: John Wiley & Sons. 2006: 20-50.

作者联系电话: 13051807977

联系邮箱: yuan_wei@buaa.edu.cn