



HZ BOOKS



架构师书库

# 软件架构 理论与实践

李必信 廖力 王璐璐 孔祥龙 周颖 编著

SOFTWARE ARCHITECTURE  
THEORY AND PRACTICE



机械工业出版社  
China Machine Press



架构师书库

SOFTWARE ARCHITECTURE  
THEORY AND PRACTICE

# 软件架构 理论与实践

李必信 廖力 王璐璐 孔祥龙 周颖 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

软件架构理论与实践 / 李必信等编著. —北京: 机械工业出版社, 2019.1  
(架构师书库)

ISBN 978-7-111-62070-9

I. 软… II. 李… III. 软件设计 IV. TP311.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 034211 号

本书全面介绍了软件架构基础理论和最佳实践, 内容涵盖软件架构发展的过去、现在到可能的未来, 以及软件架构的基础理论方法和技术手段、软件架构的设计开发实践和质量保障实践等, 涉及与软件架构相关的几乎所有必要的知识点。

本书可以作为高等院校相关专业高年级本科生和研究生的教材, 也可以作为软件架构研究人员、软件架构师以及其他工程技术人员的工具书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 余 洁

印 刷: 北京市兆成印刷有限责任公司

开 本: 186mm × 240mm 1/16

书 号: ISBN 978-7-111-62070-9

责任校对: 李秋荣

版 次: 2019 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

印 张: 32.25

定 价: 99.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

软件架构 (Software Architecture, SA) 设计是成熟软件开发过程中的一个重要环节, 它不仅是连接用户需求和进一步设计、实现的桥梁, 也是软件开发早期阶段质量保证的关键步骤。无数例子告诉我们, 那些忽视 SA 设计质量的企业最终的教训总是惨痛的。SA 是软件系统的一种整体的高层次结构表示, 是系统的骨架和根基, 决定了软件系统的健壮性和生命周期长短。“根基不稳, 大厦将倾”这句话在软件系统中同样适用。

近几年, 在与大型企业的合作过程中笔者更加感觉到 SA 的重要性, 大量的试验已经证明 SA 不仅与软件产品的质量属性 (如安全性、可靠性、可维护性等) 有关, 还与软件产品的寿命有关。一个设计不够完善的 SA 存在脆弱性问题, 容易招致恶意攻击, 严重时会带来安全风险; 一个设计不够完善的 SA 也有可能存在难以维护和扩展的问题, 导致升级困难, 影响软件产品的寿命, 等等。

如你所知, 在物理世界中, 房屋、桥梁、汽车的架构等都是决定它们质量好坏和生命周期长短的重要因素之一; 同样, 在软件世界中, SA 也是决定软件质量好坏和软件生命周期长短的重要因素之一。好的 SA 会使得软件自身的性能、可靠性、安全性、可维护性等质量指标能够很好地满足用户的需求, 不好的 SA 会导致所有这些指标或部分指标达不到用户要求。可见, “SA 设计非常重要! 那么, 如何在实践中设计和实现一个好的 SA, 如何评价某个 SA 的好与不好, 以及如何控制 SA 的设计和演化过程, 以便获得质量更高的 SA? 这些都是软件利益相关者日常关注的问题。

本书全面介绍了 SA, 从 SA 发展的历史、现在到可能的未来, 从 SA 的基础理论方法到技术手段, 从 SA 的设计开发实践到质量保障实践, 从静态 SA 到动态 SA 再到运行态 SA 等, 涵盖了 SA 涉及的几乎所有必要的知识点。本书包括三篇: 基础理论篇 (上篇) 包含 6 章内容, 详细介绍了 SA 的基础理论方法和技术手段; 工程实践篇 (中篇) 包含 10 章内容, 详细介绍了 SA 的开发实践和质量保障实践; 未来主题篇 (下篇) 包含 7 章内容, 详细介绍了 SA 的新研究主题、新业界关注点以及 SA 未来发展趋势等。

本书的读者对象如下:

- 作为高等学校软件工程、计算机科学技术、网络空间安全等相关学科的入门级教科书, 面向高年级本科生和研究生;

- 作为 SA 研究人员的参考书，本书讨论的 SA 度量、仿真、验证、评估等各种质量保障技术，以及解耦、技术债、演化、重构等各种软件架构主题，为相关研究人员提供了很好的启迪和行动指南；
- 作为软件架构师及其他工程技术人员的工具书，本书针对 SA 进行全方位介绍，涵盖了与 SA 相关的几乎所有知识点，为系统地学习和熟练掌握 SA 提供了所需的各方面知识。

由于本书的定位是软件架构入门级教材，我们将为广大教师和学生提供丰富的教学和学习资源（可从华章网站 [www.hzbook.com](http://www.hzbook.com) 获取），包括课件、思考题解答、案例库、训练题库，以及部分在线的软件架构监控、仿真、度量、验证和重构等原型工具。

参与本书撰写的人员主要是来自东南大学软件工程研究所、计算机科学与工程学院的教师，包括李必信博士、廖力博士、王璐璐博士、周颖博士、孔祥龙博士等，其中李必信博士负责规划全书内容和结构，并参与所有章节的撰写，其他几位老师分别参与部分章节的撰写以及全书的校订和完善工作。软件工程研究所的部分博士后、博士生和硕士生参与了文字校对和画图等工作，他们是李宗花、董瑞志、刘辉辉、王桐、熊壬浩、王丽、宋启威、韩伟娜、李慧丹、谢仁松、杨安奇、杜鹏程、尹强、宋震天、汪小飞、苏晓威、段鹏飞、王家慧、汤立辉、杜成杰、程昕云、张理想、张春光、廖飞龙、许周等。

在本书写作过程中，还得到了来自武汉大学的应时教授和梁鹏教授、大连理工大学的江贺教授、南京大学的郑滔教授、华为公司的吴文胜先生的指导和帮助，在此对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

限于水平，作者对软件架构的理解和语言表达难免存在不当之处，在此敬请读者批评指正。

李必信

教学章节	教学要求	课时
第 1 章 软件架构概述	了解软件架构发展历史	1
第 2 章 软件架构的概念	熟悉软件架构的两种定义	2
第 3 章 软件架构模型	熟悉软件架构的建模原理	1
	熟悉可视化建模方法	2
	熟悉形式化建模方法	2
第 4 章 软件架构的风格与模式	熟悉至少 20 种软件架构风格或模式 了解 50 种左右软件架构风格或模式	3
第 5 章 软件架构描述语言	熟悉 2 ~ 3 种 ADL 了解 5 ~ 10 种 ADL	2
第 6 章 软件架构与敏捷开发	了解软件架构和一些典型敏捷开发方法的关系	2
第 7 章 架构驱动的软件开发	熟悉架构驱动的软件开发过程 了解架构驱动的软件开发过程与其他过程的区别	4
第 8 章 软件架构设计和实现	熟悉多种软件架构设计和实现方法	4
第 9 章 软件架构的演化和维护	熟悉软件架构的演化和维护原理 熟悉几种软件架构演化和维护技术	4
第 10 章 软件架构恢复	熟悉软件架构恢复过程 掌握几种软件架构恢复技术	4
第 11 章 软件架构质量	熟悉多种软件架构质量保障技术	4
第 12 章 软件架构仿真	了解软件架构仿真过程	2
第 13 章 (选讲) 软件架构度量和评估	掌握多种软件架构度量和评估方法	2
第 14 章 (选讲) 软件架构形式化验证	了解软件架构形式化验证方法	2

(续)

教学章节	教学要求	课时
第 15 章 软件架构分析与测试	熟悉多种软件架构分析和测试技术	2
第 16 章 软件架构重构	熟悉软件架构重构原理	2
	掌握多种软件架构重构技术	2
第 17 章 软件架构的腐蚀和对策	熟悉软件架构腐蚀现象	1
	了解各种对策	1
第 18 章 软件架构解耦	掌握多种软件架构解耦技术	2
第 19 章 软件架构技术债	熟悉造成技术债的各种因素	2
	掌握处理技术债的各种技术	2
第 20 章 软件架构坏味道	熟悉 10 种以上软件架构坏味道	2
	掌握架构坏味道的检测方法和处理方法	2
第 21 章 软件架构脆弱性	了解软件架构脆弱性及应对措施	2
第 22 章 软件架构模式识别	掌握一些软件架构模式识别和确认技术	2
第 23 章 结束语	了解软件架构未来发展趋势	1
总课时	第 1 ~ 23 章授课课时	64
	课外项目课时	12

说明:

- 1) 建议课堂教学全部在多媒体机房内完成, 实现“讲 - 练”结合。
- 2) 建议教学分为核心知识技能模块(前 16 章的内容)和技能提高模块(第 17 ~ 23 章的内容), 不同学校可以根据各自的教学要求和计划学时数对教学内容进行取舍。
- 3) 建议本科生的教学内容是第 1 ~ 16 章必修, 第 17 ~ 23 章选修; 研究生的教学内容是第 1 ~ 23 章全部必修。

前言  
教学建议

## 上篇 基础理论篇

### 第 1 章 软件架构概述 ..... 2

#### 1.1 软件架构产生的背景 ..... 2

#### 1.2 软件架构的主要思想和特征 ..... 3

##### 1.2.1 软件架构的主要思想 ..... 3

##### 1.2.2 软件架构的特征 ..... 3

#### 1.3 软件架构的发展阶段 ..... 4

##### 1.3.1 基础研究阶段 (1968—1994) ..... 4

##### 1.3.2 概念体系和核心技术形成阶段 (1991—2000) ..... 6

##### 1.3.3 理论体系完善与发展阶段 (1996 年至今) ..... 7

##### 1.3.4 普及应用阶段 (1999 年至今) ..... 7

#### 1.4 软件架构研究和应用现状 ..... 7

##### 1.4.1 软件架构理论和方法研究 ..... 8

##### 1.4.2 软件架构的应用研究 ..... 11

#### 1.5 本章小结 ..... 13

#### 思考题 ..... 13

#### 参考文献 ..... 14

### 第 2 章 软件架构的概念 ..... 17

#### 2.1 引言 ..... 17

#### 2.2 组成派的主要定义 ..... 18



2.3	决策派的主要定义	19
2.4	其他定义	20
2.5	参考定义框架	20
2.6	本章小结	21
	思考题	22
	参考文献	22

### 第3章 软件架构模型

3.1	引言	23
3.2	软件架构的可视化建模方法	24
3.2.1	基于图形可视化的建模方法	24
3.2.2	基于UML的建模方法	25
3.3	软件架构的形式化建模方法	31
3.3.1	基于形式化规格说明语言的建模方法	32
3.3.2	基于UML的形式化建模方法	36
3.4	其他建模方法	45
3.4.1	文本语言建模方法	45
3.4.2	模型驱动的架构建模方法	47
3.5	软件架构建模方法的发展趋势分析	49
3.5.1	第1层: 文本模型	50
3.5.2	第2层: 图形可视化模型	50
3.5.3	第3层: UML模型	50
3.5.4	第4层: 形式化模型	51
3.5.5	第5层: 未来模型	52
3.6	本章小结	52
	思考题	53
	参考文献	53

### 第4章 软件架构的风格与模式

4.1	软件架构风格的定义	59
4.2	软件架构风格的分类	60
4.3	典型的软件架构风格	60
4.3.1	管道-过滤器风格	60
4.3.2	主程序/子程序风格	62

4.3.3	面向对象风格	64
4.3.4	层次化风格	65
4.3.5	事件驱动风格	67
4.3.6	解释器风格	69
4.3.7	基于规则的系统风格	71
4.3.8	仓库风格	73
4.3.9	黑板系统风格	75
4.3.10	C2 风格	77
4.3.11	客户机 / 服务器风格	79
4.3.12	浏览器 / 服务器风格	83
4.3.13	平台 / 插件风格	85
4.3.14	面向 Agent 风格	87
4.3.15	面向方面架构风格	91
4.3.16	面向服务架构风格	93
4.3.17	正交架构风格	95
4.3.18	异构风格	97
4.3.19	基于层次消息总线的架构风格	99
4.3.20	模型 - 视图 - 控制器风格	101
4.4	软件架构模式	103
4.5	本章小结	103
	思考题	104
	参考文献	104

## 第 5 章 软件架构描述语言 107

5.1	引言	107
5.2	ADL 的核心设计元素	107
5.2.1	组件	108
5.2.2	连接件	108
5.2.3	架构配置	109
5.3	几种典型的 ADL	109
5.3.1	Aesop	109
5.3.2	C2 SADL	110
5.3.3	UniCon	114
5.3.4	Wright	116

5.3.5	XYZ/ADL	117
5.3.6	ACME	118
5.3.7	XBA	118
5.3.8	ABC/ADL	120
5.3.9	MetaH	121
5.3.10	Rapide	121
5.3.11	Darwin	122
5.3.12	xADL 2.0	122
5.4	本章小结	123
	思考题	123
	参考文献	123

## 第6章 软件架构与敏捷开发 ..... 125

6.1	软件开发的发展简史	125
6.2	敏捷开发	127
6.2.1	敏捷开发的基本理念	127
6.2.2	敏捷开发实践	128
6.3	敏捷开发过程中的软件架构设计	130
6.3.1	需求分析	130
6.3.2	初始设计	130
6.3.3	迭代过程	130
6.3.4	敏捷的设计思想	131
6.4	两类常见的敏捷软件架构设计方法	132
6.4.1	敏捷开发初始阶段设计	133
6.4.2	敏捷开发迭代过程中的设计	134
6.5	本章小结	136
	思考题	137
	参考文献	137

## 中篇 工程实践篇

## 第7章 架构驱动的软件开发 ..... 140

7.1	架构驱动的软件开发简介	140
7.2	架构需求获取	140

7.3	架构设计、文档化和评估	144
7.3.1	架构设计、文档化和评估是一个迭代过程	144
7.3.2	什么是架构的结构	147
7.3.3	从架构需求出发的评估	148
7.3.4	寻找 ATAM 中的“权衡点”和“敏感点”	149
7.4	架构的实现与维护	151
7.4.1	架构的实现	151
7.4.2	架构的维护	152
7.5	本章小结	152
	思考题	152
	参考文献	153

## 第 8 章 软件架构设计和实现 154

8.1	从需求分析到架构设计	154
8.1.1	软件架构对需求的影响	155
8.1.2	基于软件需求的软件架构设计	156
8.1.3	需求与架构的协同演化	163
8.2	从软件架构到详细设计	163
8.2.1	详细设计对软件架构的影响	164
8.2.2	从软件架构映射到详细设计	166
8.2.3	软件架构视图	168
8.3	软件架构设计原则	169
8.3.1	架构设计的一些基本原则	169
8.3.2	架构设计的关键原则	170
8.4	软件架构设计面临的主要威胁及对策	171
8.4.1	被忽略的重要非功能需求	171
8.4.2	频繁变化的需求	172
8.4.3	考虑不全面的架构设计	172
8.4.4	不及时的架构验证	173
8.4.5	较高的创造性架构比重	173
8.4.6	架构的低可执行性	174
8.5	本章小结	174
	思考题	174
	参考文献	174

## 第9章 软件架构的演化和维护 ..... 178

### 9.1 软件架构演化和软件架构定义的关系 ..... 179

9.1.1 对象演化 ..... 179

9.1.2 消息演化 ..... 180

9.1.3 复合片段演化 ..... 184

9.1.4 约束演化 ..... 186

### 9.2 软件架构演化方式的分类 ..... 186

9.2.1 软件架构静态演化 ..... 187

9.2.2 软件架构动态演化 ..... 190

### 9.3 软件架构演化原则 ..... 197

### 9.4 软件架构维护 ..... 201

9.4.1 软件架构知识管理 ..... 201

9.4.2 软件架构修改管理 ..... 202

9.4.3 软件架构版本管理 ..... 202

### 9.5 本章小结 ..... 202

思考题 ..... 203

参考文献 ..... 203

## 第10章 软件架构恢复 ..... 207

### 10.1 引言 ..... 207

10.1.1 软件架构的恢复过程 ..... 208

10.1.2 架构信息提取 ..... 208

10.1.3 架构恢复技术 ..... 209

### 10.2 架构信息提取 ..... 212

10.2.1 相关定义 ..... 212

10.2.2 从源代码提取架构信息 ..... 212

10.2.3 从编译构建过程提取架构信息 ..... 215

10.2.4 从目录层次提取架构信息 ..... 217

10.2.5 基于架构文档的架构信息提取 ..... 219

### 10.3 基于多规则聚类的架构恢复 ..... 220

10.3.1 聚类理论基础 ..... 220

10.3.2 架构恢复流程 ..... 222

10.3.3 具体恢复技术 ..... 223

10.4 本章小结 …… 232

思考题 …… 233

参考文献 …… 233

## 第 11 章 软件架构质量 …… 237

11.1 引言 …… 237

11.2 软件架构与质量属性 …… 239

11.3 软件架构质量指标 …… 240

11.3.1 内部质量指标 …… 240

11.3.2 外部质量指标 …… 243

11.4 软件架构质量保障和评估方法 …… 245

11.4.1 评估准备 …… 246

11.4.2 利益相关者 …… 247

11.4.3 参与者 …… 248

11.4.4 评估时机 …… 249

11.4.5 评估技术 …… 250

11.4.6 软件架构评估的收益与成本 …… 253

11.5 本章小结 …… 254

思考题 …… 254

参考文献 …… 254

## 第 12 章 软件架构仿真 …… 256

12.1 软件仿真的概念 …… 256

12.1.1 连续型仿真 …… 256

12.1.2 离散型仿真 …… 257

12.1.3 混合型仿真 …… 257

12.2 软件架构仿真流程 …… 258

12.3 UML 软件架构仿真 …… 259

12.3.1 基于 UML 类图和顺序图的软件架构仿真 …… 259

12.3.2 基于 UML 用例图和活动图的软件架构仿真 …… 259

12.3.3 从带有注释的 UML 图产生 OPNET 仿真模型 …… 260

12.4 非 UML 软件架构仿真 …… 261

12.4.1 SASIM 仿真：用于系统功能分析 …… 261

12.4.2 面向对象数据库的架构仿真 …… 263

12.5	软件架构仿真实践	264
12.5.1	软件架构描述文档	264
12.5.2	SSD 和 SD 转化为事件执行图	266
12.5.3	局部仿真和整体仿真	269
12.5.4	仿真结果的分析	275
12.6	本章小结	276
	思考题	276
	参考文献	277

## 第 13 章 软件架构度量和评估 279

13.1	引言	279
13.1.1	单版本的软件架构度量和评估	280
13.1.2	多版本的软件架构度量和评估	281
13.2	典型的软件架构度量和评估方法	283
13.2.1	SAEM 方法	283
13.2.2	SAABNet 方法	283
13.2.3	SACMM 方法	285
13.2.4	SASAM 方法	287
13.2.5	ALRRA 方法	288
13.2.6	AHP 方法	290
13.2.7	COSMIC+UML 方法	291
13.2.8	基于 Shannon 信息论的方法	292
13.3	软件架构度量和评估过程	293
13.3.1	质量属性选择	293
13.3.2	软件架构可维护性度量及评估	294
13.3.3	软件架构可靠性度量及评估	297
13.4	软件架构演化度量和评估实践	302
13.4.1	演化过程已知的软件架构演化评估	302
13.4.2	演化过程未知的软件架构演化评估	305
13.4.3	实例分析	305
13.5	本章小结	313
	思考题	313
	参考文献	313

## 第 14 章 软件架构形式化验证 ..... 317

### 14.1 引言 ..... 317

### 14.2 形式化验证 ..... 317

#### 14.2.1 形式语义 ..... 318

#### 14.2.2 规约语言 ..... 318

#### 14.2.3 求精分析 ..... 319

#### 14.2.4 验证方法 ..... 320

#### 14.2.5 形式化验证方法的优缺点 ..... 320

### 14.3 软件架构验证 ..... 322

#### 14.3.1 静态软件架构验证 ..... 322

#### 14.3.2 动态软件架构验证 ..... 323

#### 14.3.3 运行态软件架构验证 ..... 323

### 14.4 基于 SPIN 的静态软件架构验证实践 ..... 324

#### 14.4.1 SPIN 简介 ..... 324

#### 14.4.2 基于 SPIN 的验证过程 ..... 325

#### 14.4.3 架构模型 ..... 326

#### 14.4.4 验证模型 ..... 332

#### 14.4.5 验证结果 ..... 334

### 14.5 架构演化验证案例分析——以 MVC 为例 ..... 335

#### 14.5.1 演化案例 ..... 335

#### 14.5.2 场景 1 演化评估 ..... 337

#### 14.5.3 场景 2 演化评估 ..... 341

### 14.6 本章小结 ..... 344

### 思考题 ..... 345

### 参考文献 ..... 345

## 第 15 章 软件架构分析与测试 ..... 347

### 15.1 引言 ..... 347

### 15.2 软件架构分析方法 ..... 347

#### 15.2.1 SAAM ..... 348

#### 15.2.2 SAAMCS ..... 350

#### 15.2.3 ESAAMI ..... 351

#### 15.2.4 SAAMER ..... 352

#### 15.2.5 ATAM ..... 352



15.2.6	QAW	356
15.2.7	OATAM	358
15.2.8	ARID	358
15.2.9	SBAR	361
15.2.10	ALPSM	362
15.2.11	SNA	362
15.2.12	ALMA	363
15.2.13	PSAEM	364
15.2.14	ASAAM	365
15.2.15	PASA	365
15.2.16	SALUTA	367
15.2.17	HoPLAA	368
15.2.18	CBAM	370
15.2.19	CPASA	370
15.3	软件架构测试	371
15.4	本章小结	371
	思考题	372
	参考文献	372

## 第 16 章 软件架构重构 ..... 375

16.1	引言	375
16.2	软件重构现状	376
16.2.1	软件重构概念	376
16.2.2	重构点识别和定位方法	376
16.2.3	重构实施技术	379
16.2.4	现状分析	380
16.3	基于度量的软件架构重构	381
16.3.1	软件架构度量评估	382
16.3.2	产生重构需求	385
16.3.3	分析重构需求	385
16.3.4	建议重构操作	387
16.3.5	实施重构操作	389
16.4	面向模式的软件架构重构	392
16.4.1	模式选择	392
16.4.2	重构点定位	393